

07.87.10

C.N.E.A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº 1	AÑO 1987

CNEA - AC 8/87

REPUBLICA ARGENTINA
COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION

DIRECCION DE RADIOISOTOPOS Y RADIACIONES
GERENCIA DE APLICACIONES

Manual de Trabajos Prácticos del Curso de Metodología y Aplicación de Radioisótopos

CATALINA SIGNORETTA

BUENOS AIRES

1987

- C O N T E N I D O -

I- Prefacio

II- Colaboración

III-Agradecimiento

1 - Preparación de soluciones y muestras radiactivas

2 - Detección de partículas cargadas con tubos Geiguer Muller. Absorción, Retrodispersión y Autoabsorción de partículas cargadas

3 - Geometría. Eficiencia

4 - Normalización de la medición

5 - Estadística

6 - Detección y medición de la radiación electromagnética. Espectro de un nucleído gamma emisor. Distribución del número de pulsos en función de la tensión aplicada al fotomultiplicador

7 - Observación del fotopico de un emisor gamma a distintas tensiones. Selección de la tensión de trabajo

8 - Calibración de un espectrómetro. Influencia de la atenuación. Resolución. Determinación de la actividad absoluta de una muestra

9 - Resolución de mezclas

10- Influencia del medio sobre un espectro

11- Centelleador sólido con escalímetro. Curva característica

12- Máxima actividad medible sin cometer error por coincidencia. Determinación de la actividad de una muestra por comparación de un patrón del mismo nucleído

13- Cristal de pozo. Calibración de un espectrómetro acoplado a un cristal de pozo para medir emisores gamma de baja energía

14- Integradores

- 15- Centelleo líquido
- 16- Radiocromatografía
- 17- Centellografía. Curvas de isomedición de dos colimadores
+ distintos. Resolución. Sensibilidad
- 18- Centellografía. Imagen centellográfica de un fantomas
- 19- Curva característica de un tubo Geiger Muller
- 20- Identificación de una muestra radiactiva
- 21- Análisis por dilución
- 22- Control de calidad de los activímetros

I - PREFACIO

Las prácticas incluidas en este manual han sido basadas en su gran mayoría en el programa elaborado por la Dra. Josefina Rodríguez, quien tuvo a cargo la dirección del Curso de Metodología y Aplicación de Radioisótopos desde 1964 hasta 1985.

Catalina Signoretta

II-COLABORACION

Se hace presente la colaboración de la Srta. María Teresa Marotte en la corrección final de este manual.

III- AGRADECIMIENTOS

A la Srta. Leticia Bertran por haber mecanografiado los borradores, y al Sr Carlos Trípoli por la confección de los gráficos y figuras.

1.- PREPARACION DE SOLUCIONES Y MUESTRAS RADIATIVAS.-

1.1. Objetivos.-

- a) Proporcionar las reglas de trabajo que deben seguirse en un laboratorio de radioisótopos.
- b) Familiarizar al alumno con la manipulación y el pipeteo de soluciones radiactivas.
- c) Preparar soluciones y muestras radiactivas.

1.2. Reglas de trabajo:

Se seguirán las indicadas por el instructor en la clase correspondiente.

Recuerde: Los mayores peligros en un laboratorio activo no son las sustancias radiactivas, sino el descuido y la irresponsabilidad.

- Piense antes de actuar.
- Cualquier accidente debe informarse inmediatamente al instructor.

1.3. Material a utilizarse:

- Solución original de ^{131}I con las siguientes especificaciones (que completará el alumno según los datos del frasco correspondiente).

Fecha.....

Volumen total.....

Actividad total.....

Concentración de actividad.....

- Matraz deml
- Matraz de 50 ml
- Vaso de precipitado
- Pipetas graduadas
- Cazoletas y porta-cazoletas
- Pipetas Pasteur
- Detergente
- Reactivo que retarda la volatilización del yodo (RRVI)
- Lámpara de infrarrojo
- Servilletas de papel.

1.4. Desarrollo de la práctica.-

1.4.1. Demostraciones:

Nota: Se deberá trabajar con guardapolvos .

- a) Preparación de mesadas. Distribución del material de laboratorio sobre las mismas. Piletas activas e inactivas, instrucciones sobre su uso .
- b) Pipeteo de soluciones activas mediante el uso de propipetas.
- c) Apertura de frascos tipo penicilina conteniendo soluciones activas. Cuidados que deben tomarse.
- d) Llenado de jeringas.
- e) Rotulado de soluciones y material de laboratorio.
- f) Eliminación de residuos.
- g) Recomendaciones generales acerca de las reglas que deben cumplirse en un laboratorio activo.

1.4.2. Entrenamiento:

- 1.- Pipeteo de soluciones activas: proceder según lo demostrado.
Pipetear soluciones con propipetas que se les proporcionará.
Proceder siempre con mucho cuidado y sin apresurarse.

1.4.3. Preparación de soluciones:

Antes de empezar a trabajar identificar el material y rotularlo indicando: nucleído, concentración de actividad y fecha.

Ejemplo:

^{131}I - 1 uCi / ml
13-VIII- 76

- 1.4.3.1. Solución I: A partir de la solución original de ^{131}I , preparar una solución de 1 uCi / ml en un matraz de.....

- 1.4.3.2. Solución II: Partiendo de la solución I preparar un solución de 0,01 uCi / ml en un matraz de 50 ml.

- 1.4.4. Preparación de muestras radiactivas (método de evaporación en ca-

zoletas)

Se utilizará la solución 1 de 1 uCi ml.

- limpiar bien las cazoletas para desengrasar o quitar el polvo.
- rotular tapa y base indicando nucleído, actividad y fecha.
- identificar el material que se usará y rotularlo.
- pasar SOLUCION 1 a un vaso de ppdo. para pipetear.
- cargar pipeta de 0,2 ml enrasando en el total .
- descargar 0,1 ml en el centro de la cazoleta y el resto volverlo al vaso.
- secar la pipeta con papel y tirar ese papel contaminado en bolsa o recipiente destinado a desechos radiactivos.
- proteger el extremo contaminado de la pipeta con un sobre de papel.
- agregar a la cazoleta una gota de detergente para disminuir la tensión superficial de la gota.
- agregar gotas de R.R.V.I. hasta cubrir el fondo de la cazoleta.
- secar bajo lámpara de infrarrojo.

R.R.V.I.: Reactivo que retarda la volatilización del yodo.

NaOH.....	0,08 g
$S_2O_3Na_2$	0,05 g
IK.....	0,003 g
H ₂ O dest. c.s.p.....	100 ml

1.5. Cuestionario:

- 1.- ¿Qué volumen de solución original de ^{131}I se debe tomar para preparar 100 ml de solución de 0,1 uCi ml?
- 2.- Calcular qué volumen debe tomarse de una solución de 0,1 uCi / ml para preparar 50 ml de una solución de 0,01 uCi/ ml.
- 3.- ¿Por qué hay que agregar RRV I a la cazoleta?
¿Qué inconvenientes habrá si se lleva a sequedad el volumen de solución de ^{131}I descargado en la cazoleta?.

2. DETECCION DE PARTICULAS CARGADAS CON TUBOS GEIGER MÜLLER. ABSORCION, RETRODISPERSION Y AUTOABSORCION DE LAS PARTICULAS CARGADAS.-

2.1. Objetivos:

- a.- Adquirir breves conocimientos en el manejo de un detector gaseoso.
- b.- Estudio de los efectos producidos por las partículas cargadas en su interacción con la materia y su incidencia en las mediciones. Influencia de la energía de las partículas cargadas y del espesor y peso atómico del material con el cual interaccionan.

2.2. Detector Geiger Müller.-

La detección de la radiación nuclear se realiza, en general, utilizando su interacción con la materia. Esta interacción tiene lugar en el detector del cual se extrae una señal que luego es transformada y elaborada por el sistema de medición.

Los detectores GM son tubos, generalmente cilíndricos, que contienen un gas (Ar, Ne u otros) con el que interaccionan las radiaciones. Constan de dos electrodos: uno externo y otro interno entre los cuales se aplica una diferencia de potencial. Las paredes continentales del gas son conductoras constituyendo el electrodo externo negativo. El electrodo interno positivo, es una segunda pieza de material conductor aislado de las paredes. Es un alambre delgado colocado en el eje del cilindro. (Fig.2.1.).

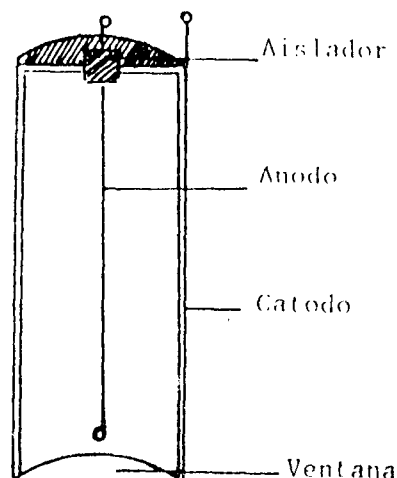


Fig.2.1- Estructura del Geiger Muller

El tubo está conectado a una fuente de alto voltaje. Al llegar una partícula al detector produce ionización en su medio. Como el voltaje aplicado es suficientemente alto, los electrones primarios son capaces de producir ionizaciones secundarias propagándose en forma de avalancha. Este proceso conduce a la ionización total del gas encerrado. Los electrodos del tubo al coleccionar los iones producidos generan un pulso eléctrico cuya amplitud es independiente de la energía de la partícula que inicia la ionización. Los pulsos eléctricos producidos pasan a un instrumento llamado escalímetro que es el encargado de contarlos.

2.3. Absorción de las partículas cargadas.-

2.3.1. Introducción.-

Todos los mecanismos de interacción de las partículas cargadas con la materia, que han sido estudiados en la clase correspondiente, tienen por resultado final la pérdida de parte de la energía de la partícula.

Desde un punto de vista macroscópico, la absorción de partículas cargadas por la materia es función de la energía, de la distancia atravesada por la partícula en el material absorbente y de la densidad de éste.

El producto de las variables densidad y distancia tiene como dimensión masa por unidad de superficie.

Para expresar los espesores del absorbedor se usan las unidades g/cm^2 o más frecuentemente mg/cm^2 .

2.3.2. Material a utilizarse.-

Detector: Geiger Müller con ventana.

Equipo de medición: Escalímetro

Fuentes radiactivas: tres nucleídos de energías beta diferentes.

Ej.: ^{147}Pm ; ^{36}Cl ; ^{32}P .

Absorbentes: papel y Al de distintos espesores.

2.3.3. Condiciones de trabajo:

Tensión aplicada al detector: será fijada por el personal docente.

Posición de las fuentes: Será indicada por el personal docente.

Posición de los absorbentes: Primer escalón (Ver figura 2.2.)

Tiempo de medición: dos minutos cada determinación.

2.3.4. Desarrollo de la Práctica.-

A. Realizar las siguientes mediciones:

a) Fuente de ^{147}Pm :

- 1) Sin absorbente
- 2) Con un absorbente de papel de aproximadamente $6,3 \frac{\text{mg}}{\text{cm}^2}$
- 3) Con un absorbente de aluminio de aproximadamente $45 \frac{\text{mg}}{\text{cm}^2}$

b) Fuente de ^{36}Cl :

- 1) Sin absorbente
- 2) Con un absorbente de papel de aproximadamente $6,3 \frac{\text{mg}}{\text{cm}^2}$
- 3) Con un absorbente de aluminio de aproximadamente $45 \frac{\text{mg}}{\text{cm}^2}$
- 4) Con un absorbente de aluminio de aproximadamente $290 \frac{\text{mg}}{\text{cm}^2}$

c) Fuente de ^{32}P :

- 1) Sin absorbente
- 2) Con un absorbente de papel de aproximadamente $6,3 \frac{\text{mg}}{\text{cm}^2}$
- 3) Con un absorbente de aluminio de aproximadamente $45 \frac{\text{mg}}{\text{cm}^2}$

- 4) Con un absorbente de aluminio de aproximadamente $290 \frac{\text{mg}}{\text{cm}^2}$
- 5) Con un absorbente de aluminio de aproximadamente $850 \frac{\text{mg}}{\text{cm}^2}$

d) Fondo.

Calcular en cada caso el porcentaje de actividad remanente:

$$\% = \frac{\Lambda_n \text{ (c/ min.)}}{\Lambda_0 \text{ (c/ min.)}} \times 100$$

Siendo

Λ_0 : actividad medida neta de la fuente sin absorbente.

Λ_n : actividad medida neta de la fuente con absorbente.

Nota : ¿ Qué conclusiones saca de los valores obtenidos?

B.- Identificar una muestra desconocida por comparación con los porcentajes de actividad remanente obtenidos en la parte A de la práctica.

El personal docente proveerá a cada grupo de una fuente radiactiva, constituida por ^{32}P , ^{36}Cl ó ^{147}Pm , que deberán identificar.

Para ello procederán de la siguiente manera:

- Medir la fuente sin absorbente.
- Medir la fuente con un absorbente de aluminio de aproximadamente $45 \frac{\text{mg}}{\text{cm}^2}$.
- Calcular el porcentaje de actividad remanente. Con este valor, determinar la identidad del nucleído por comparación con los valores obtenidos en la parte A de la práctica.

2.3.5. Conclusión Práctica:

Es importante hacer notar que, como conclusión. de lo visto, el espesor de la tapa o sellado de una muestra radiactiva influirá en la eficiencia de medición.

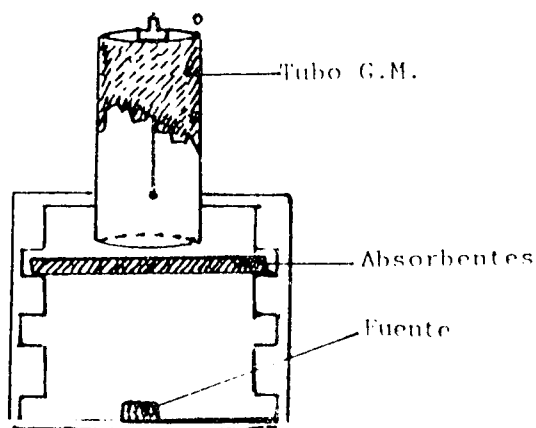


Fig. 2.2. Esquema de la geometría de medición utilizada.-

2.4. Retrodispersión de las partículas cargadas.-

2.4.1. Introducción.-

Las radiaciones emitidas por una fuente radiactiva, cuya dirección y sentido correspondan al ángulo sólido subtendido por la fuente y la ventana del detector, podrán ser detectadas. Por otra parte, una fracción de las radiaciones emitidas puede ser reflejada, es decir dispersada en un ángulo mayor de 90° . Por lo dicho, puede esperarse que entren al detector mayor número de radiaciones que las comprendidas dentro del ángulo sólido mencionado al producirse interacciones elásticas con cualquier material que rodea la fuente, incluso su propio soporte. Este proceso se ilustra en la figura 2.3. El fenómeno de dispersión depende del número atómico y del espesor del material dispersante, pero en las condiciones comunes de medición, debido a la absorción por el aire, ventana del detector y cobertura de la muestra, hay dependencia con la energía. Esta dependencia puede anularse si hace la corrección correspondiente.

2.4.2. Material a utilizarse.-

Detector: Geiger Müller con ventana.

Equipo de medición: Escalímetro.

Fuente radiactiva: ^{90}Sr - ^{90}Y

Retrodispersores: Al , Fe , Zn , Cd , Pb.

2.4.3. Condiciones de trabajo.-

Tensión aplicada al detector: será fijada por el personal docente.

Posición de la fuente radiactiva: la indicada por el personal docente.

Posición de los retrodispersores: serán fijados debajo de la fuente íntimamente unidos a ella. (Ver Fig. 2.3.)

Tiempo de medición: dos minutos cada medición.

2.4.4. Desarrollo de la práctica.-

A.-Realizar las siguientes mediciones:

- a) Fuente de ^{90}Sr - ^{90}Y sin retrodispersor.
- b) Fuente de ^{90}Sr - ^{90}Y con retrodispersor de aluminio.
- c) Fuente de ^{90}Sr - ^{90}Y con retrodispersor de hierro.
- d) Fuente de ^{90}Sr - ^{90}Y con retrodispersor de cinc.
- e) Fuente de ^{90}Sr - ^{90}Y con retrodispersor de cadmio.
- f) Fuente de ^{90}Sr - ^{90}Y con retrodispersor de plomo.
- g) Fondo.

B.-Calcular el porcentaje de retrodispersión para cada caso:

$$\% = \frac{\Lambda_r - \Lambda_0}{\Lambda_0} \times 100$$

Siendo

Λ_0 : Actividad medida neta de la fuente sin retrodispersor.

Λ_r : Actividad medida neta de la fuente con retrodispersor.

Note el aumento del porcentaje de retrodispersión con el aumento del peso atómico del retrodispersor.

2.4 5 Conclusión práctica: Para realizar mediciones comparativas de distin-

tas fuentes radiactivas, éstas deben estar preparadas en porta muestras del mismo material y espesor. Deben mantenerse, además, los mismos soportes y blindaje en todas las mediciones a compararse.

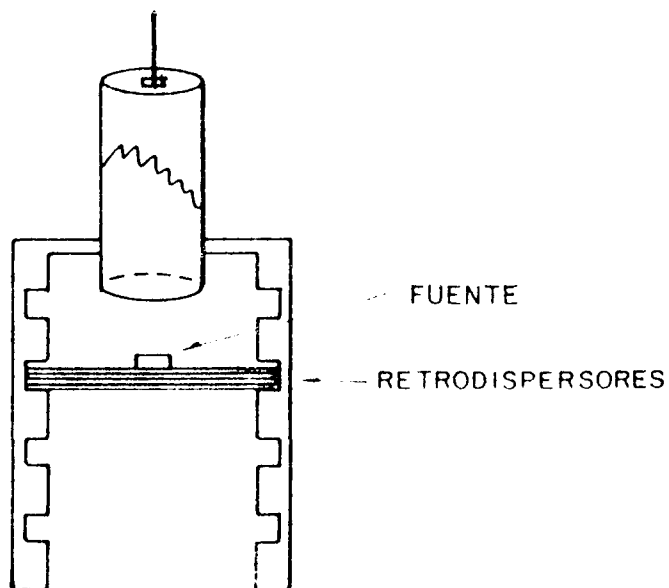


Fig. 2.3. Distribución de la fuente y retrodispersores con respecto al detector.-

2.5. Autoabsorción.-

2.5.1. Introducción.-

Uno de los aspectos a tener en cuenta en las mediciones de emisores de partículas cargadas, es la absorción de las radiaciones por el solvente o la muestra misma. Este fenómeno de autoabsorción se hace particularmente importante en los casos de emisores de partículas de baja energía (^{14}C , ^{35}S y otros). Su magnitud depende de la energía de la radiación, del espesor y de la composición físico-química de la muestra.-

2.5.2. Material a utilizarse.-

Detector: Geiger Müller con ventana.

Equipo de medición: Escalímetro.

Fuentes radiactivas: $^{14}\text{CO}_3$ Ba

2.5.3. Condiciones de trabajo.-

Tensión aplicada al detector: la fijada por el personal docente.

Posición de la fuente radiactiva: la indicada por el personal docente.

Tiempo de medición: dos minutos cada determinación.

2.5.4. Desarrollo de la práctica.-

A.- Medir:

a) Fuente de $^{14}\text{CO}_3\text{Ba}$ constituida por 100 mg de $^{14}\text{CO}_3\text{Ba}$ de $1,1 \cdot 10^4$ d/m.mg.

b) Fuente constituida por 100 mg de $^{14}\text{CO}_3\text{Ba}$ de $1,1 \cdot 10^4$ d/m.mg a la que se le incorporó 60 mg de CO_3Ba inactivo.

c) Fondo.

B.- Comparar la actividad medida neta de la fuente a) con la actividad medida neta de la fuente b).

Nota 1: ¿Qué conclusión saca con los resultados obtenidos?

Nota 2: Manipular con mucho cuidado las fuentes de $^{14}\text{CO}_3\text{Ba}$.

3. GEOMETRIA. EFICIENCIA

3.1. Objetivos.-

- a) Demostrar la incidencia de la geometría de medición en la actividad medida de una fuente radiactiva estudiando los efectos producidos por los desplazamientos laterales y verticales de la fuente radiactiva con respecto al detector.
- b) Calcular la eficiencia de medición de una fuente radiactiva en dos posiciones distintas con respecto al detector.
- c) Calcular la eficiencia de dos fuentes radiactivas emisoras de radiación beta de distinta energía en una misma posición con respecto al detector.

3.2. Geometría.-

3.2.1. Introducción:

Como ya se indicó, una fuente radiactiva emite las radiaciones en todas las direcciones. Si consideramos una fuente puntual que se encuentra a una determinada distancia del detector, en la que no tengan lugar fenómenos de retrodispersión o autoabsorción (Ver prácticas correspondientes), solamente será detectada la fracción de los rayos totales emitidos dentro del ángulo sólido subtendido por la ventana del detector. Esta fracción varía en forma inversamente proporcional al cuadrado de la distancia: si se acerca la fuente al detector dicha fracción aumenta (desplazamientos verticales. Ver Fig.3.1.).

Por otro lado también los desplazamientos horizontales modificarán la fracción de rayos que penetran al detector.

La distribución relativa entre la muestra y el detector se conoce con el nombre de geometría.

Todo lo dicho vale también para el caso de fuentes como las utili-

zadas en nuestras prácticas ya que éstas podrían considerarse constituidas por múltiples fuentes puntuales distribuidas homogéneamente. Hay que tener en cuenta, además, que al modificar la geometría, varían los fenómenos de retrodispersión y absorción ya que se modifica el volumen de aire que hay entre la fuente y el detector.

La influencia de los desplazamientos verticales en la medición se verá en el desarrollo de la práctica de eficiencia y, la de los desplazamientos horizontales a continuación.-

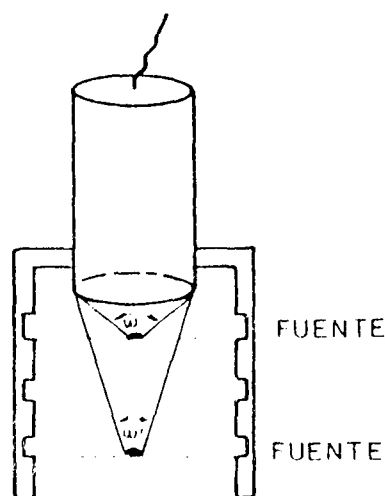


Fig.3.1- Variación del ángulo sólido en función de la distancia entre la fuente radiactiva y el detector. Se observa que $\omega > \omega'$

3.2.2. Material a utilizarse.-

Detector: Geiger Müller con ventana.

Equipo de medición: Escalímetro

Fuente radiactiva: ^{131}I

Portamuestra con papel milimetrado

3.2.3. Condiciones de trabajo:

Tensión aplicada al detector: será fijada por el personal docente.

Posición de la fuente radiactiva: la indicada por el personal docente.

Tiempo de medición: dos minutos en cada posición.

3.2.4. Desarrollo de la práctica.-

Sobre un portamuestra de aluminio (u otro material) de 5 cm x 6 cm se ha pegado un trozo de papel milimetrado. Este papel tiene dibujado un sistema de ejes de coordenadas tal como se indica en la Fig. 3.2.

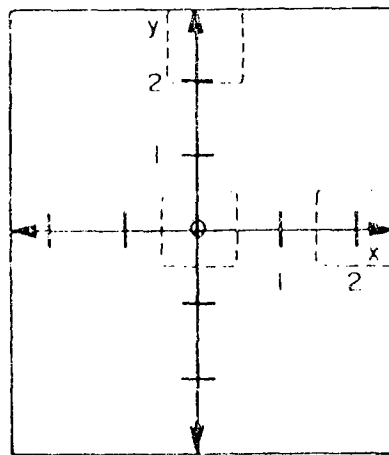


Fig. 3.2- Se muestran las tres posiciones de la fuente radiactiva con línea punteada.

La fuente usada es ^{131}I preparada sobre chapitas de 1 cm de lado .

a) Medir la fuente radiactiva en las siguientes posiciones

- 1) (0,0)
- 2) (2,0)
- 3) (0,3)

b) Discutir los resultados. Indicar la posición más eficiente.

3.3. Eficiencia.-

3.3.1. Introducción:

En una fuente activa, el número de átomos que desintegran de la misma por unidad de tiempo a un tiempo t es proporcional al número de átomos presentes en ese t .

$$A = \frac{dN}{dt} - \lambda N$$

Muy pocos instrumentos de medición son capaces de determinar el valor $\frac{dN}{dt}$. El detector para radiación β que se utilizará no indicará ese valor sino un valor relativo, o sea:

$$A_m = C.A.$$

En realidad, son pocas las aplicaciones de los radioisótopos que requieren la medición de la actividad absoluta del material radiactivo presente.

Determinando el factor C, para un dado nucleído y para ciertas condiciones de trabajo, se pueden dar valores de la actividad absoluta de la fuente. Para ello se utiliza un patrón cuya actividad absoluta se conoce, es decir, una fuente del mismo nucleído y en idénticas condiciones a las de la fuente en cuestión.

Se suele expresar el factor C en porciento, de forma tal que tendremos:

$$100 \cdot C = \text{Eficiencia}$$

El factor C, llamado factor de eficiencia, depende de:

- 1) Energía de la partícula radiactiva (f_1)
- 2) Características del detector (f_2).
- 3) Geometría (distancia y posición de la fuente con respecto al detector). (f_3)
- 4) Absorción por el aire interpuesto entre la fuente y el detector. (f_4)
- 5) Incremento en el conteo debido a la retrodispersión en el soporte de la muestra y en las paredes del castillete. (f_5).
- 6) Espesor del preparado (autoabsorción). (f_6)
- 7) Cubierta del preparado (f_7)
- 8) Contaje de la radiación electromagnética (si la hay) (f_8).

Por lo tanto $C = f1 . f2 . f3 . f4 . f5 . f6 . f7 . f8 .$

En las prácticas anteriores se han analizado varios de estos factores. Se verá ahora como varía la eficiencia con la distancia fuente-detector y con la energía de la radiación emitida.

3.3.2. Material a utilizarse.-

Detector: Geiger Müller con ventana.

Equipo de medición: Escalímetro.

Fuentes radiactivas; ^{32}P y ^{147}Pm

3.3.3. Condiciones de trabajo.-

Tensión aplicada al detector: será fijada por el personal docente.

Posición de la fuente radiactiva: la indicada en el desarrollo de la práctica.

Tiempo de medición: dos minutos.

3.3.4. Desarrollo de la práctica:

A) 1 - Medir la fuente de ^{32}P en

a) 2^{do} escalón.

b) 4^{to} escalón.

2 - Medir la fuente de ^{147}Pm en

a) 2^{do} escalón.

B) Calcular la eficiencia para cada una de las mediciones

$$e = \frac{A_m}{A} \times 100$$

Siendo:

A_m : actividad medida neta en cada caso.

A : actividad absoluta de la muestra correspondiente.

C) Comparar la eficiencia que se obtiene para el mismo radioisótopo en dos posiciones (^{32}P en 2^{do} y 4^{to} escalón) y la eficiencia

de dos radionucleídos distintos en la misma posición

(^{32}P y ^{147}Pm en 2^{do} escalón).

3.3.4. Conclusión:

De los resultados obtenidos se concluye que las mediciones de fuentes radiactivas son comparables si se mantienen las condiciones geométricas: distancia del preparado al tubo, desplazamiento de la fuente respecto de la fuente al eje del detector y distribución homogénea de la misma.-

4. NORMALIZACION DE LA MEDICION.—

- 4.1. Objetivos: a) Adquirir información acerca de la utilidad del empleo de un patrón de referencia.
- b) Normalizar la medición de una muestra en base a un patrón durante días sucesivos.
- c) Obtención de la curva de captación de ^{131}I por la tiroidea de un lote de ratas.

4.2. Introducción:

No sólo la necesidad de determinar la actividad absoluta (como hemos visto en la práctica N°3) obliga al empleo de un patrón. Efectivamente como la actividad medida de una fuente radiactiva depende del equipo utilizado, de las condiciones de trabajo, del tipo y energía del emisor medido, el patrón permitirá comparar mediciones realizadas en distintas oportunidades y en distintas condiciones. Por esto último se desprende que, en aquellas técnicas de trabajo que requieren mediciones de una muestra radiactiva en distintos tiempos o de varias muestras, la correlación entre las distintas mediciones debe hacerse normalizando, esto es comparando, con un patrón del mismo nucleído utilizado. En algunos casos puede utilizarse como patrón una fuente radiactiva cuya actividad no varíe durante el transcurso del tiempo (nucleído distinto al utilizado en período largo) por ejemplo cuando se emplea un detector Geiger Müller ya que su respuesta intrínseca no depende de la energía.

Se han construido con éxito patrones simulados formados por uno o dos nucleídos de período largo y cuyo espectro gamma es semejante.

Un ejemplo del empleo de un patrón es la técnica de captación tiroidea, en la que después de suministrar al paciente una cierta dosis de ^{131}I se realizan mediciones de la tiroidea a distintos tiempos después de haber suministrado el trazador. Como durante estos distintos tiempos pudieron haberse modificado las condiciones de trabajo, se hace necesaria la utilización de un patrón para normalizar las distintas mediciones.

En las técnicas de Radioinmunoanálisis también se hace necesaria la utilización de un patrón de referencia como se verá en las clases correspondientes.

Cuando de la medición del patrón se obtenga un valor alto o bajo respecto del valor estadísticamente esperado, se procede de la siguiente manera:

a) Verificar si se han modificado las condiciones de trabajo.

Si no se han modificado repetir la medición para eliminar posibles errores de operación. Si persiste la anomalía controlar el equipo.

b) Si se han modificado las condiciones de trabajo se puede proceder a colocar las condiciones originales y repetir la medición o decidir si son también adecuadas para la técnica de trabajo, en cuyo caso los valores de las mediciones sucesivas se corrigen en base a un factor.

4.3. Material a utilizarse:

Detector: Cristal de INA (TI) de 2" x 2"

Equipo de medición: Espectrómetro

Fuentes radiactivas: Muestras de ^{131}I

Patrón de ^{131}I (el preparado en la práctica N°1)

Muestras de tiroides de ratas con trazador ^{131}I

Patrón de ^{131}I

4.4. Condiciones de trabajo:

Tensión aplicada al fotomultiplicador: fijada por el personal docente.

Nivel de canal: 50

Atenuación : x 1

Tiempo de medición: acumular 10.000 cuentas

4.5. Desarrollo de la práctica.-

4.5.1. Parte A:

Medir todos los días, durante dos semanas:

- a) Muestra de ^{131}I : Λ_{mM} c) Fondo
 b) Patrón de ^{131}I : Λ_{mP}

Calcular todos los días:

$$\frac{\Lambda_{\text{mM}} - \Lambda_{\text{F}}}{\Lambda_{\text{mP}} - \Lambda_{\text{F}}}$$

4.5.2. Parte B:

Se proporcionarán muestras correlativas correspondientes a tiroides de un lote de ratas al que se suministró ^{131}I y sacrificadas a distintos tiempos. Por ejemplo, la muestra N°1 corresponde a la tiroides de una rata sacrificada un día después de haberle suministrado el trazador, la muestra N°2 corresponde a la tiroides de una rata sacrificada dos días después y así sucesivamente.

Medir:

- a) Todos los días el patrón de ^{131}I : Λ_{mP} y fondo: Λ_{F}
 b) El primer día la muestra n°1, el segundo la muestra N°2 y así sucesivamente: Λ_{mi}

Calcular todos los días el porcentaje de captación:

$$\% \text{ Captación(día i)} = \frac{\Lambda_{\text{mi}} - \Lambda_{\text{F}}}{\Lambda_{\text{mP}} - \Lambda_{\text{F}}} \times 100$$

Graficar:

Porcentaje de captación en función del tiempo (días).

Ver fig. 4.1.

Nota: Los valores obtenidos anotarlos en la planilla 4.1.A y 4.1.B

PLANILLA 4.1. A

[illegible]

PLANILLA 4.1. B

[illegible]

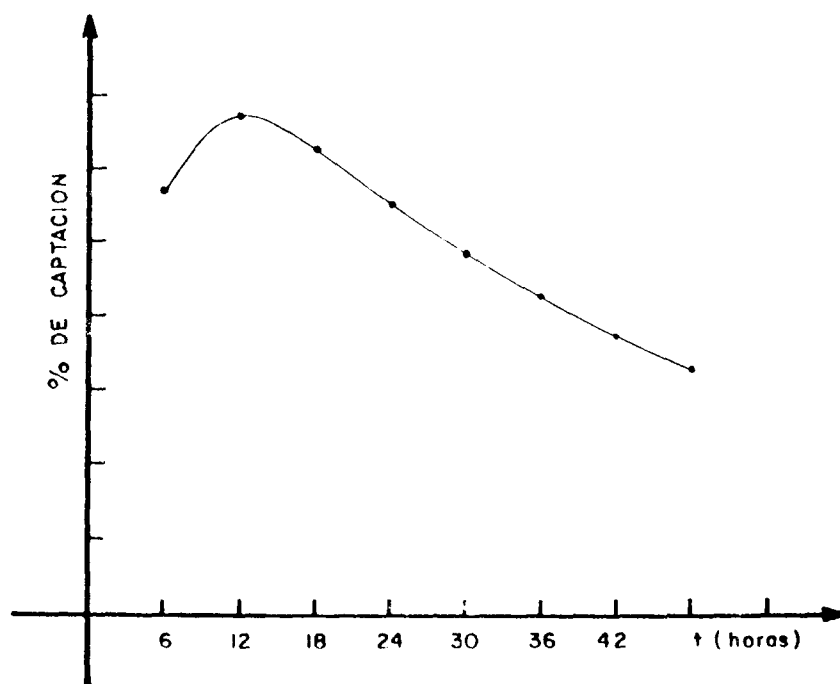


Fig.4.1- Porcentaje de captación en función del tiempo.

5. ESTADÍSTICA.-5.1. Objetivos:

Familiarizarse con la naturaleza estadística de la desintegración radiactiva y con los cálculos de promedio, desviación standard, chi-cuadrado.

Determinación de tiempos de contaje de muestras de baja actividad.-

5.2. Introducción:

La comprensión y correcta aplicación de los principios de la estadística es uno de los aspectos más importantes del uso de los radionucleídos en las distintas ramas de la ciencia y técnica.

A partir de varias mediciones de una muestra radiactiva simple se pone en evidencia la naturaleza azarosa de la desintegración nuclear y ello debe tenerse en cuenta en la interpretación de los resultados. Como ejemplo podemos indicar que un tratamiento inadecuado de la estadística en Medicina Nuclear puede conducir a la no observación de una lesión o a su aparición cuando no la hay.

Para determinar si los resultados de la práctica son aceptables o no, se recurre a distintos parámetros estadísticos: valor medio, desviación "standard", chi-cuadrado, densidad de información y otros como se ha visto y se verá en las distintas clases.

5.3. Material a utilizarse:

- Detector Geiger Müller o cristal de INa (Fl)
- Fuentes de alta actividad (aproximadamente 30.000 c/min.)
- Mediana actividad (aproximadamente 5.000 c/min.) y baja actividad (aproximadamente 500 c/min.)

Nota: Cada grupo de trabajo utilizará fuentes distintas y al finalizar la práctica se discutirán los resultados.

5.4. Condiciones de trabajo:

Serán discutidas con el personal docente según el detector y la energía de los radioisótopos usados.

5.5 Desarrollo de la Práctica:

5.5.1.0. Parte A.

5.5.1.1. Mediciones.

- a) Colocar en el detector la muestra radiactiva proporcionada por el personal docente y realizar 30 mediciones consecutivas de un minuto cada una.

Nota 2: Si se usa un contador sin prefijador de tiempo todas las mediciones deberán ser efectuadas por una misma persona.

Nota 3: Deberán mantenerse todas las condiciones de trabajo constantes durante el desarrollo de la práctica.

Nota 4: Registrar los datos en la planilla 5.1

- b) Con la misma muestra realizar una medición de 30 minutos.

5.5.1.2. Procesamiento de los datos:

Nota 5: En todos los cálculos no se tendrá en cuenta el fondo.

A - Con los valores obtenidos en 5.5.1.1. a), calcular:

- 1) El valor medio:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (5.1)$$

- 2) La desviación algebraica de cada medida:

$$\Delta = x_i - \bar{X} \quad (5.2)$$

3) El cuadrado de la desviación algebraica de cada medida:

$$\Delta^2 = (x_i - \bar{X})^2 \quad (5.3)$$

4) La desviación "standard" de cada medición:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (x_i - \bar{X})^2} \quad (5.4)$$

donde n es el número de observaciones (30 en este caso).

5) La desviación "standard" según Poisson:

$$\sigma_x = \sqrt{\bar{X}} \quad (5.5)$$

6) La desviación "standard" del valor medio o error "standard":
utilizando los valores obtenidos con (5.4) y (5.5):

$$\sigma_{\bar{X}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (x_i - \bar{X})^2}}{\sqrt{n}} \quad (5.6)$$

$$\sigma_{\bar{X}} = \frac{\sqrt{\bar{X}}}{\sqrt{n}} \quad (5.7)$$

Informar el resultado con una confianza de 68%:

$$\bar{X} \pm \sigma_x \quad (5.8)$$

B - Con los valores obtenidos en 5.5.1.1. b), calcular:

1) La desviación "standard" de la observación:

$$\sigma_B = \pm \sqrt{B} \quad (5.9)$$

2) La desviación "standard" de la actividad:

$$\sigma_{A_B} = \frac{\sqrt{B}}{t} \quad (5.10)$$

Informar la actividad con una confianza del 68%:

$$A_B \pm \sigma_{A_B} \quad (5.11)$$

5.5.1.3. Conclusiones:

- Comprobar que las observaciones siguen la distribución de Poisson comparando los resultados obtenidos según las expresiones (5.4) y (5.5).
- Contar el número de veces que la desviación $x_i - \bar{X}$ es mayor que la desviación standard y comprobar si ocurre en aproximadamente el 31.7% de las observaciones.
- Con los valores obtenidos de la serie de las 30 mediciones calcular el chi-cuadrado:

$$\chi^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{X})^2}{\bar{X}}$$

- Aplicar el criterio de Chauvenet y determinar si hay datos que se deben eliminar. En caso afirmativo hacer los cálculos necesarios. Para ello, calcular la relación $(x_i - \bar{X}) / \sigma$ para los valores $(x_i - \bar{X})$ sospechosos. Si la relación $(x_i - \bar{X}) / \bar{X}$ es mayor que 2,40, la observación deberá ser eliminada. (Ver el capítulo de Estadística correspondiente al Curso de Metodología y Aplicación de Radioisótopos).

5.5.2.0. Parte B

- 1) Hacer una medición de fondo de 1 minuto (Λ_F).
- 2) Con este valor de fondo y el valor de la actividad de la muestra (Λ_B) obtenida en 5.5.1.1.b), calcular durante qué tiempo se deberá medir el fondo para minimizar errores. Emplear la siguiente relación:

$$\frac{t_B}{t_F} = \sqrt{\frac{\Lambda_B}{\Lambda_F}}$$

- 3) Medir el fondo durante un tiempo igual al calculado (o aproximado en caso de ser fraccionario).
- 4) Calcular, con las mediciones realizadas, el coeficiente de variación (V):

$$V = \frac{\sigma_{\Lambda_C}}{\Lambda_C} = \frac{\sqrt{\Lambda_B/t_B + \Lambda_F/t_F}}{\Lambda_B - \Lambda_F}$$

- ¿ En qué casos tiene sentido considerar el error introducido por el fondo?

6. DETECCION Y MEDICION DE LA RADIACION ELECTROMAGNETICA.-

- ESPECTRO DE UN NUCLEIDO GAMMA EMISOR.
- DISTRIBUCION DEL NUMERO DE PULSOS EN FUNCION DE LA TENSION APLICADA AL FOTOMULTIPLICADOR.

- 6.1. Objetivos:
- a) Familiarizarse con el espectrómetro monocanal.
 - b) Reconocer las características de las distintas etapas del sistema de detección y medición.
 - c) Realizar un espectro de un nucleído emisor gamma.
 - d) Estudiar la influencia de la tensión aplicada al fotomultiplicador en la altura de los pulsos.

6.2. Espectro de un emisor gamma.-

6.2.1. Introducción.-

La unidad detector-espectrómetro monocanal está constituida por:

- a) Cristal de yoduro de sodio activado con talio con un tubo fotomultiplicador asociado.
- b) Fuente de alta tensión aplicada al fotomultiplicador.
- c) Preamplificador.
- d) Amplificador.
- e) Discriminador inferior ó nivel de canal.
- f) Ventana (ΔV)
- g) Escalímetro
- h) Atenuador o control de ganancia.

Se puede resumir el proceso de detección de la radiación gamma, formación de pulsos y posterior contaje de la siguiente manera:

- 1) Al incidir una radiación electromagnética en el cristal se producen centelleos o fotones de luz cuyo número depende de la energía absorbida.
- 2) Los fotones inciden en el fotocátodo a partir de lo cual se genera una corriente de electrones que inciden en el ánodo produciendo una caída de tensión o pulso.
- 3) La intensidad del pulso depende del número de electrones colec-

tados por el ánodo y este número a su vez es función de:

- a) número de fotones incidentes en el fotocátodo que a su vez depende de la energía absorbida por el cristal.
Por lo tanto la h de pulso es función de la energía absorbida por el cristal.
- b) Para una misma energía absorbida por el cristal, depende de la tensión aplicada al fotomultiplicador.
Por lo tanto, la h del pulso es función de la tensión aplicada al fotomultiplicador.
- c) Los pulsos producidos pasan al analizador para ser clasificados.
- d) Si el pulso tiene una altura que "cae" dentro de los valores de los discriminadores fijados (ventana) se produce una señal que pasa al escalímetro.
- e) El escalímetro cuenta los pulsos que le llegan durante el tiempo elegido por el operador.
- f) Variando los discriminadores, se puede obtener una distribución de los pulsos según su altura.

6.2.2. Material a utilizarse.-

Detector: cristal de INA (Tl) de 2 x 2"

Equipo de medición: Espectrómetro monocanal.

Fuente radiactiva: ^{51}Cr (ó ^{203}Hg)

cronómetro (en caso de usar espectrómetro sin prefijador de tiempo)

6.2.3. Condiciones de trabajo.-

Están indicadas en el desarrollo de la práctica.

6.2.4. Desarrollo de la práctica.-

6.2.4.1. Indicaciones:

- 1) En caso de poseer espectrómetro con prefijador de tiempo, ve-

rificar si es el indicado.

- 2) Verificar que la perilla correspondiente se encuentre en A.T.
Si está en "Encendido" pasarla a "A.T."
- 3) Controlar que la posición de la llave selectora NO-CAL se encuentre en NO.

6.2.4.2. Procedimiento:

A.- Elección de la tensión aplicada al fotomultiplicador.

Se seleccionará la tensión de forma tal que a 1000 unidades arbitrarias de tensión (o nivel de canal) le correspondan pulsos originados por la absorción de 1 Mev. (1 Kev/div)

- 1) Colocar la fuente de ^{51}Cr ó ^{203}Hg en la posición indicada por el personal docente.

2) Fijar:

nivel de canal: 320 (ó 270 si se usa ^{203}Hg)

Atenuación : x1

ΔV : 1% (10 divisiones)

- 3) Colocar la perilla correspondiente en la posición de conteo.
- 4) Con el control "grueso" de A.T. en la mínima posición, aumentar lentamente la tensión con el control "fino" y observar si se produce una elevada frecuencia en el conteo. Si esto no ocurre volver el control fino a su menor posición y pasar el "grueso" a la posición siguiente. Incrementar el fino.

Esta operación debe repetirse hasta encontrar la tensión para la cual se tiene la mayor frecuencia en el conteo. Esta es la tensión buscada.

Puede repetir la operación en caso necesario.

B.- Realización del espectro diferencial del ^{51}Cr (ó ^{203}Hg)

1. Fijar :

Tensión: la hallada en A

Atenuación: x 1

ΔV : 1% (mínimo)

- 2.- Con la perilla correspondiente en posición de conteo, disminuir el nivel de canal (comenzando desde 1000 hasta notar un conteo franco de aproximadamente 100 c/min.
- 3.- A partir de este valor variar el nivel de canal de 10 en 10 divisiones, hasta nivel de canal cero, acumulando cuentas durante 30 seg. en cada posición.
- 4.- Anotar los valores obtenidos en una planilla.
- 5.- Graficar A_m vs nivel de canal.

Nota: Deben graficarse los valores obtenidos en forma simultánea a su obtención. ¿Por qué?

Escala: ordenadas: 1cm = 1000 c/min.

abscisas : 1cm = 40 unidades de canal.

- 6.- Identificar las distintas zonas que caracterizan a un espectro gamma (fotopico, distribución Compton, dispersión). ¿La posición del fotopico es la esperada? Discutir.

6.3. Distribución de pulsos en función de la Tensión.-

(A_m vs A.T.)

6.3.1. Introducción:

El valor del discriminador inferior (o nivel de canal) indica cual es la altura mínima, en unidades arbitrarias de tensión, que deben tener los pulsos para ser registrados y contados. La altura máxima que deben tener los pulsos para ser registrados viene impuesta por el discriminador superior (en nuestro caso por el ancho de ventana).

Ej: si se coloca el nivel de canal en 40 y el $\Delta V = 1\%$, significa que los pulsos, para ser registrados, deben tener una altura mínima de 40 unidades arbitrarias de tensión, pero a su vez no deben ser mayores de $40 + \Delta V = 40 + 10$ unidades arbitrarias de tensión.

6.3.2. Material a utilizarse.-

- Igual que para la realización del espectro gamma.

6.3.3. Condiciones de trabajo.-

Están indicadas en el desarrollo de la práctica.

6.3.4. Desarrollo de la práctica.-6.3.4.1. Parte A.-

- 1) Mantener la fuente radiactiva en la misma posición .
- 2) Fijar:
 - Atenuación: x 1
 - A V : 1% (mínimo)
 - n de canal: 40
- 3) Con la perilla correspondiente en posición de conteo, aumentar la tensión primero con el control "grueso" y luego con el "fino" hasta observar la iniciación del conteo.
(¿Por qué a bajas tensiones no se registran pulsos?)
- 4) A partir de este momento variar la tensión de 10 en 10 voltios acumulando cuentas durante 30 seg. para cada valor.
- 5) Graficar A_m vs tensión.
Discutir el gráfico obtenido . Analizar cada una de las zonas.
Escala:
 - ordenadas: 1 cm = 1000 c/min.
 - abscisas : 1 cm = 20 voltios

6.3.4.2. Parte B.-

- 1) Mantener la muestra radiactiva en la misma posición .
- 2) Fijar
 - Atenuación: x 1
 - AV : 1%(mínimo)
 - n de canal: 200

- 3) Proceder igual que en A pero variar la tensión para registrar únicamente los pulsos correspondientes al fotopico.
- 4) Graficar usando la misma escala.
- 5) Discutir la diferencia entre el gráfico obtenido en A y en B. ¿Por qué la zona del fotopico aparece a mayor tensión en el caso B?.-

7. OBSERVACION DEL FOTOPICO DE UN EMISOR GAMMA A DISTINTAS TENSIONES.- SELECCION DE LA TENSION DE TRABAJO.-

7.1. Objetivos:

- Familiarizarse con las variables del espectrómetro.
- Estudiar la influencia de la tensión en la posición del fotopico.

7.2. Introducción:

La tensión aplicada al fotomultiplicador nos da el factor de multiplicación secundaria de electrones en los dinodos.

Si a una determinada tensión, la multiplicación promedio por etapa fuera dos, el factor de amplificación sería 2^{10}

Si se aumenta la tensión, aumenta el campo eléctrico entre los dinodos con lo que la energía cinética de los electrones se incrementa y por lo tanto el número de electrones eyectados en cada etapa será mayor. Por lo tanto, a medida que la tensión aplicada al fotomultiplicador aumenta, se lograrán para la misma energía pulsos de mayor amplitud. En particular, los pulsos correspondientes al fotopico aumentan su altura a medida que la tensión se incrementa.

7.3. Material a utilizarse:

Detector: cristal de INA (Tl) de 2 x 2"

Equipo de medición: Espectrómetro monocanal

Fuentes radiactivas: ^{137}Cs y ^{203}Hg

Cronómetro (en caso de no usar un espectrómetro con prefijador de tiempo).

7.4. Condiciones de trabajo:

Las indicadas en el desarrollo de la práctica.

7.5. Desarrollo de la práctica:

7.5.1. Indicaciones; Seguir las dadas en la práctica 6.

7.5.2. Parte A:

Buscar la tensión para la cual el fotopico del ^{203}Hg tenga una altura de pulso de 200 unidades arbitrarias de tensión.

1 - Colocar la fuente de ^{203}Hg en la posición indicada por el personal docente.

2 - Fijar :

Atenuación: x 1

ΔV : 1% (mínimo)

n de canal: 200

3 - Colocar la perilla correspondiente en la posición de conteaje .

4 - Incrementar la tensión, primero con el control "grueso" y luego con el "fino" hasta encontrar la mayor frecuencia en el conteaje. Anotar el valor de tensión para la cual esto se verifica.

¿Si Ud. hiciera el espectro del ^{203}Hg con esta tensión en qué nivel de canal caería el fotopico? ¿Por qué?

Nota: No es necesario graficar.

7.5.3. Parte B:

Buscar la tensión para que el fotopico del ^{137}Cs tenga una altura de pulso de 660 unidades arbitrarias de tensión.

1.- Intercambiar la fuente de ^{203}Hg por la de ^{137}Cs . Colocar-la en la posición indicada por el personal docente.

2.- Fijar:

Atenuación: x 1

ΔV : 1% (mínimo)

n de canal: 660

3.- Colocar la perilla correspondiente en la posición de conteaje.

4.- Incrementar la tensión, primero con el control "grueso" y

luego con el "fino" hasta encontrar la mayor frecuencia en el contaje. Anotar el valor de la tensión para la cual ello se verifica. No graficar.

- ¿Esta tensión debería ser igual a la hallada en la práctica N°7, parte A ¿Por qué?
- Con esta tensión. ¿Dónde caería el fotopico del ^{137}Cs si Ud. hiciera el espectro? ¿Por qué?
- Con esta tensión, ¿Podría obtener el espectro completo del ^{59}Fe . ¿Por qué? Y el del ^{125}I ?

7.5.4. Parte C:

Obtención de tres fotopicos de ^{203}Hg con tres tensiones distintas.

1 - Colocar la fuente de ^{203}Hg en la posición indicada.

2 - Fijar:

Atenuación: x1

ΔV : 1% (mínimo)

A.T. { a) igual a la hallada en la parte B : T.
b) T-50 V
c) T+ 50V

3 - Poner la perilla correspondiente en posición de contaje para cada una de las tensiones indicadas.

4 - Comenzando desde nivel de canal 1000 disminuir este valor hasta registrar un contaje con ritmo continuo (aproximadamente 100 c/min.)

5 - A partir de este valor variar el nivel de canal de 10 en 10 acumulando cuentas durante 30 seg. en cada posición hasta la terminación del fotopico.

6 - Graficar los fotopicos obtenidos con las tres tensiones (Am vs n de canal).

Escala: ordenadas: 1 cm = 1000 c/ minuto.

abscisas : 1 cm = 40 unidades de canal.

7 - Discutir los resultados.

8. CALIBRACION DE UN ESPECTROMETRO. INFLUENCIA DE LA ATENUACION.

- RESOLUCION.
- DETERMINACION DE LA ACTIVIDAD ABSOLUTA DE UNA MUESTRA

8.1. Objetivos:

- Determinar la relación entre la altura de pulsos y la energía de la radiación electromagnética. Discutir la importancia de este trabajo.
- Estudio de los efectos producidos por la atenuación.
- Calcular la resolución del equipo de detección y medición y su dependencia de la energía, atenuación y tensión.
- Interiorizar al alumno con los métodos para determinar actividades absolutas.

8.2. Introducción:

8.2.1. Calibración.-

Como ya se estudió, la altura de los pulsos producidos en el sistema de detección son proporcionales a la energía absorbida por el cristal. En particular, aquellos pulsos provenientes de la absorción total de la energía del fotón incidente son proporcionales a la energía de la radiación emitida. Como estos pulsos dan origen al fotopico, la ubicación del mismo es un parámetro que está relacionado con la energía de la radiación electromagnética de lo que se desprende su utilidad para la identificación de nucleídos emisores gamma. Por otro lado, debido a la proporcionalidad entre la posición del fotopico y la energía del fotón detectado, es posible obtener una curva de calibración utilizable para identificación de nucleídos, selección de ciertas condiciones de trabajo y control del funcionamiento de la unidad detector-espectrómetro.

Para obtener la recta de calibración se deben tener por lo menos tres puntos experimentales (por dos puntos siempre pasa una recta) además, como la eficiencia de conversión de energía absorbida por el cristal en fotones varía a bajas energías, el cero electrónico puede no coincidir con el cero energético, por lo tanto en la práctica se deben utilizar tres emisores gamma. Estos pa-

trones deben reunir las siguientes características:

1. - Emitir radiaciones gamma de energía conocida, distintas entre sí y que se encuentren dentro del orden de magnitud del valor que se desea asignar a la escala de nivel de canal (Ej: si se desea que a 1000 unidades arbitrarias de altura de pulso le corresponda 1 Mev de energía, las energías deben estar comprendidas entre 0,1 Mev (Por cuestiones prácticas son aceptables valores entre 0,1 y 0,8 Mev).
2. - Presentar espectros simples.
3. - Tener un período de semidesintegración lo suficientemente largo para que la actividad se mantenga prácticamente constante durante la determinación.

8.2.2. Influencia de la atenuación.-

El atenuador es un dispositivo electrónico de la unidad de medición capaz de reducir la altura de todos los pulsos en un valor prefijado. Por lo tanto la recta de calibración tendrá distinta pendiente al variar la atenuación.

8.2.3. Resolución.-

Un espectro gamma teórico presentaría en el fotopico pulsos de una misma altura. Esto en la práctica no se observa, o sea, para el fenómeno de absorción total de energía por el cristal, se producen pulsos de distinta altura. Esta variación es el resultado de fluctuaciones estadísticas propias de las distintas etapas que siguen a la interacción de un rayo gamma en el cristal.

Esto se traduce en la imposibilidad del sistema de detección-medición, de diferenciar energías muy cercanas. Con lo que es clara la necesidad de definir un parámetro que dé la resolución en energías del equipo.

Se define:

$$R = \frac{\Delta V}{V} \times 100 = \frac{\Delta E}{E} \times 100 = \frac{\Delta l}{l} \times 100 \frac{\text{cm}}{\text{cm}}$$

Siendo:

Δv , ΔE , Δl : ancho del pico a mitad de altura en unidades de tensión, energía o longitud respectivamente.

V , E , l : amplitud del pulso de mayor abundancia en unidades de tensión , energía o longitud respectivamente.

8.2.4. Determinación de la actividad absoluta de una muestra radiactiva.-

La determinación se hará comparando el área del fotopico de la fuente cuya actividad absoluta se quiere determinar con el área del fotopico de una fuente patrón del mismo nucleído, medidas en idénticas condiciones de trabajo.

8.3. Material a utilizarse.-

Detector: Cristal de INA (Tl) 2x2"

Equipo de medición: Espectrómetro

Fuentes radiactivas: ^{137}Cs - ^{22}Na - ^{203}Hg (fuentes patrones)

Cronómetro

8.4. Calibración del espectrómetro.-

8.4.1. Condiciones de trabajo:

Tensión: Fija (para el rango de energía disponibles puede utilizarse la hallada en la práctica N°7, punto B).

ΔV : 1% (mínimo)

n de canal: variable (de 10 en 10 divisiones)

Posición de las fuentes: la indicada por el personal docente.

Tiempo de medición: 30 seg. para cada canal.

8.4.2. Desarrollo de la práctica.-

8.4.2.1. Atenuación x1.

1 - Colocar la perilla en A_{tx1}

2 - Medir y graficar los fotopicos de:

- rayo de 0,66 Mev del ^{137}Cs

- rayo de 0,279 Mev del ^{203}Hg
- radiac. de aniquilamiento del ^{22}Na .

3.- Trazar las envolventes de los fotopicos determinando el valor medio de la altura de pulso. Para ello trazar dos rectas uniendo la mayor cantidad de puntos de ambas "laderas" del fotopico; trazar la mediana del triángulo así formado. (Ver Fig. 8.1.).

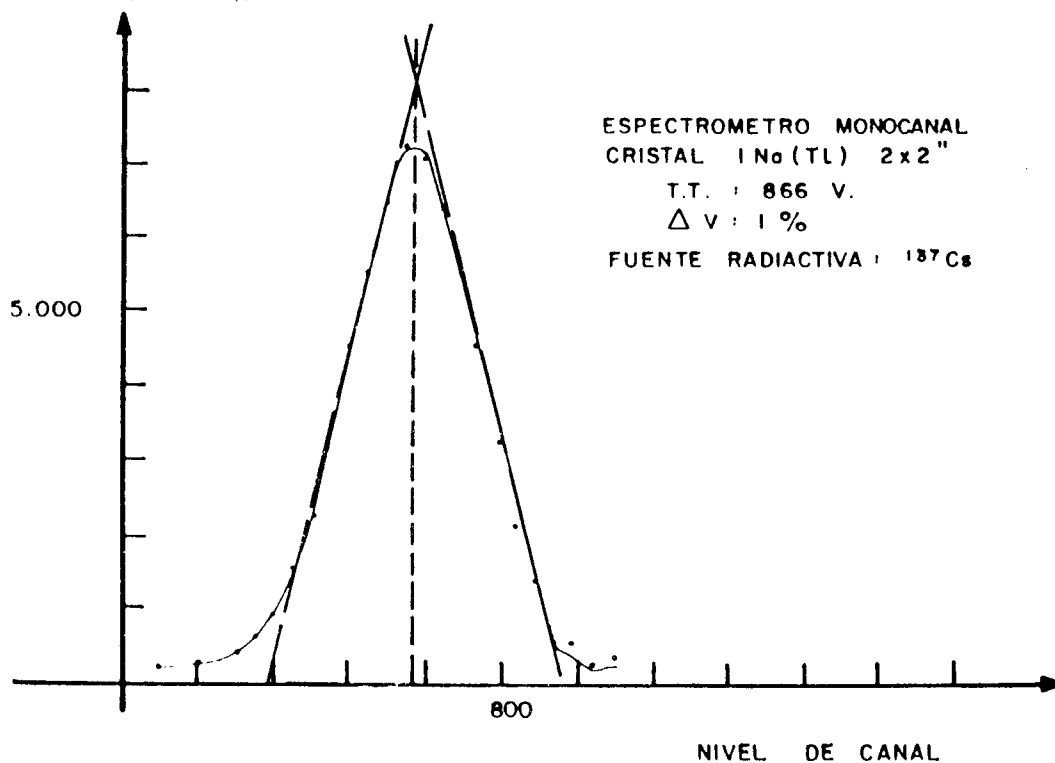


Fig.8-1. Determinación del valor medio de la altura de pulso del pico de absorción total.

4.- Graficar en papel milimetrado energía de los rayos gamma utilizados, en función de la posición de los fotopicos correspondientes. (Ver Fig. 8.2.).

Escala: ordenadas: 1cm = 100 Kev

abscisas : 1cm = 40 unidades de canal.

8.4.2.2. Atenuación x 2.

1) Repetir en atenuación x 2 los pasos del punto 8.4.2.1.

Obtener, además, el fotopico del rayo de 1,27 Mev del ^{22}Na .

¿Por qué no se hizo en at x 1? Comparar su área con la del pico de aniquilamiento. Discutir los resultados. (Ver Fig. 8.2.)

Nota: Se recomienda familiarizarse con los esquemas de desintegración de los nucleídos utilizados.-

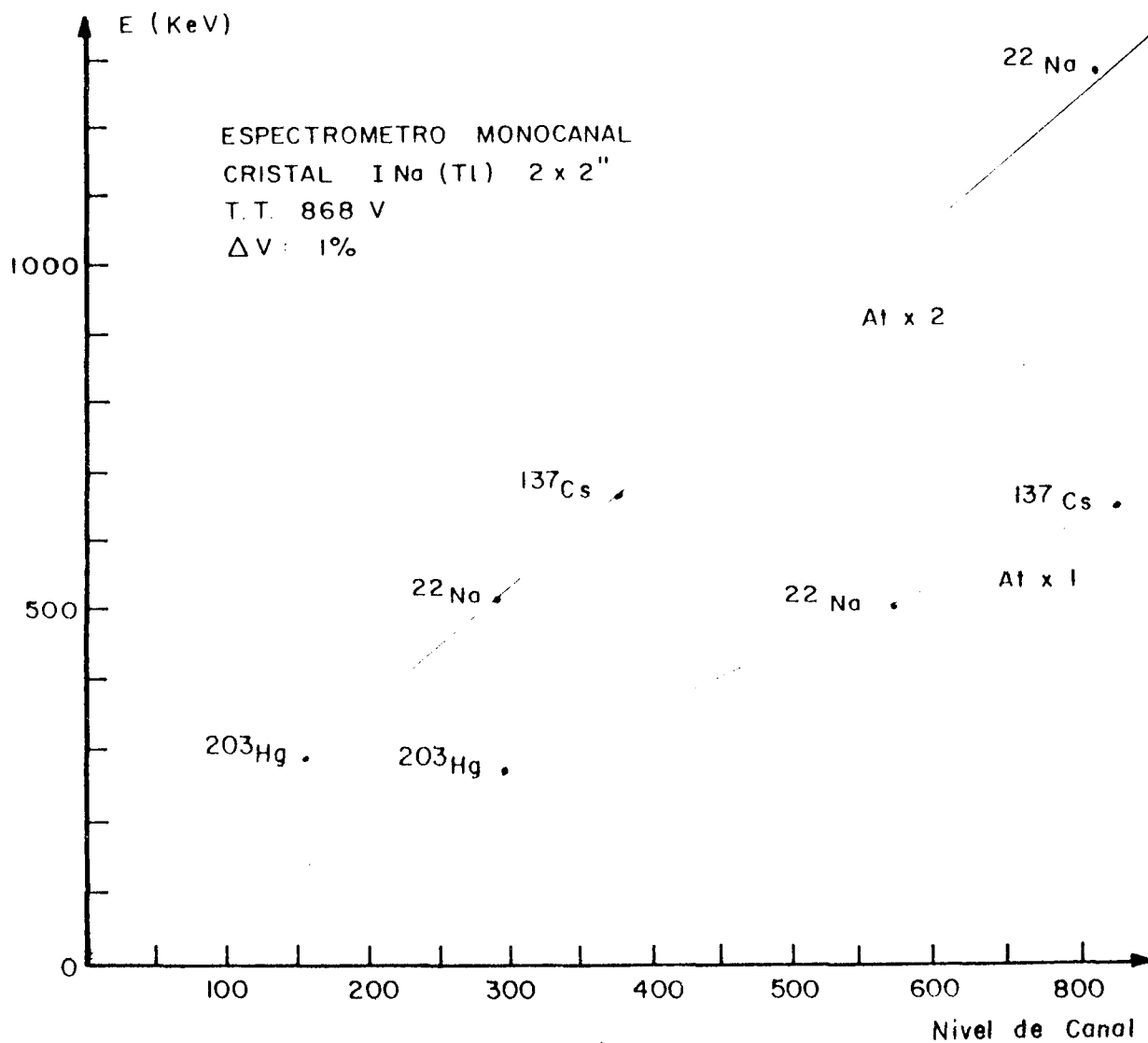


Fig.8-2. Calibración en energías de un espectrómetro utilizando dos atenuaciones distintas.

8.5. Cálculos de resolución.-

- 1.- Para cada uno de los fotopicos obtenidos para la calibración del espectrómetro, y en ambas atenuaciones, determinar el ancho del pico a mitad de altura y la amplitud del pulso de mayor abundancia en la distribución fotopico. (Ver Fig. 8.3.).

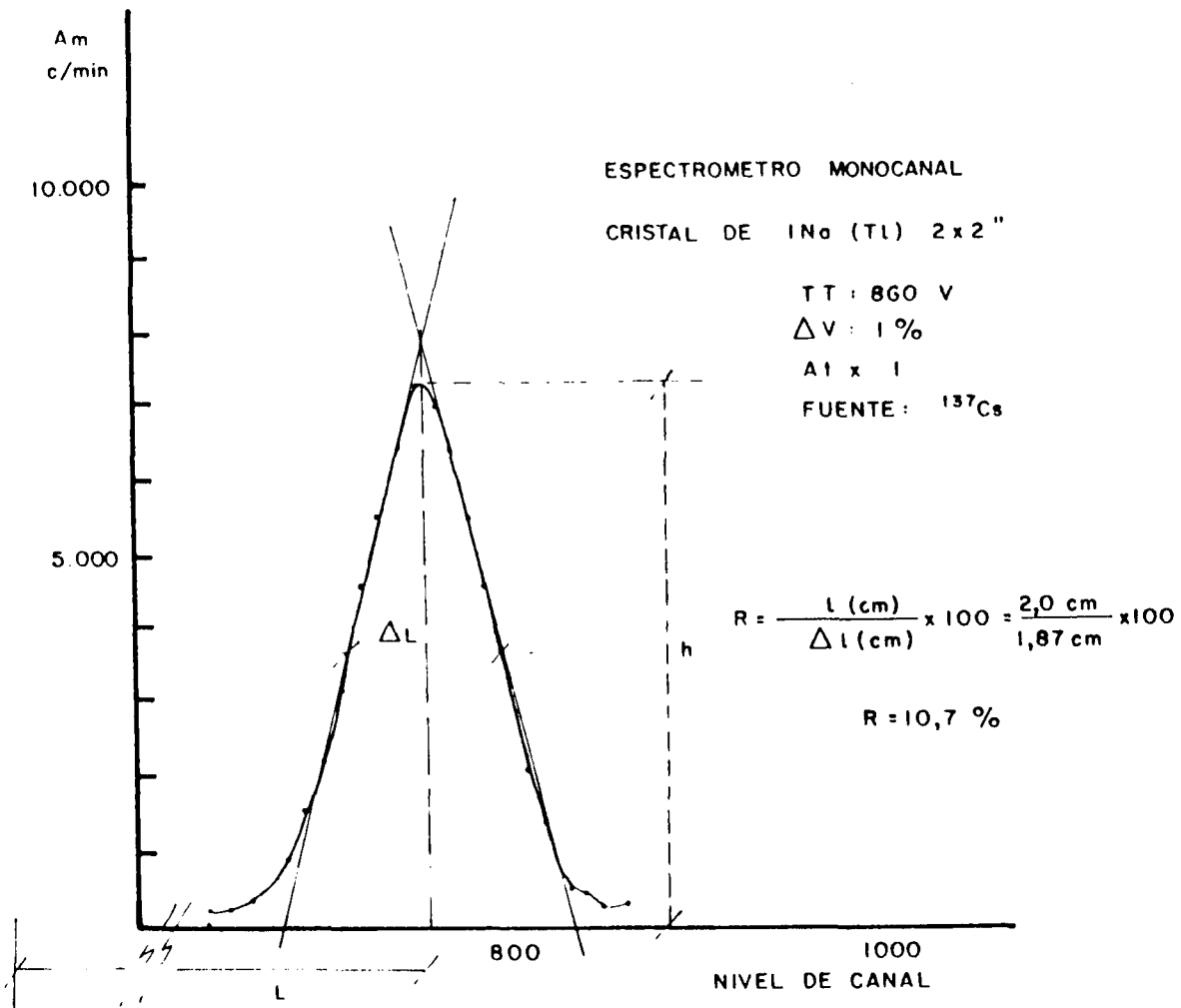


Fig.8-3.Ejemplo del cálculo de la resolución en energías de un espectrómetro.

- 2.- Calcular:

$$R \% = \frac{\Delta l}{l} \times 100$$

- Siendo:

Δ : ancho del pico a mitad de altura en cm.

l: amplitud del pulso de mayor abundancia en la distribución del fotopico en cm.

3.- ¿Cómo varía la resolución con la energía del rayo gamma?
¿Y con la atenuación? ¿Es lo esperado? Discutir por qué.

Calcular, como ejercicio, la resolución para los fotopicos de ^{203}Hg obtenidos con tres tensiones distintas en la práctica N°7.

¿Cómo varía con la tensión? Discutir por qué

Nota: Se toma como patrón al ^{137}Cs para el cálculo de la resolución de los detectores de yoduro de sodio.

8.6. Determinación de la actividad absoluta de una muestra de ^{137}Cs .

8.6.1. Condiciones de trabajo:

Tensión: Fija (la usada en la calibración)

ΔV : 10% (máximo)

nivel de canal: 50 unidades menos del correspondiente a la posición del fotopico del ^{137}Cs .

Posición de las fuentes: la indicada por el personal docente.

Tiempo de medición de las fuentes: Acumular 10.000 cuentas

Fondo: dos minutos.-

8.6.2. Desarrollo de la práctica:

1 - Con la fuente patrón de ^{137}Cs determinar la posición del fotopico.

- 2 - Fijar el discriminador inferior 50 unidades menos de la posición del fotopico.
(a esto se le llama "centrar el fotopico")
- 3 - En estas condiciones realizar una medición del patrón, de la muestra y del fondo.
- 4 - Calcular la actividad absoluta de la muestra según:

$$\Lambda_M = \frac{\frac{Ac}{M}}{\frac{Ac}{M}} \times \Lambda_p$$

Siendo:

Λ_M : actividad absoluta de la muestra.

Λ_p : actividad absoluta del patrón.

Λ_{CM} : actividad medida neta de la muestra.

Λ_{CP} : actividad medida neta del patrón.

9. RESOLUCION DE MEZCLAS.-

- 9.1. Objetivos: Comprobar la posibilidad de un espectrómetro monocanal para diferenciar dos nucleídos en una muestra.

Determinar la actividad absoluta de los nucleídos constituyentes de una mezcla.

9.2. Introducción:

En ciertos estudios metabólicos (humanos y animales) se suministran dos emisores gamma para obtener mejor y mayor información.

El problema consiste en determinar la actividad presente en diversas muestras obtenidas según la particularidad de cada técnica.

Como la energía de ambos emisores debe ser distinta, para poder resolver el problema es posible fijar en el espectrómetro condiciones tales que permitan obtener mediciones del nucleído de mayor energía en la que no hay influencia del de menor energía. En cambio, se debe resolver el problema de la contribución del de mayor energía en la zona de medición del nucleído de menor energía. Por lo tanto, se debe determinar la magnitud de esa contribución para restarla a la actividad del radionucleído de menor energía. En todo método que implica diferencia de magnitudes, éstas deben ser distintas para reducir el error, por lo tanto, se desprende que la mezcla se resolverá con más exactitud si contiene más actividad del radionucleído de menor energía que la del que tiene energía más alta.

9.3. Material a utilizarse:

Detector: Cristal de INA (Te) de 2 x 2"

Equipo de medición: Espectrómetro monocanal'

Fuentes: Patrón de ^{137}Cs ($^{137}\text{Cs}_p$) - Act. absoluta (A_1)

Patrón de ^{60}Co ($^{60}\text{Co}_p$) - Act. absoluta (A_2)

Mezcla $^{137}\text{Cs} + ^{60}\text{Co}$ ($^{137}\text{Cs}_M + ^{60}\text{Co}_M$)

Cronómetro.

9.4. Condiciones de trabajo:

Tensión: Fija (Puede usarse la hallada en la Práctica N°8 punto B).

Atenuación: x 1

$\Delta v:$
n de canal:

} Ver desarrollo de la práctica

Posición de las fuentes: las indicadas por el personal docente.

Tiempo de medición: Fuentes: acumular 10.000 cuentas

Fondo : 2 minutos en cada determinación.

9.5. Desarrollo de la práctica:

1.- Obtener el fotopico del ^{137}Cs .

Con el ^{137}Cs se hace el fotopico, se grafica y se determina su "posición" trazando las envolventes (C_1).

2.- Centrar el fotopico del ^{137}Cs , es decir ubicar la zona del fotopico del ^{137}Cs :

n de canal: 50 unidades menos de su posición es decir $C_1 - 50$

ΔV : 10%

Medir:

a) $^{137}\text{Cs}_p$	$\Lambda_B (^{137}\text{Cs}_p)$:----- c/min.
b) Mezcla	$\Lambda_B (M_Z)$:----- c/min.
c) $^{60}\text{Co}_p$	$\Lambda_B (^{60}\text{Co}_p)$:----- c/min.
d) Fondo	Λ_F :----- c/min.

3.- Restar fondo:

a) $\Lambda_B (^{137}\text{Cs}_p) - \Lambda_F = \Lambda_C (^{137}\text{Cs}_p)$:----- c/min.
b) $\Lambda_B (M_Z) - \Lambda_F = \Lambda_C (M_Z)$:----- c/min.
c) $\Lambda_B (^{60}\text{Co}_p) - \Lambda_F = \Lambda_C (^{60}\text{Co}_p)$:----- c/min.

4.- Observar en el gráfico del fotopico del ^{137}Cs a partir de que ca-

nal no hay prácticamente más nulsos hacia la derecha. Sea C_2 dicho canal. (Ver Fig. 9.1.)

- Colocar en el espectrómetro:

nivel de canal : C_2

AV : D(sin discriminador superior)

- Medir:

a) $^{60}\text{Co}_P$	$\Lambda'_B (^{60}\text{Co}_P)$	:----- c/min.
b) Mezcla	$\Lambda'_B (M_Z)$	:----- c/min.
c) Fondo	Λ'_F	:----- c/min.

5. - Restar fondo:

$$\Lambda'_B (^{60}\text{Co}_P) - \Lambda'_F = \Lambda'_C (^{60}\text{Co}_P) \quad :----- \text{ c/min.}$$

$$\Lambda'_B (M_Z) - \Lambda'_F = \Lambda'_C (M_Z) \quad :----- \text{ c/min.}$$

6. - Calcular la actividad absoluta del $^{60}\text{Co}_M$

A partir de C_2 no hay contribución del $^{137}\text{Cs}_M$. Por lo tanto, la $\Lambda'_C (M_Z)$ es la misma que se obtendría si el $^{60}\text{Co}_M$ estuviera solo en la muestra. Por lo tanto el cálculo es directo ya que se conoce la actividad absoluta del $^{60}\text{Co}_P$ (Ver Fig. 9.2.):

$$\Lambda'_2 = \Lambda_2 \cdot \frac{\Lambda'_C (M_Z)}{\Lambda'_C (^{60}\text{Co}_P)}$$

Siendo Λ'_2 : actividad absoluta del $^{60}\text{Co}_M$

7. - Cálculo de la contribución del $^{60}\text{Co}_M$ en la zona del fotopico del ^{137}Cs . Se calculará cuál sería la actividad medida del $^{60}\text{Co}_M$, si se midiera solo en la zona del fotopico del ^{137}Cs .

$$\Lambda_C (^{60}\text{Co}_M) = \frac{\Lambda'_2}{\Lambda_2} \cdot \Lambda_C (^{60}\text{Co}_P)$$

8. - Cálculo de la actividad medida neta del $^{137}\text{Cs}_M$ sin la contribución del $^{60}\text{Co}_M$

$$A_C (^{137}\text{Cs}_M) = A_C (M_Z) - A_C (^{60}\text{Co}_M)$$

9. - Cálculo de la actividad absoluta del $^{137}\text{Cs}_M$

$$A'_1 = A_1 \cdot \frac{A_C (^{137}\text{Cs}_M)}{A_C (^{137}\text{Cs}_M)}$$

Nota: Indicar cómo se procedería para resolver la mezcla usando discriminador inferior y AV: D en todas las mediciones.

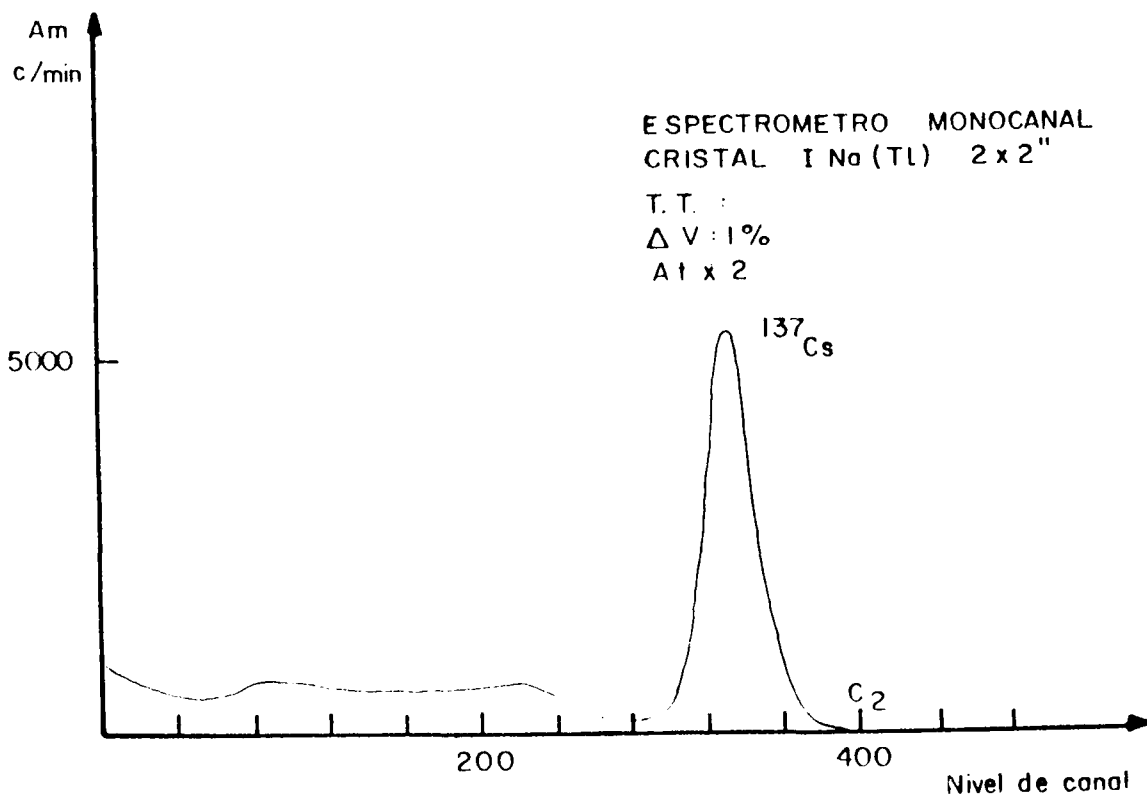


Fig.9-1. Se ve que a partir de C_2 no hay influencia de los pulsos del ^{137}Cs . (Se obtuvo el espectro usando atenuación x2.).

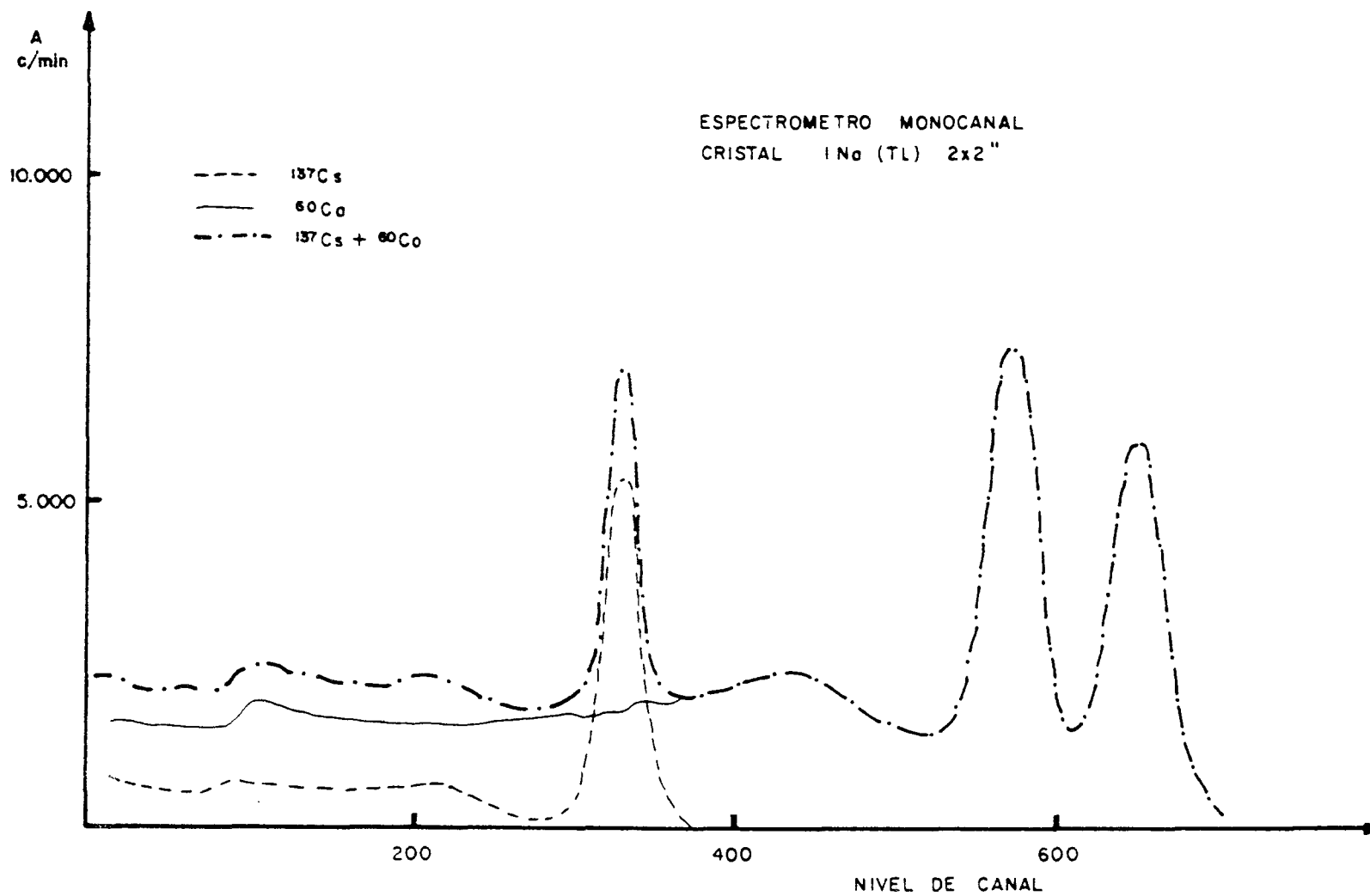


Fig.9-2. Espectro del ^{137}Cs , del ^{60}Co y de la mezcla. Se observa que a partir de C_2 solamente se miden pulsos del ^{60}Co . (Se utilizó At x 2).

10. INFLUENCIA DEL MEDIO SOBRE UN ESPECTRO.

10. 1. Objetivo:

Estudiar cómo influye el material que rodea a una fuente emisora gamma en el espectro correspondiente.

10. 2. Introducción:

La radiación electromagnética emitida por una fuente radiactiva puede interaccionar con los átomos del material que la rodea : aire, soporte de la muestra, blindaje y si se trata de la medición de las radiaciones emitidas por un radionucleído distribuido en el órgano de algún paciente, hay que considerar los tejidos

Estas interacciones alteran la forma del espectro de la radiación emitida.

En aquellos estudios que implican el conocimiento de la distribución de actividad en un órgano, por ejemplo, no tener en cuenta estos fenómenos puede conducir a imágenes con pobre resolución.

10. 3. Material a utilizarse:

Detector: Cristal de INA (tl) de 2 x 2"

Equipo de medición: Espectrómetro monocanal

Fuente: ^{203}Hg

Recipientes con agua como material dispersante.

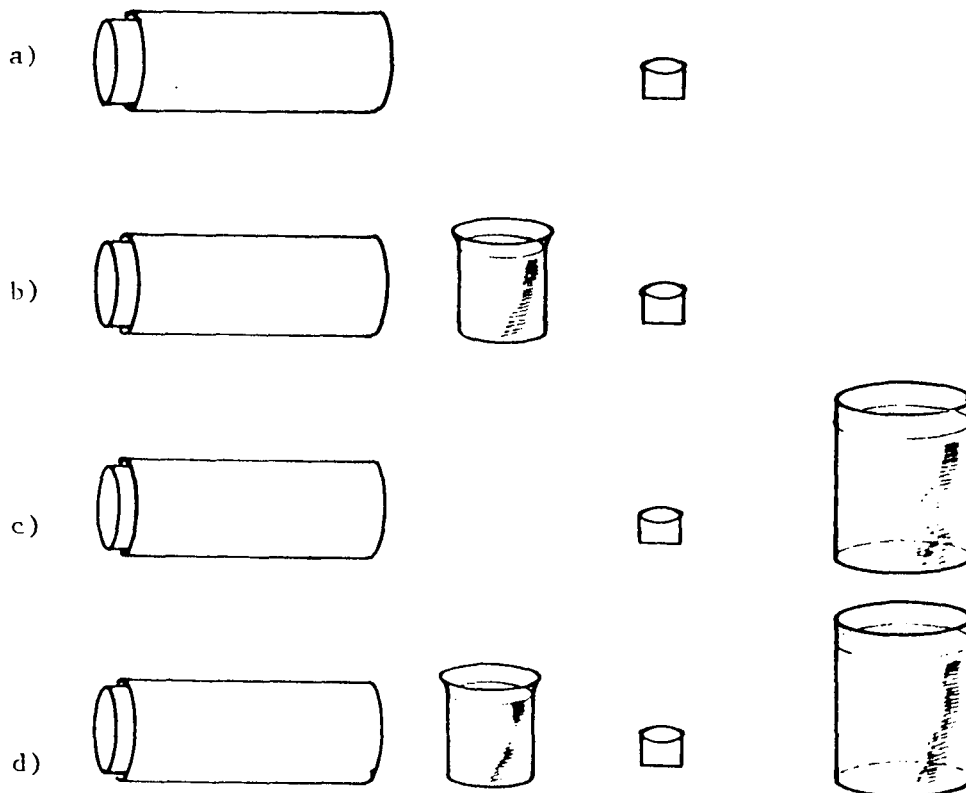
Cronómetro.

10. 4. Condiciones de trabajo:

- Tensión: Fija (Puede usarse la determinada en la práctica 8)
- Atenuación: x 1
- ΔV : 1% (mínimo)
- n de canal: variable
- Posición de la fuente: Fija (la indicada por el personal docente)
- Posición de los recipientes con agua: será indicada en el desarrollo de la práctica.
- Tiempo de medición: 30 seg. cada medición.

10. 5. Desarrollo de la práctica:

1. - Hacer el espectro completo de la fuente de ^{203}Hg para cada una de las situaciones siguientes:



2. - Graficar cada espectro con un color distinto y en el mismo papel.

3. - Discutir los resultados.

Nota: En esta práctica, el cabezal será sacado del blindaje para hacer posible la distribución de los recipientes con agua tal

como se ha indicado.

Se recomienda sumo cuidado para no golpear el cabezal.

11. CENTELLEADOR SOLIDO CON ESCALIMETRO.-

CURVA CARACTERISTICA.-

11. 1. Objetivos: - Reconocer las posibilidades y limitaciones del uso de un escalímetro o espectrómetro con discriminador simple.
- Obtener la curva característica del sistema detector-escalímetro.
- Elección de la tensión de trabajo.

11. 2. Introducción:

11. 2. 1. Curva característica.-

Con un escalímetro, solamente se puede determinar la actividad de una fuente constituida por un solo nucleído. No se pueden resolver mezclas, puesto que en estos equipos no hay posibilidad de variar en forma continua la tensión de base del discriminador. Al discriminador se le da una determinada tensión de base (fijada por el equipo) y todos los impulsos que superen esa tensión serán contados.

Si se coloca una fuente activa, de ^{60}Co por ejemplo, se verá que a muy bajas tensiones del fotomultiplicador no se observan cuentas en el escalímetro, esto se debe a que ni los mayores impulsos logran superar la tensión de base del discriminador.

Si se aumenta la tensión aplicada al fotomultiplicador, los impulsos liberados por éste serán mayores y habrá una tensión para la cual algunos impulsos superarán la tensión de base del discriminador y lograrán ser contados en el escalímetro. A medida que se aumenta la tensión aplicada al fotomultiplicador, mayor número de impulsos serán registrados, hasta que llegará un momento en que a pesar de aumentar la tensión no se observarán mayores aumentos en la actividad observada puesto que todos los impulsos del

espectro han superado la tensión límite del discriminador. A más altas tensiones, si el amplificador no se satura, son amplificados los impulsos provenientes del ruido electrónico y el número de cuentas registradas aumenta bruscamente. Se obtienen curvas como las de la Fig. 11.1. en las que puede observarse, en algunos casos, al principio una zona de pendiente brusca y luego una o más zonas de pendiente menor; al final la curva vuelve a empinarse.

En aquellos casos en que el amplificador se satura, no se observa el levantamiento brusco final.

La forma de la curva obtenida es muy dependiente de la energía de la radiación gamma que posea el nucleído a medir y del equipo de medición.

11. 2. 2. Elección de la tensión óptima de trabajo.-

Esta es dependiente, en general, del nucleído a medir. De ahí que se aconseje hacer una curva característica para cada nucleído en particular.

Una vez realizada la curva característica con la fuente activa, se repite la misma operación sin fuente.

A cada lectura de la fuente, a una tensión determinada, se le resta el valor de fondo a esa misma tensión, representándose en papel milimetrado la actividad neta de la fuente en función de la tensión aplicada al fotomultiplicador.

Se aconseja elegir la tensión de trabajo para los equipos de que disponemos, a más o menos 40 voltios de iniciada la pendiente más suave.

11. 3. Material a utilizarse.-

Detector: cristal de INA (Tl) 2 x 2"

Equipo de medición: escalímetro o espectrómetro con discriminador simple.

Fuentes radiactivas: ^{60}Co y ^{125}I

Cronómetro.

11. 4. Condiciones de trabajo.-

Discriminador inferior: fijo

Tensión : variable

Posición de las fuentes: será indicada por el personal docente.

En el caso de usar un espectrómetro se ubicará en niveles comprendidos entre 40- 80 unidades de canal y $\Delta V = D$.

Tiempo de medición: 1 minuto.

11. 5. Desarrollo de la práctica.-

Determinación de la curva característica.

1.- Colocar la fuente de ^{60}Co en la posición indicada y aumentar la tensión aplicada al fotomultiplicador de 20 en 20 voltios.

2.- Retirar la fuente de ^{60}Co y repetir la experiencia anterior.
(Medición de fondo)

3.- A cada lectura de la fuente restarle el valor de fondo para cada tensión.

4.- Graficar en papel milimetrado la actividad (A_B) en función de la tensión aplicada al fotomultiplicador.

5.- Graficar en el mismo papel milimetrado la actividad de fondo (A_F) y la actividad neta ($A_B - A_F$) en función de la tensión aplicada al fotomultiplicador.

6.- Elegir la tensión de trabajo a más o menos 10 voltios del comienzo de la pendiente más suave dentro de la característica.

7.- Repetir los pasos anteriores con otro nucleído (^{125}I por ejemplo).

8.- Compare ambas curvas características y discuta los resultados.

NOTA: El uso del espectrómetro con discriminador simple es útil cuando se dispone de fuentes de baja actividad en determinaciones donde no sea necesaria la discriminación de los pulsos.-

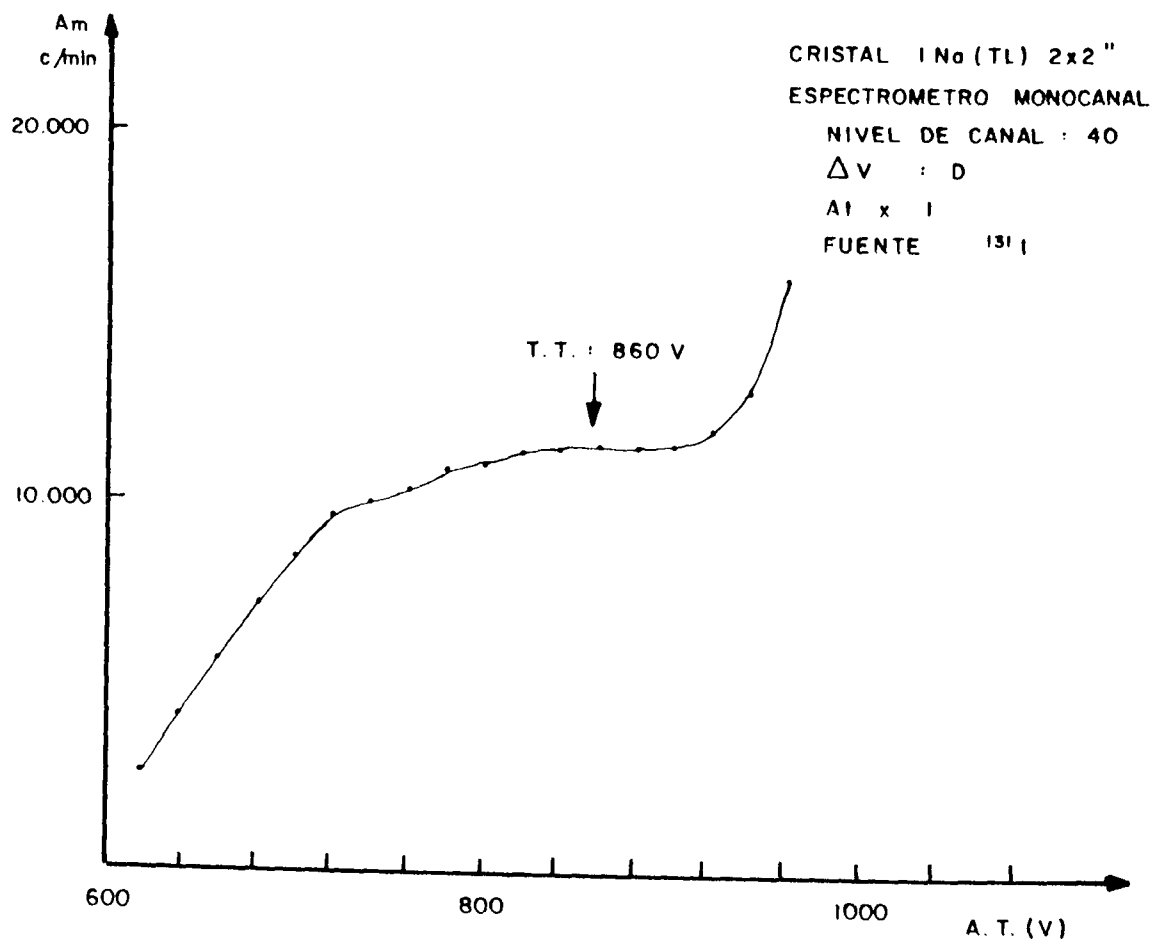


Fig.11-1. Curva característica del ^{131}I .

12. MAXIMA ACTIVIDAD MEDIBLE SIN COMETER ERROR POR COINCIDENCIA.-

-DETERMINACION DE LA ACTIVIDAD DE UNA MUESTRA POR COMPARACION CON UN PATRON DEL MISMO NUCLEIDO.

12. 1. Objetivos: - Estudiar las limitaciones del sistema de detección y medición.

- Determinar la máxima actividad que se puede medir en el equipo sin cometer error por coincidencia.

- Determinar la actividad absoluta de una muestra por comparación con un patrón del mismo nucleído.

12. 2. Introducción:

Ya se ha visto que son varias las etapas que están involucradas en el proceso de detección y conteo de las radiaciones gamma. Cada una de ellas ocurre en un cierto tiempo, es decir, cada parte del sistema (detector y unidades electrónicas) está ocupada durante un cierto tiempo en cumplir su función. Es fácil ver que si son varios los eventos radiactivos, es posible que todo el sistema no pueda registrarlos en forma individual, en consecuencia uno o varios de esos eventos no serán detectados.

El tiempo durante el cual todo el sistema está ocupado en procesar la información se llama tiempo muerto. Y todo nuevo evento que ocurra dentro de ese tiempo no será registrado.

La producción de luz en el cristal ocurre rápidamente después de la interacción y debe ser muy alta la actividad de la fuente para que la luz producida en un evento afecte a la producida en otro. Las etapas limitantes (las más lentas) son las electrónicas

Se desprende de lo dicho que es útil conocer la máxima actividad que pueda medirse sin que se produzca coincidencia de e-

eventos significativa en el tiempo.

Para ello se obtendrá un gráfico de actividad medida en función de actividad absoluta(o en función de un factor proporcional a la misma). Es obvio que debería dar siempre una recta cuya pendiente está relacionada con el factor de eficiencia, pero por lo dicho anteriormente a valores altos de actividad absoluta los valores experimentales se apartarán de la linealidad. El objetivo de la práctica será determinar a partir de qué zona del gráfico no se cumple la proporcionalidad directa.(Ver Fig. 12.1. al final).

12. 3. Material a utilizarse.-

- Detector: cristal de INA (Tl) 2 x 2"
- Equipo de medición: escalímetro o espectrómetro con discriminador simple.
- Fuentes radiactivas: fuentes proporcionales de ^{60}Co . Muestra de ^{60}Co .
- Cronómetro.

12. 4. Condiciones de trabajo.-

Tensión: la elegida en la práctica N°10 para el ^{60}Co .

Discriminador inferior: igual que en práctica N°11

Posición de las fuentes: la indicada por el personal docente.

Tiempo de medición: un minuto cada fuente

AV : D

12. 5. Desarrollo de la práctica.-

12.5.1. Máxima actividad medible sin cometer error por coincidencia.

- 1.-Medir cada una de las fuentes proporcionales (Se aconseja medir primero la fuente de mayor actividad para elegir la escala de las ordenadas y luego, comenzando por la 1^{era} fuente seguir el orden correlativo).

2.-Graficar, en papel milimetrado, colocando en ordenadas Actividad medida y en abscisas los factores proporcionales.

(Ver Nota 3).

Escala: ordenadas: (según la actividad medida de la fuente más activa)

abscisas : Según los valores dados.

Nota 1: Las fuentes proporcionales se han preparado siguiendo los siguientes pasos:

- 1) Limpiar y pesar n cazoletas de aluminio.
- 2) Agregar cantidades crecientes de una solución radiactiva (Ej: ^{60}Co) (Por ej. una gota en la primera cazoleta, dos en la segunda etc. Esto depende de la concentración de actividad de la solución inicial).
- 3) Pesar las cazoletas a medida que se agrega la solución radiactiva.
- 4) Romper la tensión superficial de las gotas agregando detergente.
- 5) Llevar todas a un mismo volumen.
- 6) Secar.

Nota 2: El peso de la solución agregada a cada cazoleta es proporcional a la actividad absoluta. Estos son los factores proporcionales. (A veces puede ser útil multiplicarlos por un número dado para obtener valores más cómodos para graficar.

Nota 3: Anotar del pizarrón:

<u>CAZOLETA N°</u>	<u>FACTOR PROPORCIONAL.</u>
1	--
2	--
3	--
4	--
5	--
6	--
7	--
8	--
9	--
10	--

12.5.2. Determinación de la actividad absoluta de una muestra de ^{60}Co

- 1) Colocar la muestra y luego el patrón en una posición tal que no supere la máxima actividad medible sin cometer error por coincidencia.
- 2) Medir la muestra y luego el patrón acumulando 10.000 cuentas
- 3) Medir fondo y restarlo a las actividades obtenidas en 2.
- 4) Calcular la actividad de la muestra.

$$\Lambda_1 = \frac{\Lambda_{C1}}{\Lambda_{C2}} \times \Lambda_2$$

Siendo:

Λ_2 = actividad absoluta del patrón.

Λ_{C1} = actividad medida neta de la muestra.

Λ_{C2} = actividad medida neta del patrón.

Nota 1- Corregir la actividad del patrón en el caso de ser significativo su decaimiento.

Nota 2- Si la muestra estuviese constituída por otro nucleí-
do, habría que hacer una nueva curva característi-
ca para elegir la tensión adecuada al mismo.-

13. - CRISTAL DE POZO.-

- CALIBRACION DE UN ESPECTROMETRO, ACOPLADO A UN CRISTAL DE POZO, PARA MEDIR EMISORES GAMMA DE BAJA ENERGIA.
- MEDICION DEL $^{125}_{53}\text{I}$.
- USO DE PATRONES SIMULADOS.

13.1. Objetivos:

- Familiarizarse con el uso de los detectores de pozo.
- Calibrar un espectrómetro para utilizarlo en mediciones de nucleídos emisores gamma de baja energía.
- Familiarizarse con el $^{125}_{53}\text{I}$: su esquema de desintegración y espectro. Pico suma coincidencia. Pico suma fortuito. Seleccionar las condiciones del espectrómetro para medir $^{125}_{53}\text{I}$ a través de un factor de mérito.
- Estudiar la influencia del volumen de las fuentes radiactivas en la medición de actividades en un cristal de pozo.
- Determinar la actividad absoluta de una muestra de $^{125}_{53}\text{I}$.

13.2 Calibración del espectrómetro para bajas energías

13.2.1. Introducción :

Con la calibración del espectrómetro realizada en la práctica N°8 a la absorción de un fotón de 1 Mev. le corresponde un

pulso de aproximadamente 1000 unidades arbitrarias de tensión.

Si con estas condiciones de trabajo, se tratara de obtener el espectro de un nucleído emisor gamma de baja energía, por ejemplo el ^{125}I (Ver el esquema de desintegración) se obtendrán picos cercanos al origen de la escala de nivel de canal, por lo tanto debe calibrarse el equipo utilizando patrones emisores de radiación electromagnética de baja energía, cuyo orden de magnitud sea semejante a la del ^{125}I .

Se usarán en esta práctica fuentes de ^{137}Cs , $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (ó ^{57}Co) y ^{203}Hg .

El ^{137}Cs establece con su hija $^{137\text{m}}\text{Ba}$ un equilibrio secular; ésta como ya se ha visto, desintegra por TI en un 89% y, en un 11%, por conversión interna, emitiendo en este caso rayos X siendo el más abundante el K_{α_1} de 32,19 Kev.

El $^{99\text{m}}\text{Tc}$ desintegra por TI emitiendo rayos gamma, donde el de 140 Kev es el más importante en cuanto a su energía y abundancia.

El ^{203}Hg , al desintegrar por β^- produce ^{203}Tl en un estado excitado que, por desintegración gamma o conversión interna, pasa al estado fundamental. Al desintegrar por conversión interna el rayo X correspondiente a la emisión K_{α_1} es de 72,87 Kev.

Nota 1: Se aconseja a los asistentes consultar los esquemas de desintegración correspondientes.

Nota 2: En lugar de $^{99\text{m}}\text{Tc}$ se puede usar el rayo gamma más abundante del ^{57}Co que es de 122 Kev.

13.2.2. Material a utilizarse.-

Detector: Cristal de pozo de INa (Tl)

Equipo de medición: Espectrómetro

Fuentes radiactivas: ^{137}Cs - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ - ^{203}Hg

Cronómetro

13.2.3. Condiciones de trabajo.-

Tensión: Fija (la selecciona el grupo de trabajo)

ΔV : 1% (mínimo)

At x l

Nivel de canal: variable

Tiempo de medición: 30 seg. cada canal.

13.2.4. Desarrollo de la práctica.-

- 1) Elegir la tensión de trabajo. Se sigue la misma técnica que la de la práctica N°8 pero, en este caso, se elige la tensión de trabajo en base al fotón de mayor energía emitido por los patrones de calibración (la de 140 Kev del $^{99\text{m}}\text{Tc}$ o 122 Kev del ^{57}Co). Un criterio aceptable es que a la absorción 140 Kev de energía (ó 122 Kev en el caso de usar ^{57}Co) le corresponda una altura de pulso de 700 u 800 unidades arbitrarias de tensión.
- 2) Una vez elegida la tensión aplicada al fotomultiplicador se procede de igual forma que la práctica N°8, hasta obtener la recta de calibración (Hacerlo solamente en atenuación x 1).

13.3. Espectro del ^{125}I .-

13.3.1. Introducción:

El ^{125}I es un radionucleído muy usado en las técnicas del Radioinmunoanálisis y, como forma parte de muestras líquidas, es necesario usar en su cuantificación cristales de Na (Tl) de pozo. En éstos la probabilidad de obtención de picos suma coincidencia se hace importante cuando se está en presencia de radionucleídos que emiten fotones en cascada como es el caso del ^{125}I . En efecto, este radionucleído decae por captura elec-

trónica a ^{125m}Te , que al desexcitarse emite rayos gamma de 35.48 Kev. altamente convertidos en un 93%. Como consecuencia de la conversión interna se emiten rayos X siendo el K_{α_1} de 27.47 Kev. el más abundante. Como se ve, el ^{125}I es capaz de emitir rayos X de la CE en cascada con fotones gamma ó con rayos X de la conversión interna.

Para más detalles referirse a los apuntes del Curso de Metodología y Aplicación de Radioisótopos).

13.3.2. Material a utilizarse.-

Detector y equipo de medición: los del punto 13.2.

Fuente radiactiva: muestra líquida de ^{125}I .

13.3.3. Condiciones de trabajo.-

- Iguales a las del punto 13.2.3.

13.3.4. Desarrollo de la práctica.-

Una vez comprobado el buen funcionamiento del espectrómetro proceder como sigue:

1) Hacer el espectro del ^{125}I en dos geometrías distintas (graficarlos):

- a) Tubo dentro del pozo.
- b) Tubo fuera del pozo.

2) Comparar ambos espectros ¿Por qué son distintos?

¿A qué se debe? Analice a qué energía corresponde cada pico.

13.4. Elección de las condiciones de trabajo para la Medición de ^{125}I .

13.4.1. Material a utilizarse.-

Detector y equipo de medición: los del punto 13.2.

Fuentes radiactivas: 3 muestras líquidas de ^{125}I de distinta actividad.

13.4.2. Condiciones de trabajo.-

Se indican en el desarrollo de la práctica.

13.4.3. Desarrollo de la práctica.-

Con cada una de las muestras proceder como se indica a continuación.

- a) Con ΔV : 100 y nivel de canal 50 unidades menos del centro del fotopico, hacer una medición durante dos minutos.
- b) Con ΔV : 0 y el nivel de canal puesto en el comienzo del fotopico, medir todo el espectro durante 2 minutos.
- c) Determinar el fondo para las dos condiciones de trabajo anteriores.
- d) Con el valor del fondo correspondiente, calcular el coeficiente de variación para las mediciones a) y b).
- e) En base a los resultados se discutirá, al finalizar la práctica, cuáles son las condiciones de trabajo óptimas para la medición del ^{125}I comparando los coeficientes de variación obtenidos con las distintas fuentes.-

Nota: Recordar que las condiciones de trabajo a utilizar están sujetas a la determinación previa de la máxima actividad medible sin cometer error por coincidencia.-

13.5. Influencia del volumen en la medición en un cristal de pozo.-

Observación de las particularidades del ^{125}I .

13.5.1. Introducción:

Un cristal de pozo, es un cristal de centelleo cilíndrico al que se le ha practicado un orificio o pozo central dentro del cual puede colocarse un tubo con la muestra a medir (en general muestras líquidas).

Con esta configuración se aumenta la eficiencia ya que es mayor la fracción de rayos γ que es absorbida por el cristal. Esta fracción, depende del tamaño del cristal, del tamaño del pozo y del volumen de la muestra. Si el volumen de la muestra es grande con relación al volumen del pozo, será también grande la fracción de rayos que no son detectados. En general si se tiene una muestra con una determinada actividad absoluta, al ir diluyéndola, la actividad medida disminuirá al principio lentamente y luego en forma más pronunciada.

Se observarán las particularidades del ^{125}I .

13.5.2. Material a utilizarse.-

Detector: Cristal de INa (Tl) de pozo.

Equipo de medición: Espectrómetro

Fuente radiactiva: ^{125}I .

Diluyente: Reactivo retardador de la volatilización de Yodo (RRV1).

Cronómetro

Propipeta

Agitador

Tiempo de cada medición: 2 minutos.

13.5.3. Condiciones de trabajo

a) Fotopico

b) Suma

c) Suma + fotopico

Tensión: la del punto 13.2.

At x l

<u>Nivel de canal</u> <u>ΔV</u>	}	Se seleccionarán tres condiciones de trabajo: a) abarcando el fotopico normal. b) abarcando el pico suma coincidencia. c) abarcando el espectro total.
------------------------------------	---	---

Posición de la fuente: dentro del pozo.

13.5.4. Desarrollo de la práctica.-

- 1) Realizar una lectura del tubo conteniendo la solución del radionucleído.
- 2) Realizar lecturas sucesivas de la muestra activa en las tres condiciones de trabajo, y su posterior dilución con RRVI a 1 ml; 1,5 ml; 2 ml; 2,5 ml; 3 ml; 4ml; 5 ml; 8 ml; 10 ml. Agitar bien antes de medir.
- 3) Comprobar si el fondo es significativo. En caso afirmativo hacer una lectura de un minuto y restárselo a los valores de la actividad medida de la fuente y sus diluciones.
- 4) Graficar en papel milimetrado la actividad medida de la fuente en función del volumen de la misma, para las tres condiciones de trabajo. (Considerar despreciable el volumen inicial de la fuente).
- 5) Se discutirán los resultados al finalizar la práctica.-

13.6. Cuantificación de una muestra de ^{125}I .-

13.6.1. Introducción:

Como ya se ha visto, para determinar la actividad absoluta de una muestra radiactiva por comparación con un patrón, tanto la fuente patrón como la muestra deben medirse en igualdad de condiciones refiriéndose ésto no sólo a los parámetros del equipo de medición sino también a las características de las fuentes. Tratándose de muestras líquidas ya se ha concluído en el punto 13.5. que deben tener el mismo volumen. Esto último, no sólo debe cumplirse en las determinaciones de actividad absoluta, si-

no también en aquellas que conduzcan a la comparación o correlación de distintas fuentes radiactivas (como sería por ejemplo en el caso de la obtención de la curva dosis respuesta para Radioinmunoanálisis).

13.6.2. Material a utilizarse.-

Detector: Cristal de INa (Tl) de pozo.

Equipo de medición: Espectrómetro.

Fuentes radiactivas: Muestra de ^{125}I : Volumen: Será indicado por el personal docente.

Patrón de ^{125}I : Actividad absoluta y Volumen serán indicados por el personal docente.

Cronómetro.

Propipeta.

Condiciones de trabajo.-

Se elegirán en base a las conclusiones del punto 13.4 y 13.5.-

13.6.3. Desarrollo de la práctica.-

- 1) Controlar las condiciones de trabajo: verificar si no se produjo corrimiento del fotopico del ^{125}I .
- 2) Controlar si la muestra de ^{125}I tiene el mismo volumen que el patrón de ^{125}I . En caso contrario ¿Qué debe hacer?. Proceda.
- 3) Medir muestra, patrón y fondo durante dos minutos.
- 4) Calcular la actividad absoluta de la muestra de ^{125}I .-

14. INTEGRADORES.-14.1. Objetivos:

1. - Adquirir práctica en el manejo del integrador.
2. - Reconocer las aplicaciones prácticas de tales instrumentos.
3. - Estudiar la influencia de la constante de tiempo y rango en la estadística de las mediciones y en el tiempo de equilibrio del equipo.
4. - Determinar el período del ^{137m}Ba .

14.2. Introducción:

Como se ha visto en clase, en general, el uso del integrador en la detección de los radioisótopos se realiza en aquellos casos en los cuales se estudian procesos dinámicos. Los ejemplos típicos son:

- 1) Uso de nucleídos de períodos cortos.
- 2) Sistemas de flujo, donde la cantidad de nucleído en el área de detección es variable.
- 3) Radiocromatografía, donde la cantidad de nucleído en el área de detección es variable.
- 4) Centellografía
- 5) Sistemas biológicos, experimentos de perfusión, mediciones en vivo, etc.

Si se hace necesario, suele acoplarse al integrador un registrador gráfico. En el papel de dicho registrador se obtienen las variaciones de actividad, acusadas por el integrador, en función del tiempo, visualizándose así el aspecto dinámico de la experiencia.

En la cuantificación del efecto debe tenerse en cuenta el error implicado que depende, tal como se ha visto en clase, de la

constante de tiempo y rango del integrador.-

14.3. Material a utilizarse:

- Detector: Cristal de JNa (Tl)
- Integrador - Espectrómetro
- Registrador gráfico
- Fuentes radiactivas: emisores gamma - Generador de ^{137}Cs - $^{137\text{m}}\text{Ba}$.

14.4. Condiciones de trabajo:

Tensión: Fija (de acuerdo con la energía de las radiaciones utilizadas)

AV: D

Nivel de canal: fijo (40 a 80)

Rango: Según lo indicado en el desarrollo de la práctica.

Velocidad del registrador: Será fijada por el personal docente.

Posición de las fuentes: Será indicada por el personal docente.

14.5. Desarrollo de la práctica:

14.5.1. Rango 1 M (10^6 c/ min.)

Es conveniente antes de comenzar a trabajar:

- a) Verificar las conecciones detector-integrador-registrador.
 - b) Controlar el cero y fondo de escala del registrador y su equivalencia con la escala del integrador.
- 1- Colocar la fuente radiactiva en el detector en la posición indicada por el personal docente.
 - 2- Con la perilla correspondiente, colocar una RC pequeña y determinar el rango a utilizar con el selector correspondiente.

- 3- Una vez fijado el rango, seleccionar la velocidad del papel del registrador (puede usarse una velocidad de aproximadamente 5cm/min.
- 4- Colocar RC: 0,01 seg.
- 5- Poner en marcha el registrador y con el selector de uso del integrador en lectura, realizar una observación de algunos minutos (de 2 a 3 min.)
- 6- Repetir con RC: 0,15 seg y 5 seg.

14.5.2. Rango 10 K (10^4 c/min.)

1) Cambiar la fuente radiactiva por otra que se indicará.

2) Repetir los pasos señalados en 14.5.1. pero con:

- a) RC: 0,1 seg.
- b) RC: 1,5 seg.
- c) RC: 10 seg.

14.5.3. Rango 1 K (10^3 c/min.)

1) Se repetirán los pasos indicados en 13.5.1. para observaciones del fondo, con las siguientes RC.

- a) RC: 0,1 seg.
- b) RC: 1,5 seg.
- c) RC: 10 seg.

Nota: Los valores de RC. podrán ser modificados de acuerdo a la disponibilidad del instrumento que se esté usando.

14.5.4. Cálculo de la actividad medida y su desviación standard.
Tiempo de espera.

1) En todos los registros obtenidos observar el tiempo que debe

transcurrir para alcanzar el equilibrio del integrador. ¿Es lo esperado? ¿De qué depende el tiempo de espera?

- 2) En todos los registros obtenidos determinar la actividad media, trazando una recta entre las fluctuaciones máximas y mínimas.
- 3) Calcular el coeficiente de variación en todos los registros obtenidos.

$$V = \frac{100}{\sqrt{2} \cdot A_m \cdot RC}$$

- 4) Comparar los distintos valores del coeficiente de variación. Discutir los resultados. ¿De qué depende la estadística en un integrador?

14.3.3. Determinación del período del ^{137}mBa .

Se le proveerá a cada grupo de trabajo una alícuota de la solución de un generador de $^{137}\text{Cs} = ^{137}\text{mBa}$.

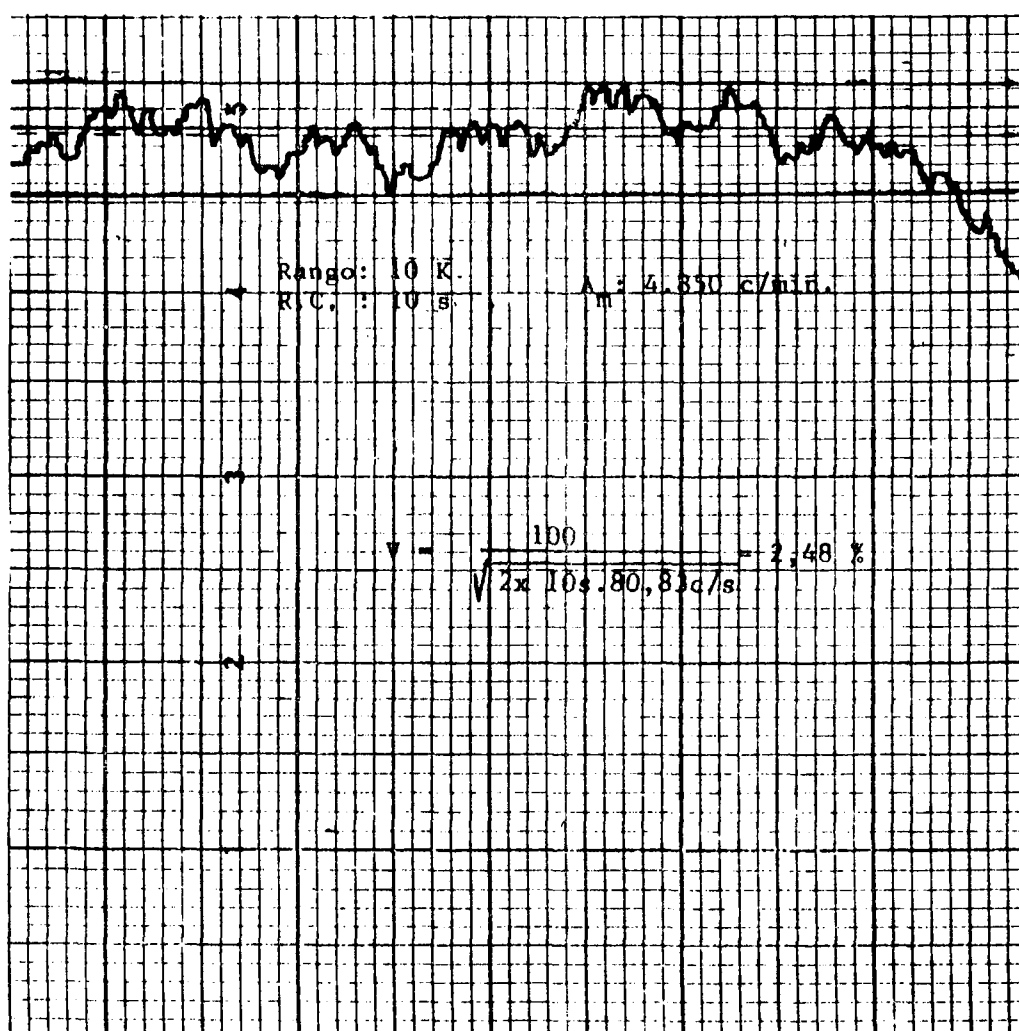
- 1) Colocar en el cristal de pozo la fuente de ^{137}mBa . Seleccionar el rango adecuado.
- 2) Con una $RC = 1,5$ hacer un registro de aproximadamente 8 minutos.
- 3) Modificar el rango adecuándolo a la actividad presente en ese instante.
- 4) Con una $RC = 10$ seg. hacer un registro de 5 ó 6 minutos.
- 5) Graficar en papel semilogarítmico A_m en función del tiempo.

Nota: la escala del tiempo del papel del registrador se determinará en base a la velocidad utilizada.

- 6) Calcular el período del ^{137m}Ba .
- 7) Discutir los gráficos obtenidos con las dos constantes de tiempo.

Nota: El generador utilizado, es una columna estéril, cerrada con tapones tipo penicilina. Está constituido por Cloruro de Cesio absorbido en hexaciano ferrato férrico $\left[(\text{Fe}(\text{CN})_6)\text{Fe}\right]$. El eluyente utilizado es CIH 0,01 N.

Nota 2 : Se ilustran los cálculos a realizarse mediante la siguiente figura



15.0.0 CENTELLEO LIQUIDO

15.1.0- Objetivos:

- a)-Adquirir información acerca de los principios básicos del funcionamiento de un contador de Centelleo Líquido.
- b)-Investigar y corregir el efecto "quenching" utilizando el método del "standard" interno y la relación de canales con standard interno y externo.
- c)-Determinar la actividad absoluta de una muestra incógnita.

15.2.0- Introducción:

Los participantes podrán remitirse al capítulo correspondiente del Curso de Metodología y Aplicación de Radioisótopos.

15.3.0- Material a utilizarse:

Equipo de medición: Centelleador Líquido.

Fuentes radiactivas: Ver desarrollo de la práctica.

15.4.0- Condiciones de trabajo:

Ver desarrollo de la práctica.

15.5.0- Desarrollo de la práctica

15.5.1- Método del standard interno

Se dispondrá de las siguientes muestras:

-0,5 ml de una muestra de orina tritiada + 15 ml de líquido centelleador + 0,1 ml de solución patrón de ^3H .

-0,5 ml de una muestra de orina tritiada + 15 ml de líquido cente-

lleador + 0,1 ml de agua destilada.

-1,1 ml de agua destilada + 15 ml de líquido centelleador.

Nota: Líquido centelleador utilizado: será indicado en la clase.

Procedimiento:

- 1) Colocar en el equipo el canal y ventana correspondiente a la medición del ^3H .
- 2) Fijar el prefijador de error porcentual en 2% y realizar las mediciones de las tres muestras.
- 3) Calcular la eficiencia de medición para el ^3H en esas condiciones de trabajo:

$$e_{^3\text{H}} = \frac{A_{c,st} - A_c}{A_{st}} \times 100$$

Siendo:

$A_{c,st}$: actividad medida neta de la muestra con standard interno.

A_c : actividad medida neta de la muestra sin standard interno.

A_{st} : actividad absoluta del standard interno(en d/m)

- 4) Con el valor de la eficiencia calculado en 3) obtener el contenido de ^3H en la muestra de orina.

15.5.2 . Relación de canales con standard interno y externo

- 1)- Preparar una serie de 8 muestras como se indica en la tabla 15.1

- 2)- Seleccionar los módulos para la medición de ^3H en dos canales y ventanas distintos (sean canal A y canal B).(Ver Fig 15.1).
- 3)-Programar el conteo en los dos canales y standard externo.
- 4)-Realizar las mediciones de las muestras y un blanco.
- 5)-Con los datos obtenidos calcular la eficiencia de medición en el canal B y la relación entre las c/min netas de los canales A y B.
- 6)-Graficar eficiencia en función de la relación de canales calculadas en 5) y en función de la relación de canales del standard externo (este valor viene dado automáticamente por el equipo).

15.5.3-Obtención de la actividad absoluta de una muestra incógnita.

- 1)-Medir la muestra incógnita en los canales A y B.
- 2)-Calcular la relación de canales(tener en cuenta las c/min del blanco).
- 3)-Usando las curvas obtenidas en 15.5.2 y la relación de canal, (con standard interno y externo) obtener la eficiencia de medición de la muestra y, a partir de la misma, calcular la actividad absoluta de la muestra.

Nota : Todas las mediciones de 15.5.2 y 15.5.3 se harán prefijando un 2% de error.

Tabla 15-1

Nº de muestra	Liq. Cent (ml)	"Quencher" Piridina(ml)	³ H patrón ml
1	15,0	0,00	0,1
2	14,95	0,05	0,1
3	14,90	0,10	0,1
4	14,85	0,15	0,1
5	14,80	0,20	0,1
6	14,75	0,25	0,1
7	14,70	0,30	0,1
8	14,65	0,35	0,1

16. RADIOCROMATOGRAFIA.

(Ver: Parte experimental del apunte del Curso de Metodología y Aplicación de Radioisótopos).

Valores Experimentales:

17 . CENTELLOGRAFIA.

CURVAS DE ISOMEDICION DE DOS COLIMADORES DISTINTOS.

RESOLUCION - SENSIBILIDAD.

17. 1. Objetivo de la práctica:

- Familiarizar al alumno con el uso de colimadores en un centellógrafo lineal.
- Determinar la distancia focal y comparar la resolución y sensibilidad de un colimador de 19 agujeros y otro de 37 agujeros.
- Obtención de las curvas de isomedición de ambos colimadores en base a las curvas respuesta a una fuente lineal.

1.7. 2. Introducción:

El colimador es un dispositivo acoplado al cristal de Yoduro INa (Tl) del centellógrafo cuya función es la de limitar las zonas de detección, permitiendo el estudio de la distribución de actividad en el objeto de interés.

La calidad de la imagen de una distribución de actividad está gobernada por la sensibilidad y resolución espacial del colimador, parámetros que a su vez dependen del diseño del colimador.

Existen distintos tipos de colimadores, cuya elección depende de los fines buscados. Se usarán colimadores enfocados (convergentes).

En la práctica se determinará la sensibilidad planar definida como "la relación entre el número de fotones emitidos por

unidad de área de una fuente planar perpendicular al eje del colimador conteniendo una concentración de actividad uniforme". Para ello usaremos una fuente lineal en lugar de una planar de la que se obtendrá la curva respuesta. A partir de la integral (área) de esta curva, se obtendrá la sensibilidad planar de cada colimador.

Se determinará además la resolución, definida por algunos autores como "la menor distancia que debe haber entre dos objetos radiactivos para que puedan ser distinguido; por el colimador como dos fuentes distintas". Otros autores la definen como la capacidad del sistema para distinguir detalles finos, necesaria para identificar pequeñas inhomogeneidades en una distribución de radionucleídos.

Una forma sencilla de determinarla (pero no muy representativa) es midiendo el ancho a mitad de altura de la curva respuesta a una fuente lineal obtenida en la distancia focal de cada colimador.

La distancia focal es la distancia entre la cara del colimador y el punto donde convergen los agujeros del mismo.

Otra información relacionada con las características del colimador son las curvas de isorrespuesta o isomedición que unen puntos de igual actividad medida. Cada una de ellas representa un corte longitudinal de los volúmenes de isorrespuesta del campo de visión del colimador.

Las curvas se dibujan en un sistema de ejes que contiene al eje de simetría del colimador, representándose los porcentajes del valor máximo medido (obtenido en el volumen focal). Existen distintos métodos, aquí se indicará uno de ellos en el desarrollo de la práctica.

17. 3. Material a utilizarse.-

- Centellógrafo lineal

- Colimadores: 19 y 37 agujeros
- Fuente radiactiva: capilar con solución de ^{137}I (fuente lineal)
- Concentración de actividad:
- Registrador gráfico

17. 4. Condiciones de trabajo:

Tensión aplicada al fotomultiplicador: Fija (la seleccionará el alumno en base a prácticas anteriores).

AV: 10%

Nivel de canal: centrando el fotopico de ^{131}I

At x l

V del centellógrafo: $30 \frac{\text{cm}}{\text{min.}}$ (indicada por el "0" en el equipo)

V del registrador: 30cm/min. (12"/min.) ó cercana a este valor

17. 5. Desarrollo de la práctica:

Antes de comenzar el trabajo el alumno se familiarizará con los controles que se utilizarán en el desarrollo de la práctica.

1. - Fijar la tensión de trabajo utilizando el capilar con ^{131}I .
2. - Determinar la condiciones de trabajo del espectrómetro realizando el fotopico del ^{131}I .
3. - Colocar el colimador de 37 agujeros en el cabezal.

4. - Fijar el rango del integrador desplazando lentamente, en sentido vertical (z), el cabezal del equipo.
5. - Seleccionar la velocidad de desplazamiento horizontal (x) del cabezal y del papel del registrador. Es conveniente que ambas sean iguales, de lo contrario hay que determinar un factor de conversión.
6. - Controlar el " cero " del registrador.
7. - Obtener las curvas respuesta a la fuente lineal para cada profundidad. Para ello proceder como sigue:
 - a) Colocar el cabezal en la posición más alejada de la fuente o sea en la posición "0" de la reglilla del equipo ubicada en forma paralela al eje del cabezal.
 - b) Poner en funcionamiento el registrador y el cabezal simultáneamente. (El cabezal se desplazará en forma manual y en sentido perpendicular al capilar abarcando una longitud de aproximadamente 5-6cm. a ambos lados del mismo. Ver Fig. 17-1).

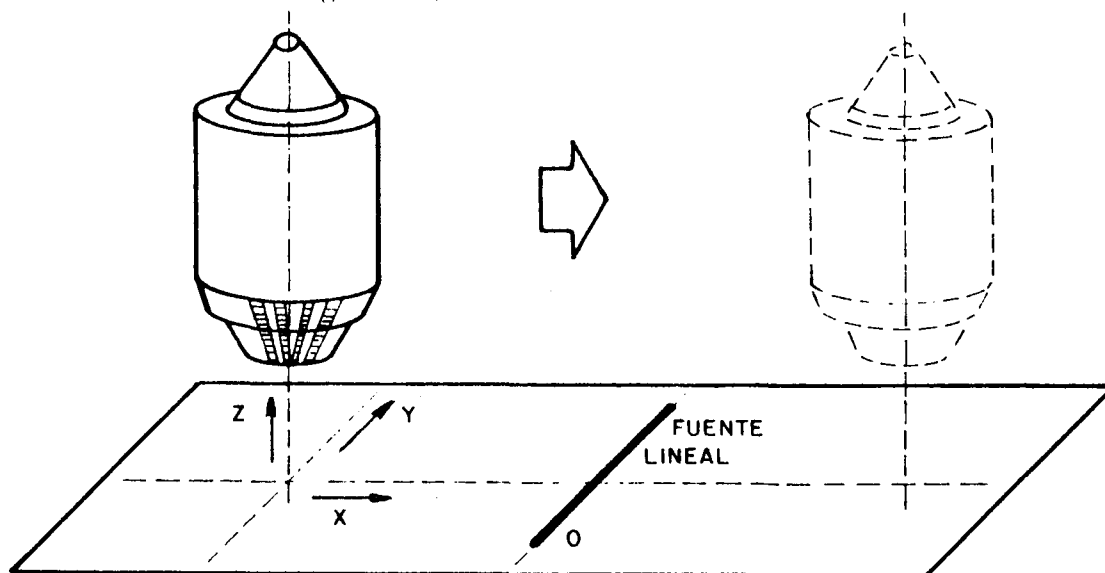


Fig.17-1. Disposición de la fuente lineal con respecto al cabezal.

- c) Repetir a) y b) variando la posición del cabezal (profundidad) de 1 en 1 cm. hasta donde lo permita la posición del capilar.

Se aconseja: interrumpir el funcionamiento del registrador cada vez que se modifica la profundidad del cabezal para evitar gastos innecesarios de papel. Anotar en cada curva el valor de la profundidad (z).

Nota: La distancia entre el capilar y la boca del colimador (z) se calcula de la siguiente manera:

$$z(\text{cm}) = d - R$$

Siendo:

d: distancia del capilar a la boca del colimador para la posición "0" de la reglilla.

R: posición de la reglilla.

- 8.- Una vez realizados todos los registros, repetir 7.- con el colimador de 19 agujeros.
- 9.- Determinar la distancia focal de cada colimador (f), en base a las curvas obtenidas. (Es aquella para la cual se obtiene la mayor sensibilidad lineal).
- 10.- Determinar la resolución de ambos colimadores, midiendo el ancho de la curva respuesta a la fuente lineal, a mitad de altura, en la distancia focal (F.W.H.M. en la Fig.17.2) ¿Cuál de los dos presenta mejor resolución? Discutir.
- 11.- Construir las curvas de isomedición para cada colimador:
 - a) Dibujar en papel milimetrado un sistema de ejes carte-

sianos ortogonales asignando a las ordenadas los valores de z y a las abscisas los valores de x . (Ver fig. 17.3)

- b) Asignar el valor 100% al punto máximo de la curva respuesta a la fuente lineal en la distancia focal (esto determina el punto que se trasladará al papel milimetrado ($z=f$; $x=0$) (Ver fig. 17.3).
- c) Marcar en cada curva los valores de actividad correspondientes al 90% del valor máximo (el obtenido en b) (Fig. 17.3).
- d) Marcar en el papel milimetrado los valores de z y de x correspondientes a lo obtenido en c.
- e) Unir los puntos obtenidos. ¿Qué representa la curva?
- f) Repetir 3, 4 y 5 para el 70%, 50%, 30% y 10%. (Fig. 17.2)

12. - Comparar las curvas obtenidas con cada colimador. Discutir.

13. - Obtener otro parámetro relacionado con la resolución de ambos colimadores, midiendo el ancho de la curva de isomedición correspondiente al 50%. Comparar.

14. - Obtener la sensibilidad planar de cada colimador determinando, por pesada, el área de la curva respuesta a la fuente lineal en la distancia focal. ¿De qué depende la sensibilidad planar?. ¿Depende de la profundidad?. ¿Cuál de los dos colimadores presenta mayor sensibilidad planar?.

Nota: En la figura 17.3 se han completado con líneas punteadas las partes de las curvas no obtenibles a partir de la Fig. 17.2 ya que sólo se han representado, por razones didácticas, siete curvas respuesta a la fuente lineal.

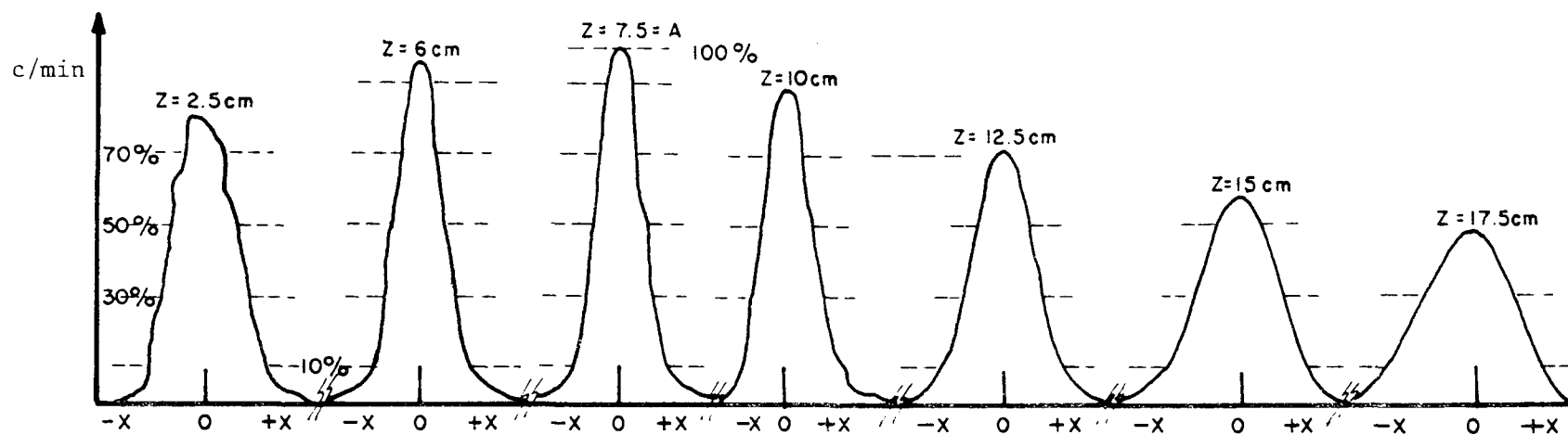


Fig.17-2. Curvas respuesta a una fuente lineal a distintas profundidades (Z) con un colimador de 7,5 cm. de distancia focal

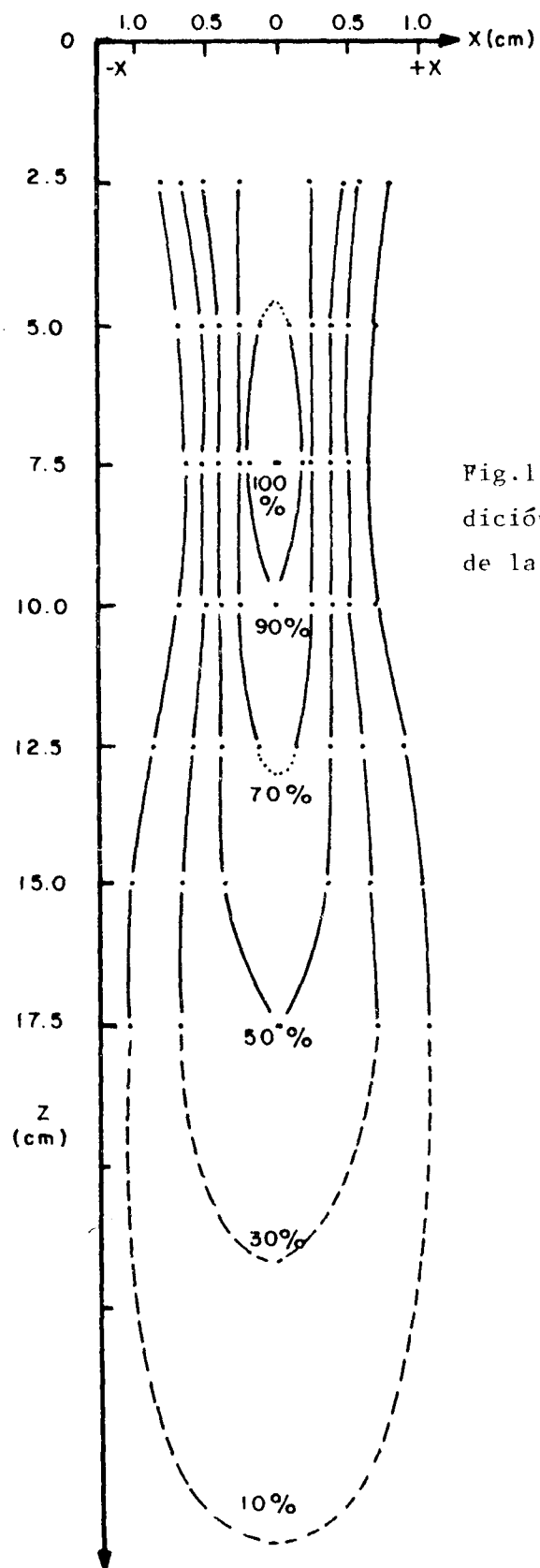


Fig.17-3. Curvas de isome-
dición obtenidas a partir
de la Fig.17-2.

18. CENTELLOGRAFIA.-

IMAGEN CENTELLOGRAFICA DE UN FANTOMAS.

18. 1. Objetivos de la práctica:

- Familiarizar al alumno con el uso del centellógrafo lineal y sus controles.
- Obtención de la imagen de un fantomas sin y con sustracción de fondo.
- Determinación de la densidad de tapeo y densidad de información de una centellografía y su influencia en la imagen obtenida.

18. 2. Introducción:

El resultado de una imagen en un centellógrafo lineal depende de una serie de factores. Que la imagen obtenida sea semejante al objeto en estudio depende de una buena selección de los parámetros involucrados en el equipo: colimador, condiciones de trabajo del espectrómetro, velocidad, factor de tapeo, Rc del integrador. La selección del colimador y condiciones del espectrómetro ya han sido tratados oportunamente.

La selección de la velocidad depende de la densidad de información con la que se desee trabajar (D I):

$$D I = \frac{A \text{ máxima}}{v \times \text{long. de espaciado}} \quad (1)$$

Siendo: A máxima: la que corresponde a la zona de mayor actividad del objeto en estudio en c/min.

Longitud de espaciado: distancia que avanza el cabezal entre un desplazamiento horizontal y otro en cm.

v: velocidad del desplazamiento horizontal del cabezal.

Una vez que el operador determine con qué densidad de información desea trabajar, prefije la longitud de espaciado y haya obtenido la actividad máxima, puede seleccionar la velocidad a partir de:

$$V = \frac{A \text{ máxima}}{DI \times \text{long. de espaciado}}$$

Nota: Se aconseja usar una DI mayor de 800 c/cm^2 .

El factor de tapeo; es una variable del equipo que determina la cantidad de pulsos que deben registrarse para producir un "tapeo". Los tapeadores o inscriptores poseen una limitación mecánica. En nuestro equipo hay saturación mecánica cuando se sobrepasan los 3000 golpes. Por lo tanto la selección del factor de tapeo mínimo depende de la actividad máxima en primera instancia y además del criterio o gusto de cada operador según el aspecto que desea obtener del entellograma.

De acuerdo con lo dicho el factor de tapeo mínimo que puede usarse se calcula utilizando la siguiente expresión:

$$F = \frac{A \text{ máxima (c/min.)}}{3000 \left(\frac{\text{golpes}}{\text{min.}} \right)} \quad (2)$$

Por otro lado, debido a las limitaciones del ojo humano y al espesor de cada raya, es posible visualizar hasta 20 rayas por cm, por lo tanto, se puede seleccionar también el factor de tapeo según la siguiente expresión:

$$F = \frac{\Lambda \text{ máxima } (\text{C}/\text{min})}{20 \frac{\text{rayas}}{\text{cm}} \times v \left(\frac{\text{cm}}{\text{min}} \right)} \quad (3)$$

La selección de la constante de tiempo es importante, ya que una selección no adecuada puede conducir a resultados erróneos. En efecto, si la constante de tiempo prefijada no fue seleccionada armónicamente con la velocidad empleada, puede ocurrir que el sistema electrónico asociado informe con retardo los eventos acusados por el cabezal. En general velocidades pequeñas permiten el uso de constantes de tiempo grandes pero con velocidades grandes se hace necesario el uso de RC pequeñas.

Cabe hacer notar, que en el equipo utilizado en la práctica, los controles de RC son habilitados cuando se emplea el sustractor de fondo. Con este control se determina la actividad límite debajo de la cual no se desea tener información. Dicha actividad puede variarse desde 0 hasta el 100% del rango del integrador.

18. 3. Material a utilizarse.-

- Centellógrafo lineal
- Colimador de 37 agujeros
- Fantoma ciego de hígado
- Fuente plana con ^{99m}Tc
- Papel blanco y carbónico.

18. 4. Condiciones de trabajo.-

Tensión aplicada al fotomultiplicador: Fija (la seleccionará el alumno en base a la práctica N°8 de espectrometría).

AV: 10%

Nivel de canal: centrando el fotopico de ^{99m}Tc (Ver práctica N°8)

$\Delta t \times l$

Velocidad del cabezal: Se elige de acuerdo con la densidad de información con que se desee trabajar.

Factor de tapeo: Se selecciona de acuerdo con la actividad máxima presentada por el fantomas.

RC: Ver desarrollo de la práctica.

Barrido: Ascendente o descendente.

Límite de barrido: de acuerdo con las dimensiones del fantomas.

Modo: automático

18. 5. Desarrollo de la práctica:

18.5.1. Sin supresión de fondo.

- 1 - Desplazar el cabezal para localizar el foco (punto de convergencia de dos haces de luz de los foquitos del colimador).
Seleccionar la profundidad a la cual se desea hacer el registro.
- 2 - Establecer los límites de barrido. Para ello, colocar el cabezal en el centro de simetría del fantomas y ubicar los obturadores móviles en los límites de barrido horizontales y verticales deseados (los obturadores están colocados sobre una regla graduada de forma tal que conocidas las dimensiones del fantomas se puede seleccionar fácilmente el área de barrido).
- 3 - Localizar la zona más activa del fantomas con desplazamientos manuales del cabezal y observando el integrador. En base a ello fijar el rango.
- 4 - Seleccionar la velocidad en base a la fórmula(1) de forma tal

de trabajar con una DI de 1000 c/cm².-

5 -Seleccionar el factor de tapeo en base a la fórmulas (2)y(3).

6 -Colocar en "impresión" la perilla correspondiente.-

7 -Iniciar el barrido colocando el control en automático.

8 -Calcular

$$a) DI = \frac{A \text{ máxima}}{v \times \text{long. espaciado}}$$

$$b) DT = \frac{A \text{ máxima}}{v \times \text{factor de tapeo}}$$

9 - Discutir los resultados.-

18.5.2. Con supresión de fondo.

1 -Determinar el porcentaje de supresión de acuerdo con la actividad que se desee suprimir y teniendo en cuenta el rango utilizado.-

2 -Seleccionar la constante de tiempo de acuerdo con la velocidad (la de la parte A) y el porcentaje de supresión. El valor de la RC se obtendrá utilizando una tabla confeccionada experimentalmente.- (Tabla 18.1).

3 -Realizar un barrido (solamente de una zona del fantomæ) utilizando una constante de tiempo no adecuada (más grande) pero para la velocidad empleada.-

4 -Comparar y discutir los resultados.-

19.0. CURVA CARACTERÍSTICA DE UN TUBO GEIGER MÜLLER.-

19. 1. Objetivos.

Familiarizarse con el funcionamiento de un tubo Geiger Müller y determinar su Curva Característica.-

19. 2. Introducción.

Ya se ha dicho que la Curva Característica constituye el "certificado de salud" de un tubo Geiger Müller, de lo que se desprende que su determinación debe hacerse como prueba de aceptación para controlar su buen funcionamiento y verificar si responde a las especificaciones dadas por el fabricante. Por otro lado, es necesaria su repetición cada vez que se verifique que ha variado la tensión de entrada.

No es conveniente trabajar con detectores que den una Curva Característica con una pendiente mayor del 5% y una longitud de meseta menor de 100 voltios.-

19. 3. Material a utilizarse.

- Detector: Geiger Müller con ventana de mica.
- Equipo de medición: Escalímetro.
- Puentes radiactivas: Serán indicadas por el personal docente.
- Cronómetro.

19. 4. Condiciones de trabajo:

- Voltaje: variable
- Posición de las muestras radiactivas: será indicada por el personal docente.

19. 5. Desarrollo de la práctica.

- 1 - Colocar la fuente radiactiva en la posición indicada.
- 2 - Girar lentamente el control de la alta tensión(primeramente con la perilla de ajuste grueso y luego la de ajuste fino) hasta notar un conteo continuo (tensión de entrada).
- 3 - A partir de la tensión de entrada, realizar mediciones cada 20 voltios acumulando 10^4 cuentas.
- 4 - No medir más de 100 volts del comienzo de la meseta.
- 5 - No seguir aumentando la tensión cuando la actividad aumente mucho (5% del valor anterior).
- 6 - Graficar a medida que se van obteniendo los resultados .
- 7 - Indicar en cada gráfico:

N°de detector:

Fuente:

Fecha:

N°de escalímetro

Posición:

Nombres:

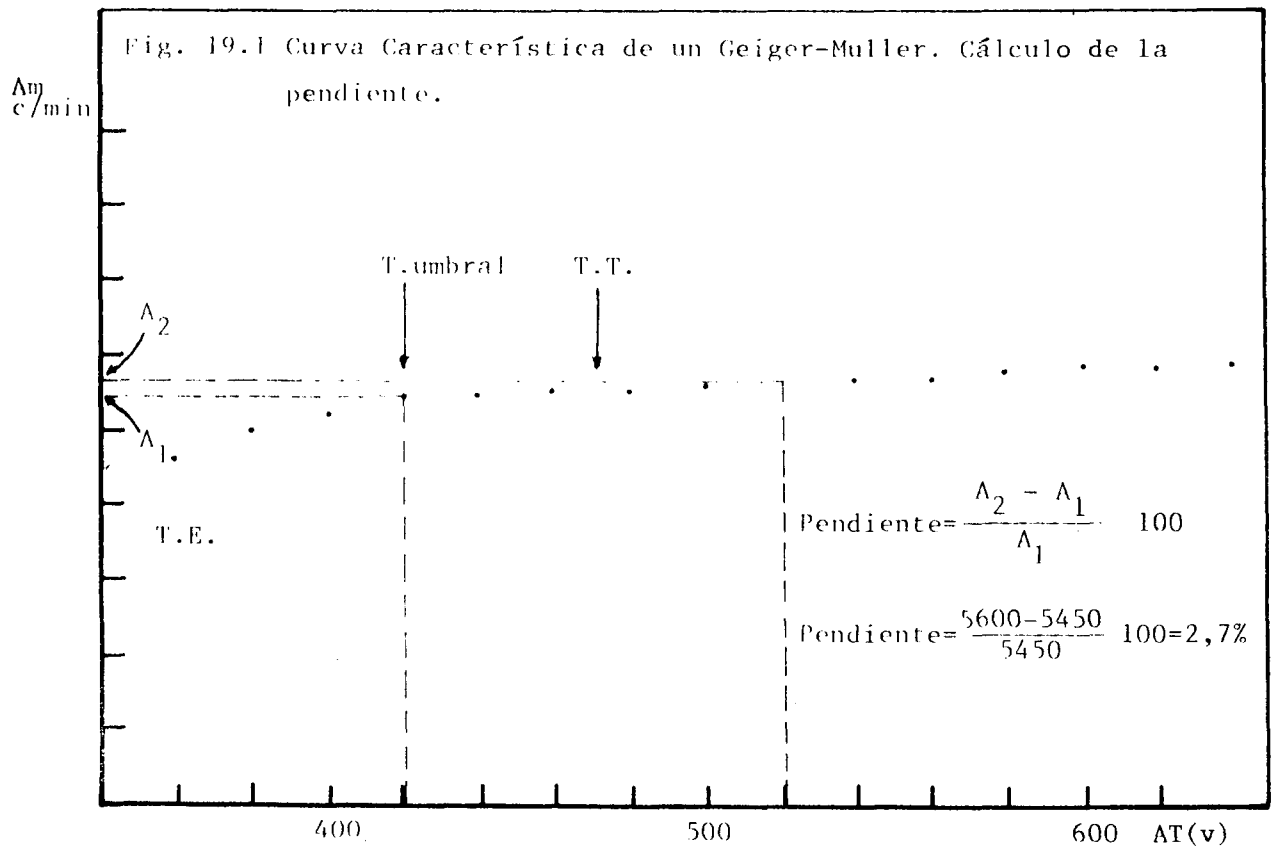
8 - Informar:

- a) Gráfico de la curva característica: $A_m(c/m) = f(\text{tensión})$
- b) Tensión de entrada (TE)
- c) Umbral (comienzo de la meseta)
- d) Longitud de la meseta(se indicará solamente la longitud obtenida)
- e) Tensión de trabajo: Se elige a 100 V de la TE siempre que este valor esté a 40 ó 50 V del comienzo de la meseta.
- f) Pendiente: Se calcula según la siguiente expresión:

$$p\% = \frac{A_2 - A_1}{A_1} \times 100$$

Siendo: A_1 : actividad medida en la tensión umbral (comienzo de la meseta.

A_2 : actividad medida a 100 voltios del comienzo de la meseta. (Ver Fig. 19.1)



Nota 2: Se sugiere usar la siguiente escala:

ordenadas: 1 cm = 10^3 c/min

abscisas : 1 cm = 20 voltios.

20.0. IDENTIFICACION DE UNA MUESTRA RADIATIVA.-20.1. Objetivos.

Utilizar los esquemas de desintegración, espectros de emisores gamma, curvas de absorción Beta y tablas de radioisótopos en la identificación de un radionucleído.

20.2. Introducción.

Se hace necesaria la identificación de un radionucleído frente a la posibilidad (poco probable) de error en el rótulo de una muestra radiactiva y en la verificación de un pedido recibido. Puede ocurrir, además, que se desconozca la naturaleza de un contaminante (material de laboratorio, personal contaminado, etc.).

La identificación de un radioisótopo se puede realizar a partir de la determinación del tipo y energía de la o las radiaciones emitidas y de la obtención de su período de semidesintegración cuando su magnitud es tal que lo permite la práctica. Cuando estas determinaciones no son del todo concluyentes se podrá recurrir a métodos químicos.

La determinación de la energía se hará obteniendo la curva de absorción β y el espectro gamma. A partir del alcance obtenido de la curva de absorción se obtendrá de tablas la energía beta. Conviene realizar varios espectros gamma en atenuaciones sucesivas para asegurar la obtención de todos los fotopicos. A partir de la posición de los fotopicos se calcula el valor de la energía de los rayos gamma emitidos por el radioisótopo problema.

Las consideraciones teóricas referente a las curvas de absorción β y a espectrometría gamma ha sido dadas en las clases teóricas correspondientes.-

20.3. Material a utilizarse.

Detector: 1) Geiger Müller con ventana de mica.

2) Cristal INa (Tl)

Equipo de Medición: 1) Escalímetro
2) Espectrómetro

Fuentes radiactivas: Muestra incógnita
Patrones para calibración del espectrómetro.

Caja con absorbentes de Al de distintos espesores
Cronómetro
Papel milimetrado y semilogarítmico

20.4 Condiciones de trabajo: Ver desarrollo de la práctica

20.5 Desarrollo de la práctica:

20.5.1. Curva de absorción beta:

Controlar si la TE obtenida en la determinación de la Curva Característica se mantiene; en caso positivo aplicar la misma TT.

Para realizar las mediciones se dispondrán la muestra y los absorbentes según se indica en la Fig.2-2.

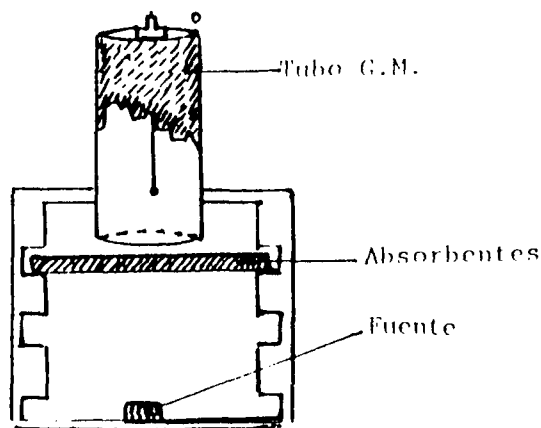


Fig. 2.2. Esquema de la geometría de medición utilizada.-

Los absorbentes se colocarán en el 1^{er} escalón y la fuente radiactiva en la posición indicada por el instructor.

- 1 - Medir la actividad de la muestra sin interponer ningún absorbente.
- 2 - Medir la muestra interponiendo chapas de espesor creciente.
- 3 - En cada caso acumular 10^4 cuentas. (Por razones de tiempo, no hacer mediciones de más de 5 minutos.
- 4 - Medir fondo.
- 5 - Graficar en papel semilogarítmico $A_c = f$ (espesor total)

$$(A_B = A_B - A_F)$$

Nota 1: Espesores de Al a usar: Será indicado en clase.

Nota 2: El espesor, total en cada caso, es el espesor de aluminio empleado más el espesor de la ventana del GM (en mg/cm^2) más el espesor de la columna de aire expresada en mg/cm^2 .

Nota 3: Espesor de la ventana de mica : $3 \text{ mg}/\text{cm}^2$.

Columna de aire entre la fuente y detector : a cm (depende de la posición de la fuente).

Espesor de la columna de aire: $a \text{ cm} \times \delta \text{ aire} = a \times 1,205 \text{ mg}/\text{cm}^2$.

Espesor de la fuente: despreciable.

Espesor de la cubierta: cero.

- 6) Una vez hecho el gráfico debe extrapolarse la parte inicial y el "fondo gamma" hasta espesor cero y restar de la curva completa el fondo extrapolado. Para ello, al valor de actividad correspondiente a cada espesor determinado de absorbente, se le sustrae el valor de actividad del fondo extrapolado correspondiente al mismo espesor, representando las diferencias como nuevos puntos que, al ser unidos, dan el gráfico correspondiente a la radiación beta pura. (Ver Fig. 20.2)

Nota 4: Para los últimos puntos experimentales (fondo gamma) calcular $\sigma \Lambda_C$ y trasladar este valor al gráfico para trazar la curva.

$$\sigma \Lambda_C = \frac{\Lambda_B}{t_B} + \frac{\Lambda_F}{t_F}$$

- 7) Determinar el alcance máximo visual y extrapolado.
- 8) Con el valor del alcance, determinar la energía beta máxima.

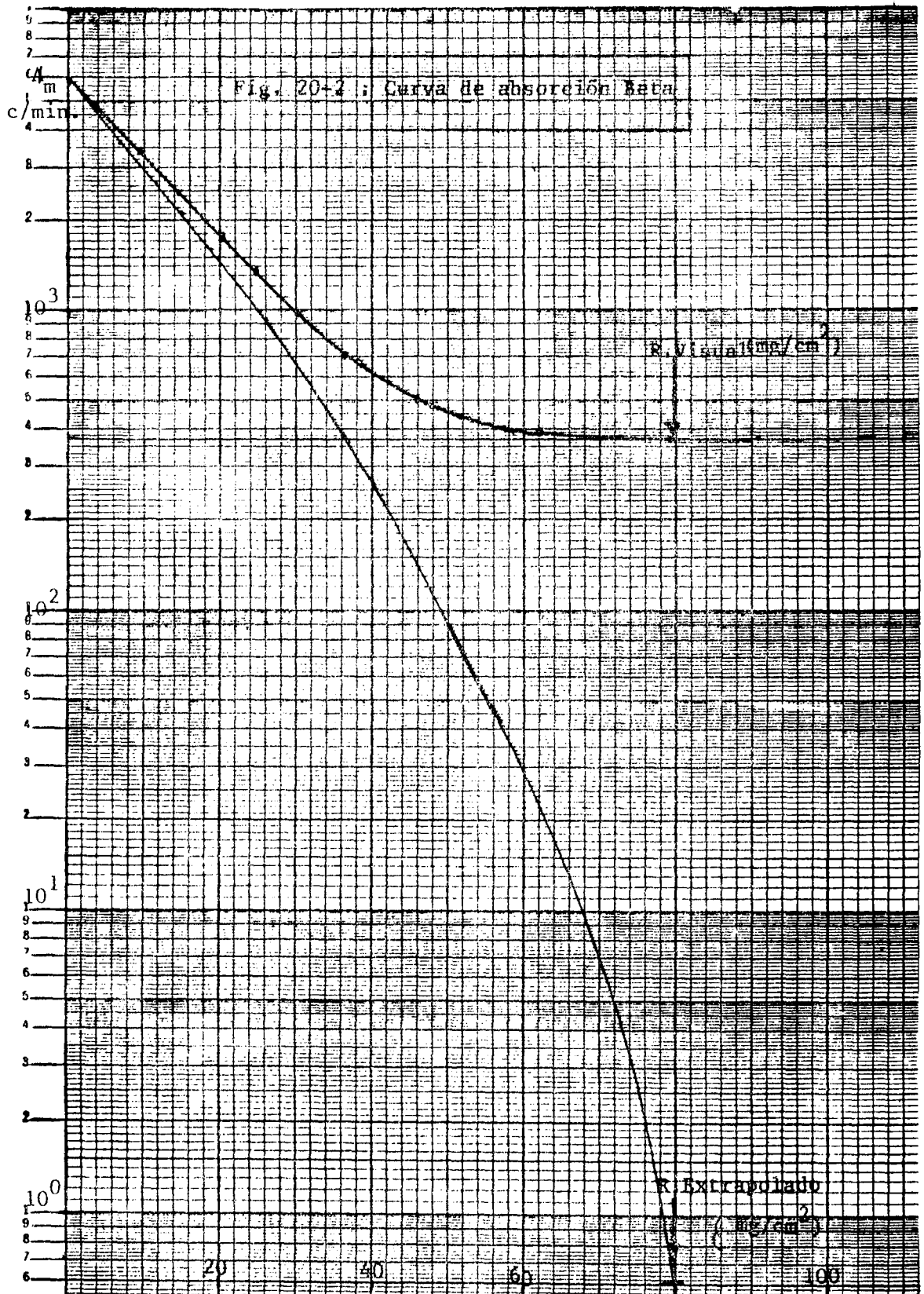
20.5.2. Espectro gamma:

- 1) Calibrar el espectrómetro (Práctica 9).
- 2) Hacer el espectro completo en at x l y en otras atenuaciones si fuera necesario.
- 3) En base a 1) y 2) determinar la energía de la radiación electromagnética.

20.5.3. Conclusiones:

Con los valores de la energía beta máxima y de la radiación electromagnética, determinar la identidad del nucleído.

de la muestra empleando la tabla de nucleídos.-



22.0.0. CONTROL DE CALIDAD DE LOS ACTIVIMETROS.-

Precisión - Exactitud. Calibración del dial de un activímetro.

Linealidad. Influencia de la geometría - Comparación de la respuesta de dos activímetros distintos.-

22.1.0. Objetivos:

Familiarizarse con el funcionamiento y uso de los activímetros.

Determinación de la Precisión. Exactitud y Linealidad en las mediciones de actividad para una geometría determinada y en distintas escalas del aparato.

Estudio de la influencia del volumen de una muestra en la respuesta del equipo.

Calibración de la posición del Dial para distintos radionucleídos usando un patrón de ^{137}Cs .-

22.2.0. Introducción:

Los calibradores de actividad son instrumentos que proporcionan en forma rápida y conveniente la actividad absoluta de una muestra.

Su disponibilidad es imprescindible en los Servicios de Medicina Nuclear ya que es necesario conocer la actividad del radiofármaco suministrado al paciente en el lugar y momento del suministro.

A veces el radiofármaco ya viene precalibrado por el centro distribuidor del mismo; otras es preparado en el Servicio a partir de un generador. En ambos casos debe medirse su actividad para asegurar una exactitud de $\pm 10\%$ antes del suministro.

Es importante tener en cuenta que de nada sirve disponer de un activímetro si no se cumple con un programa de control de calidad que asegure al usuario que el instrumento está operando dentro de los límites aceptables y, que ello, se mantiene día

a día. Esto no solamente sirve para dar validez a su respuesta sino que, además, ayuda a comprender las fallas eventuales del calibrador.

22.3.3. Prueba de Precisión y Exactitud

23.3.1. Material a utilizarse

Equipo de medición: Activímetro con Cámara de Ionización y otro con Geiger Müller.

Fuentes Radiactivas:

Patrones certificados de $\pm 5\%$ (se usarán los disponibles en el momento de la práctica o se recurrirá a patrones secundarios, esto es, calibrados con activímetros cuya exactitud sea del 5% o mejor).

22.3.2 Desarrollo de la práctica:

- 1- Para cada patrón disponible se realizarán 10 mediciones en la posición correspondiente del selector y en el dial indicado
- 2- Obtener fondo en cada una de las posiciones realizando tres mediciones y promediando el resultado.
- 3- Si se justifica, restar el fondo a cada una de las lecturas,
- 4- Calcular la Precisión para cada escala a través del coeficiente de variación V:

$$V = \frac{G}{\bar{A}}$$

Siendo:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (A_i - \bar{A})^2}{n - 1}}$$

A_i : cada medición individual.

$\bar{A}$: Promedio de las 10 mediciones.

n : Número de mediciones. (10)

5 - Obtener la Exactitud para cada escala,esto es:

$$E = \frac{(\bar{A} - C)}{C}$$

Siendo C el valor certificado de la actividad de cada radio-nucleído.

22.3.3 Conclusiones:

Los límites de aceptación dependen, en primera instancia, de las especificaciones de cada equipo pero, en general, la precisión debe ser del $\pm 5\%$ o menos y la exactitud no mayor del $\pm 10\%$ del valor certificado.

Nota: Consignar las lecturas y resultados en la Planilla 22-1 (gentiliza de la Sección Metrología de la Gerencia de Aplicaciones de la CNEA.).

22.3.4 Observaciones:

En el caso de obtener una exactitud peor que la esperada y disponer de potenciómetro con dial, puede procederse a la calibración del o los diales "usando" los patrones certificados. Para ello se procede como sigue:

MARCA:				MODELO	Nº		
FECHA	ESCALA	ISOTOPO	C(1) (mCi)	A _i (i: 1 a 10)	A ± G	P% (2)	E% (3)

PLANTILLA 22-1

22-4

$$(1) C : \text{Valor verdadero} - (2) P(\text{precisión}) = \frac{G}{\bar{A}} \times 100 \quad - \quad (3) E(\text{Exactitud}) = \frac{(\bar{A} - C)}{C} \times 100$$

- 1 - Se coloca el patrón en el pozo del detector.
- 2 - Se varía la posición del dial indicado por el fabricante aumentando o disminuyendo su valor hasta obtener lecturas dentro del $\pm 10\%$ de la actividad certificada.
- 3 - Corregir las especificaciones del fabricante anotando el nuevo valor del dial y la fecha.-

22.4. Linealidad:

22.4.1. Material a Utilizarse.

Equipo de Medición: Activímetro con Cámara de Ionización y otro con Geiger Müller.

Fuente radiactiva: radionucleído de período corto, por ej:
 ^{99m}Tc de más de 3,7 G Bq (100mci)

22.4.2. Desarrollo de la práctica:

- 1 - Seleccionar la escala correspondiente al ^{99m}Tc .
- 2 - Registrar el fondo de dicha escala.
- 3 - Medir y anotar la actividad y tiempo exacto de la medición.
- 4 - Repetir la medición cada 30 minutos hasta que la fuente alcance una actividad menor que para la cual desea usarse el activímetro.
- 5 - Corregir por decaimiento.
- 6 - Restar fondo a las lecturas que lo justifiquen.

7 - Representar en papel semilogarítmico actividad en función del tiempo. (Ver Fig. 22.1.) -

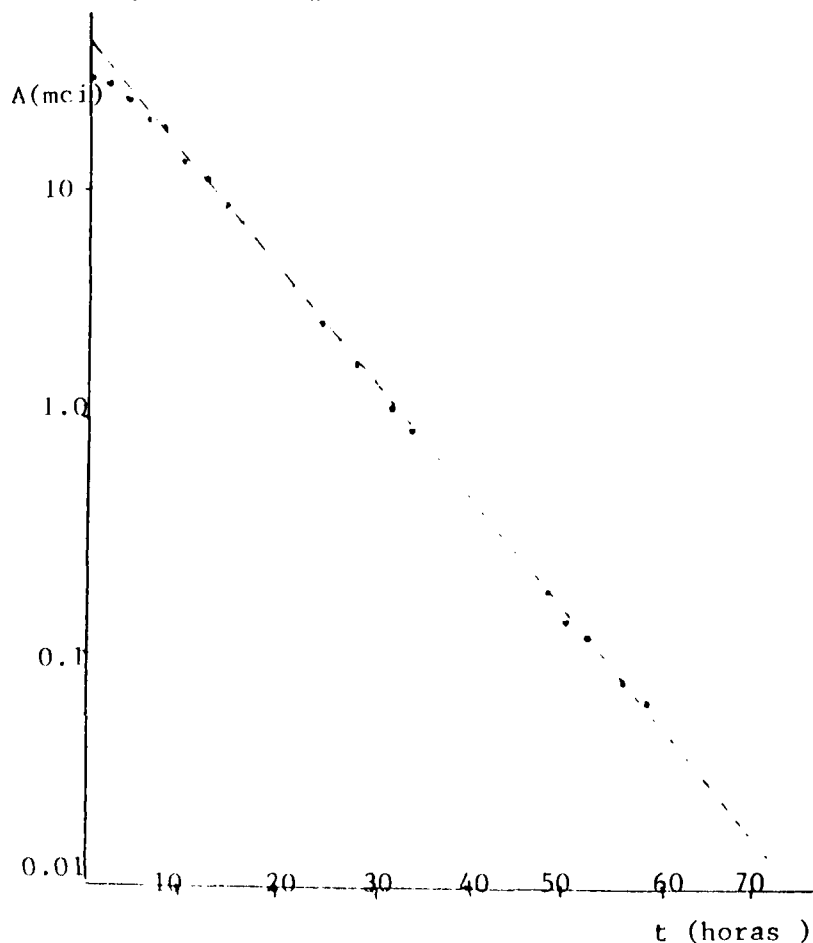


Fig. 22.1: Linealidad de la respuesta. Método del decaimiento de una fuente radiactiva de período corto.

22.4.3. Conclusiones:

La unión de los puntos obtenidos debe dar una recta que se corresponda con el período de semidesintegración del radionucleído usado.

Se acepta que los puntos están alineados cuando cada valor individual de la actividad medida está dentro del $\pm 10\%$ de la recta trazada.

Anotar hasta qué valor máximo y mínimo de actividad la respuesta del equipo es lineal.-

22.4.4. Observaciones:

Puede ocurrir que en la última parte de la curva se haga evidente la influencia de impurezas de ^{99}Mo arrastrado en la elución del generador.

Esto puede corregirse midiendo la muestra con el blindaje para $^{99\text{m}}\text{Tc}$, con que viene provisto el activímetro y restando este valor a las lecturas individuales que se considere necesario.

22.5.0. Reproducibilidad:22.5.1. Material a utilizarse.

Equipo de Medición: Activímetro con Cámara de Ionización y otro con Geiger Müller.

Fuente Radiactiva: Radionucleído de período largo, por ej: ^{137}Cs .

22.5.2. Desarrollo de la Práctica:

- 1 - Seleccionar la escala correspondiente al radionucleído de mayor uso (Por ej $^{99\text{m}}\text{Tc}$)
- 2 - Medir la muestra de ^{137}Cs y restar el fondo si fuera necesario.
- 3 - Anotar el valor obtenido (A_1). Este es el valor de la lectura del ^{137}Cs en la escala del $^{99\text{m}}\text{Tc}$ que se tomará como referencia ya que se ha calibrado previamente esta escala con un patrón certificado.
- 4 - Repetir esta medición diariamente.
- 5 - Representar las lecturas diarias. (Ver Fig. 22.2.).-

22.5.3. Conclusiones:

Los valores obtenidos deben estar comprendidos en un $\pm 5\%$ de Λ_1 (Ver Fig. 22.2.).

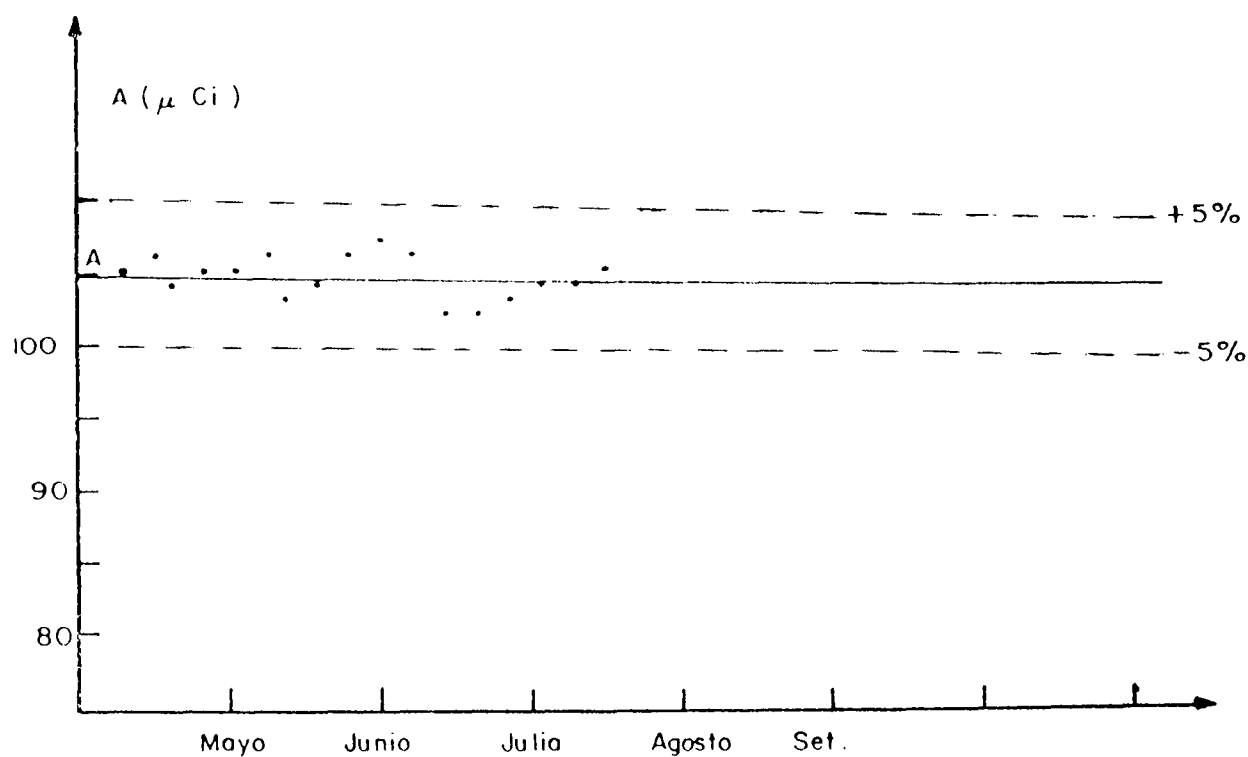


Fig. 22.2-Registro de la actividad del ^{137}Cs en función del tiempo.

22.5.4. Observaciones:

Quando el registro Λ_i difiere en un valor mayor del $\pm 5\%$, debe calcularse el factor de corrección para dicha escala.

$$f = \frac{\Lambda_1}{\Lambda_i}$$