



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

## Comparación entre los Dosímetros de Fricke, Fricke Modificado y el Acrílico Rojo, para su uso en Fuentes de Irradiación Industrial

122

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
QUIMICA  
PRESENTA  
**Rafaela Rosario Díaz Hernández**  
MEXICO, D. F. 1976



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

CLAS. TOSIS  
ADQ. 1976 121  
FECHA \_\_\_\_\_  
PROC. M-L



QUIMICA

JURADO ASIGNADO

PRESIDENTE PROF. : LUIS GALVEZ CRUZ  
VOCAL PROF. : JUAN LARTIGUE GORDILLO  
SECRETARIO PROF. : GUILLERMINA BURILLO AMEZCUA  
1er. SUPLENTE PROF. : LUIS CABRERA MOSQUEDA  
2º SUPLENTE PROF. : RUBEN ORTEGA CARMONA

LUGAR DONDE SE DESARROLLO EL TEMA : CENTRO  
DE ESTUDIOS NUCLEARES, CIUDAD UNIVERSITARIA.

SUSTENTANTE : RAFAELA ROSARIO DIAZ HERNANDEZ  
ASESOR DEL TEMA : GUILLERMINA BURILLO AMEZCUA  
SUPERVISOR TECNICO : VICTOR M. LOYOLA VARGAS.

## I N D I C E

Capítulo I. Introducción y objetivo.

Capítulo II. Generalidades

a. Unidades de dosimetría.

b. Interacción de la radiación gamma con la  
materia.

c. Características de diferentes tipos de dosi-  
metros.

d. Dosímetros.

Capítulo III. Parte Experimental.

Capítulo IV . Resultados y Conclusiones.

Bibliografía.

## CAPITULO I

### INTRODUCCION Y OBJETIVO

En el presente trabajo se realizó una comparación entre los dosímetros de Fricke, Fricke modificado y el de acrílico rojo para su uso en fuentes de irradiación industrial, por medio de irradiación con rayos gamma de  $^{60}_{27}\text{Co}$ , a diferentes intensidades de dosis por medio de la variación de las distancias, tanto en las aberturas de las fuentes, como en la posición de las muestras.

En el dosímetro de Fricke y en el de Fricke modificado se determinó la dosis mediante un espectrofotómetro y para el de acrílico se determinó colorimétricamente.

Objetivo: la comparación de los tres dosímetros en los diferentes parámetros como son: reproducibilidad, efectividad, costo, etc.

## CAPÍTULO II

### GENERALIDADES

#### I.I. Unidades de dosimetría.

##### I.I.I. Unidades de radiactividad. ( I ) ( 2 ).

Las unidades de actividad se dan en desintegraciones por unidad de tiempo, una de ellas es el Curio ( Ci ), el cual se define como la cantidad de actividad de  $^{222}\text{Rn}$  que está en equilibrio con un gramo de  $^{226}\text{Ra}$ , su valor puede calcularse sabiendo que la vida media del  $^{226}\text{Ra}$  es de 1620 años y su constante de desintegración es:

$$\lambda_{\text{Ra}} = \frac{0.693}{1.620 \times 10^3} = 13.8 \times 10^{-12} \text{ seg}^{-1}$$

La masa del  $^{226}\text{Ra}$  es 226 unidades de masa atómica y hay  $6.02 \times 10^{23}$  átomos en un átomo gramo de Ra, y por lo tanto, un gramo de Ra contiene:

$$N = \frac{6.02 \times 10^{23}}{226} = 2.66 \times 10^{21} \text{ átomos}$$

y la velocidad de desintegración es entonces:

$$\frac{dN}{dt} = \lambda N = 13.8 \times 10^{-12} \times 2.66 \times 10^{21} = 3.7 \times 10^{10} \text{ dps ( de } \underline{\text{de}} \text{ )}$$

sintegraciones por segundo ).

Donde dN es el número de transformaciones nucleares que

se originan en el intervalo de tiempo.

Los submúltiplos del Curio son el milicurio ( mCi ) y el microcurio (  $\mu$  Ci ) que corresponden a:

$$1 \text{ mCi} = 3.7 \times 10^7 \text{ dps}$$

$$1 \mu\text{Ci} = 3.7 \times 10^4 \text{ dps}$$

I.1.2. Unidades de dosis.

I.1.2.1. Roentgen ( R ).

Se define como la unidad de exposición, X, que se obtiene como resultado de la suma de cargas eléctricas del mismo signo producidas en el aire cuando todos los electrones, liberados por fotones en un volumen de aire con masa  $\Delta m$  son absorbidas en el aire, esto es:

$$X = \frac{\Delta Q}{\Delta m}$$

$\Delta Q$  es el valor absoluto de la carga total de los iones de un signo producidos en el aire.

$\Delta m$  es igual a la masa.

Con la condición de que  $\Delta m$  sea pequeña para que el cociente  $\frac{\Delta Q}{\Delta m}$  no se modifique por una disminución del mismo y suficientemente grande para que el número de fotones que inciden sobre una masa por unidad de tiempo sea grande.

De lo anterior se puede decir que un roentgen es la <sup>3</sup>



Cantidad de radiación, tal que la emisión asociada a 0.001293 gramos de aire produzca en él un número de iones de cualquier signo que acarreen una unidad electrostática de carga.

La unidad de razón de exposición es el cociente del roentgen por unidad de tiempo: R / hora, R / min, R / seg.

#### I.I.2.2. Rad.

El rad es la unidad para medir la energía absorbida por un cuerpo en un punto dado y en general, la dosis absorbida se define como:

$$D = \frac{\Delta E}{\Delta m}$$

donde:

$\Delta E$  es la energía transmitida por las radiaciones ionizantes a la materia en un elemento de volumen de masa  $\Delta m$ .  $\Delta m$  debe de ocupar un volumen muy pequeño en el medio que se considere, que el cociente entre la energía y la masa no se modifique por una disminución del mismo, y tiene que ser además suficientemente grande para que sea atravesado por muchas partículas.

Un rad equivale a una absorción de energía de 100 ergios por gramo.

#### I.I.2.3. Razón de dosis absorbida.

Es el cociente del incremento de la dosis absorbida ( $\Delta D$ ) en un intervalo de tiempo ( $\Delta t$ ).

$$D = \frac{\Delta D}{\Delta t}$$

La unidad de la razón de dosis absorbida es el cociente del rad por unidad de tiempo : rad / hora, rad/ min, rad / seg.

#### I.I.2.4. Rem.

El Rem ( equivalente del roentgen en el hombre ) es la dosis de cualquier radiación ionizante que, aplicada al hombre, es biológicamente equivalente a la exposición de un roentgen de radiación X o gamma.

Por lo tanto:

$$\text{Dosis en Rems} = (\text{Dosis en rads}) (\text{EBR})$$

EBR = efectividad biológica relativa.

#### I.I.2.5. EBR.

La efectividad biológica relativa de una radiación es el factor resultante de la relación entre la dosis necesaria para producir un determinado efecto biológico, irradiando con rayos X de 0.25 MeV y la dosis necesaria, de otro tipo de radiación para producir el mismo efecto. ( sólo se usa en Radiobiología ).

#### I.I.2.6. Rep.

Es el equivalente físico del roentgen y se usa para ex-

presar la exposición a la radiación corpuscular. Se define como la exposición a cualquier radiación ionizante que produce una absorción de energía de 84 ergios por gramo de tejido.

Pero como este valor se había tomado aproximado al de su absorción de energía en aire, más tarde se hicieron cálculos más exactos para el tejido blando, dando un valor de 93 ergios por gramo.

El rep sólo es válido cuando se habla de tejidos blandos y de radiación electromagnética de energía media, esto es, entre 0.3 y 3.0 MeV.

#### I.I.2.7. Kerma ( K ).

Se basa su nombre en las iniciales Kinetic Energy Released in Material, es la suma de las energías cinéticas de las partículas cargadas producidas por la interacción de una radiación no cargada ( radiación electromagnética o neutrones ) por unidad de masa del material en el cual la interacción toma lugar.

La unidad del Kerma es el rad, es conveniente asignarle un valor al Kerma o a la razón del Kerma para un material específico en el vacío o a un punto dentro de un material y esto es:

$$\dot{K} = \frac{\Delta K}{\Delta t}$$

La razón de Kerma (  $\dot{K}$  ) es el cociente entre el incre-

mento de Kerma ( $\Delta K$ ) en el intervalo de tiempo ( $\Delta t$ ).

La unidad de la razón del Kerma es el cociente del rad por unidad de tiempo: rad / hora, rad / min, rad / seg,

#### I.I.2.8. G ( Rendimiento radioquímico ) ( 3 ).

Es el número de moléculas descompuestas o formadas por cada 100 eV de energía absorbida de radiación.

Es el rendimiento químico provocado por las radiaciones y es la característica cuantitativa de las reacciones químicas que ocurren bajo el efecto de las radiaciones ionizantes.

El valor G así definido es independiente tanto de la dosis o de la razón de dosis como de la naturaleza de la radiación de tal manera que:

$$G = \frac{N}{D} \cdot 100$$

donde:

N es el número de moléculas, radicales, etc., producidos o transformados dentro de un volumen dado del medio.

D es la energía absorbida por ese volumen dado.

#### I.2.I. Interacción de la radiación gamma con la materia ( 4 ).

I.2.I. Un haz de radiación gamma puede considerarse

Constituido por fotones que viajan a la velocidad de la luz; poseyendo cada uno una energía dada, de acuerdo con:

$$E_{\gamma} = h \nu = \frac{h c}{\lambda}$$

siendo:

$h$  = constante de Plank

$c$  = velocidad de la luz

$\lambda$  y  $\nu$  = la frecuencia y longitud de onda respectivamente, de la radiación.

La interacción de los rayos gamma es más compleja en comparación con las partículas  $\alpha$  y  $\beta$ , esta primera interacción directa puede efectuarse por cualquiera de los tres procesos siguientes:

- a. Efecto fotoeléctrico
- b. Efecto Compton
- c. Producción de pares.

#### I.2.2. Efecto fotoeléctrico. ( 5 ) ( 4 ).

Es el efecto de absorción que se produce con rayos gamma de poca energía. En este tipo de interacción toda la energía del fotón ( $E_0$ ) es transferida a un solo electrón atómico, este electrón sale del átomo con una energía ( $E_e$ ), que es igual a la diferencia entre la energía del fotón ( $E_0$ ) y la energía de unión ( $E_s$ ) del electrón con el átomo.

Y nos queda que:

$$E_e = E_0 - E_s$$

El efecto fotoeléctrico no es posible con interacción de un rayo gamma con un electrón libre, ya que debe intervenir otra partícula para que se conserve la cantidad de movimiento.

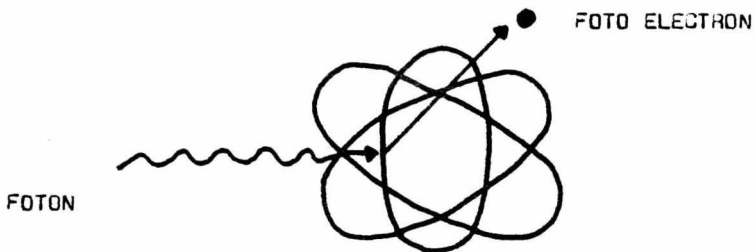


Figura No. I Efecto fotoeléctrico.

Y la probabilidad de que se produzca el efecto fotoeléctrico es notablemente mayor a energías bajas de los fotones gamma incidentes.

### I.2.3. Efecto Compton. ( 4 ) , ( 5 ).

El fotón gamma incidente sólo cede al electrón libre con el que choca una parte de su energía, convirtiéndose en otro fotón gamma de menor energía, y por lo tanto de menor frecuencia, desviado de su trayectoria inicial.

La interacción viene regida por los principios de conservación de la energía y de la cantidad de movimiento; y de a-

cuerdo con esto resulta que, si  $E_\gamma$  representa la energía del rayo gamma incidente y  $E_\gamma'$  la del rayo gamma dispersado y  $E_e$  la energía del electrón, se tiene:

$$E_\gamma' = \frac{E_\gamma}{1 + \frac{E}{m_0 c^2} (1 - \cos\theta)}$$

$$E_e = E_\gamma \left[ 1 - \frac{1}{1 + \frac{E_\gamma}{m_0 c^2} (1 - \cos\theta)} \right]$$

siendo:

$m_0$  la masa en reposo del electrón

$\theta$  el ángulo que forman la dirección del rayo gamma incidente con el rayo gamma reflejado.

Puede comprobarse que la suma de las energías del fotón dispersado  $E_\gamma'$  y del electrón liberado  $E_e$  equivale a la energía del fotón.

El ángulo  $\theta$  puede tomar todos los valores posibles desde cero hasta  $\pi$ , esto depende de la energía del rayo gamma incidente. Así pues, el electrón puede adquirir cualquier valor de energía dentro de un intervalo continuo comprendido entre cero

y un valor máximo dado por:

$$E_{\text{máx}} = \frac{4 E_{\gamma}^2}{1 + 4 E_{\gamma}}$$

ésta corresponde a  $Q$  igual a  $\pi$  y las energías deben estar expresadas en megaelectronvoltios, en la que se ha tomado la energía en reposo del electrón,  $Mo c^2 = 0.51 \text{ MeV}$ .

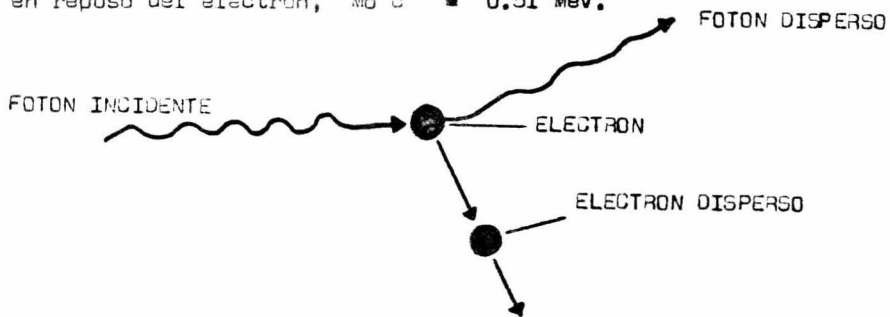


Figura No. 2 Efecto Compton.

#### I.2.4. Producción de pares. ( 4 ) , ( 5 ).

En este caso ocurre la completa absorción de un fotón en las cercanías del núcleo atómico y en su lugar aparece un electrón y un positrón, la energía del fotón menos las energías en reposo de las dos partículas es dividido entre la energía cinética del electrón y del positrón ( la cantidad de energía transferida al núcleo es siempre despreciable ).

Como las sumas de las masa en reposo del electrón y positrón equivalen a una energía de  $1.02 \text{ MeV}$  (  $2 Mo c^2$  ), ésta



deberá ser la energía mínima para que pueda efectuarse la producción de pares,

$$E_0 = E_e + E_p + 2 M_0 c^2$$

siendo:

$E_0$  = Energía del fotón incidente

$E_e$  = Energía cinética del electrón

$E_p$  = Energía cinética del positrón

$M_0$  y  $c^2$  = La masa en reposo del electrón y la velocidad de la luz.

El coeficiente de absorción para producción de pares es proporcional al número de protones elevado al cuadrado y aumenta al aumentar la energía del fotón.

Los positrones son partículas inestables, en presencia de materia interaccionan rápidamente con un electrón y con ello dan lugar a la creación de un par de rayos gamma cada uno con una energía de 0.51 MeV, que parten en direcciones opuestas para cumplir con el principio de conservación de la cantidad de movimiento.

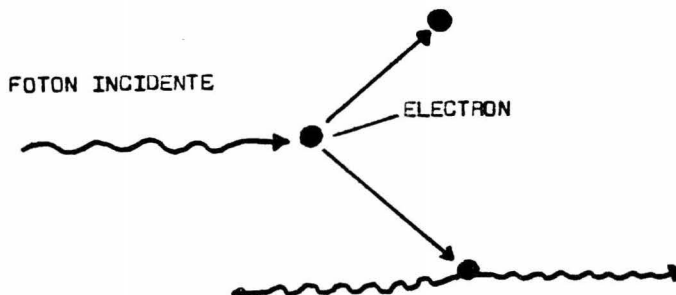


Figura No. 3 Producción de pares.

### I.3. Características de diferentes tipos de dosímetros ( 1 ).

I.3.1. Con el propósito de relacionar los cambios químicos y físicos que ocurren en un sistema expuesto a la radiación fue necesario desarrollar una serie de dosímetros primarios y secundarios relativos, y en la dosimetría química, la energía absorbida de la radiación se determina a partir de la medida cuantitativa de un cambio producido en el sistema químico usado como dosímetro.

El cálculo de la energía absorbida requiere del conocimiento del valor G ( número de moléculas descompuestas o formadas por cada 100 eV de energía absorbida de la radiación ) y el valor de la energía absorbida o de la razón de energía absorbida en el material que compone al dosímetro se usa para calcular la energía absorbida en la muestra problema, para cada caso en particular.

#### I.3.2. Respuesta que debe presentar al dosímetro:

- a. Proporcional a la dosis en un amplio intervalo
- b. Independiente de la razón de dosis
- c. Independiente de la energía y LET ( Transferencia lineal de energía ) de la radiación
- d. Independiente de la temperatura, antes, durante y después de la radiación
- e. Reproducible dentro de un cierto error, que pueda de

terminarse

- f. Estable bajo condiciones normales de trabajo, como la exposición a la luz, aire, etc., antes, durante y después de la radiación.
- g. Simple de usar, que no requiera de instrumental analítico complejo ni de contenedores especiales
- h. Prepararse con solventes y reactivos estándar
- i. Independiente de cambios pequeños por ejemplo en la concentración de reactivos o ligeros cambios durante la irradiación, como variación de pH o producción de gases.

1.2.3. En la actualidad ninguno de los dosímetros químicos existentes cumple con las características anteriores, de tal manera que hay que hacer una selección de alguno de ellos para cada dosimetría en particular.

Esta selección va a depender de:

- a. Tipo y características de la radiación que se emplea esto es: electrones, rayos gamma, neutrones, partículas alfa; de la dosis, de la razón de dosis y del Let.
- b. Tipo y características de la muestra problema, esto es, líquido, gas, sólido en forma de película o polvo.

- c. Diseño de irradiación, tipo de contenedor, temperatura y presión.
- d. Materiales, reactivos e instrumental analítico con que se disponga.

I.3.4. Para las aplicaciones prácticas, un dosímetro de be presentar las siguientes características:

- a. Que el dosímetro y la muestra se irradien bajo las mismas condiciones y en el mismo diseño de irradiación.
- b. Que la dosis ( o razón de dosis ) absorbida por la muestrase determine por la relación:

$$D_m = A D_d$$

Donde:

$D_m$  y  $D_d$  son las dosis para la muestra y el dosímetro respectivamente.  $A$  es un factor de conversión entre el dosímetro y la muestra, que se calcula conociendo:

- I. Tipo y energía de la radiación
- II. Composición de ambos sistemas; dosímetro y muestra.

Para cuando se utiliza radiación gamma de Cobalto 60 y materiales de bajo  $Z$  ( número de protones en el núcleo ) el factor  $A$  tiene un valor:

$$A = \frac{(Z / A)_m}{(Z / A)_d}$$

debido a ésto, para un compuesto químico ( Z / A ) será simplemente la suma de los números átomicos de los elementos presentes dividido entre el peso molecular del compuesto.

Siendo A el número total de protones y neutrones del núcleo.

#### I.4. Dosímetros.

##### I.4.I. Dosímetro de Fricke.

I.4.I.I. La reacción que involucra o se produce en el dosímetro de Fricke, es la oxidación de una solución ácida de sulfato ferroso a sal férrica, en presencia de oxígeno y bajo la influencia de la radiación.

El método que se utiliza para medir al ion férrico es por análisis espectrofotométrico, comparando las soluciones irradiadas con una solución sin irradiar a una longitud de onda donde los iones férricos muestran un máximo de absorción ( 304 - 308 nm ).

La dosis absorbida ( D ) se calcula de la siguiente manera para cualquier sistema químico:

$$\text{Energía absorbida} = \frac{(100) (\text{moléculas formadas / g}) (\text{eV})}{G (\text{producto}) (\text{g})}$$

$$\frac{(\text{ergio}) (1 \text{ g rad})}{(\text{eV}) (100 \text{ ergios})} = 1.602 \times 10^{-12}$$

moléculas del producto formada / g rad

G ( producto )

Para el dosímetro de sulfato ferroso, cuando el rendimiento de los iones férricos formados se mide espectrofotométricamente:

$$\text{ión férrico formado ( moles / L )} = \frac{( D.O._i - D.O._b )}{d \epsilon}$$

D.O.<sub>i</sub> = Densidad óptica de la solución irradiada

D.O.<sub>b</sub> = Densidad óptica de la solución sin irradiar

$\epsilon$  = Coeficiente de extinción molar para los iones férricos a la longitud de onda del máximo de absorción

$$\frac{L}{(\text{mol cm})}$$

d = Ancho de la celda usada para medir la densidad óptica.

iones férricos formados ( moléculas / g ) =

$$\frac{( D.O._i - D.O._b ) ( \text{moles} ) ( \text{litro} ) ( 6.023 \times 10^{23} ) ( \text{moléculas} )}{( d ) ( \text{litro} ) ( 1000 ) ( \rho ) ( g ) ( \text{mol} ) ( \epsilon )}$$

I.4.I.3. Energía absorbida =

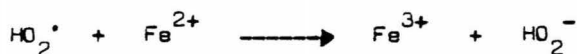
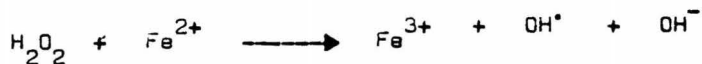
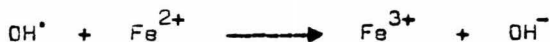
$$\frac{(9.65 \times 10^8) (D.O._i - D.O._b)}{d G (Fe^{3+}) \rho E} \text{ rads}$$

El valor de  $G (Fe^{3+})$  es 15.5; los límites entre los cuales puede trabajar el dosímetro de Fricke están comprendidas entre 4,000 y 50,000 rads, esto se debe a que a 50,000 rads el oxígeno presente en el sistema se agota y a menos de 4,000 rads no se produce suficiente oxidación; el rendimiento del dosímetro no se ve afectado por la temperatura durante la irradiación en el intervalo de temperatura de cero a 65° C.

El dosímetro de sulfato ferroso tiene la ventaja de que puede irradiarse en un contenedor de cualquier tamaño, pudiéndose duplicar las características de la muestra por irradiar.

I.4.1.4. El dosímetro de Fricke trabaja de la siguiente manera, dependiendo de las siguientes características:

Cuando se encuentra presente el aire ( 79 % de nitrógeno, 21 % de oxígeno ) se efectúan las siguientes reacciones:

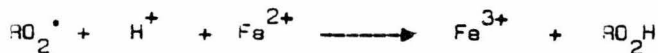
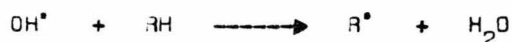




El rendimiento del ión férrico está relacionado con los rendimientos moleculares de acuerdo con la siguiente expresión:

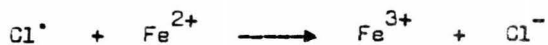
$$G(\text{Fe}^{3+})_{\text{aire}} = 2 G_{\text{H}_2\text{O}_2} + 3 G_{\text{H}} + G_{\text{OH}}$$

Las impurezas orgánicas pueden incrementar el rendimiento del ión férrico en soluciones aireadas según las siguientes reacciones:



Así cada radical hidroxilo induce la oxidación de tres iones ferrosos en lugar de solamente uno.

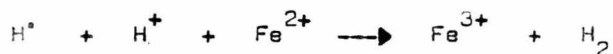
En presencia de cloruros los radicales hidroxilo son remplazados por átomos de cloro, los cuales pueden reaccionar con otros iones ferrosos o las impurezas orgánicas.



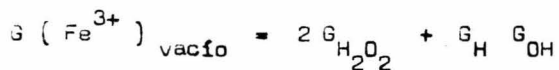


El resultado total de la adición de cloruros es que cada radical hidroxilo óxida otra vez un átomo de ión ferroso y el rendimiento de iones férricos no se ve afectado por las impurezas.

En la reacción siguiente los átomos de hidrógeno están actuando como agentes oxidantes en lugar de agentes reductores:



Para cualquier mecanismo de reacción, el valor de  $G(Fe^{3+})$  en ausencia de oxígeno es:



Después de un tiempo largo de irradiación el ión férrico compite con el ión ferroso por los radicales hidropéroxido y por los átomos de hidrógeno:



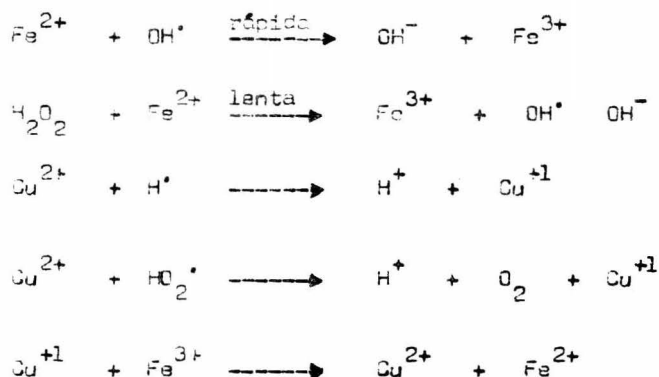
Un estado en el cual las concentraciones de ión férrico es eventualmente estacionario es aquel cuando las velocidades de oxidación y reducción son iguales.

#### I.4.2. Dosímetro de Fricke modificado. ( 6 ).

L.4.2.I. El dosímetro de Fricke modificado presenta la

introducción de iones cúpricos para quedar modificado y así proporciona la ventaja de poder medir dosis mayores.

I.4.2.2. Al adicionar al dosímetro la sal cúprica como el sulfato cúprico, los iones cúpricos serán reducidos a cuprosos cuando reaccionan con los átomos de hidrógeno y los radicales libres Hidroxiperóxi pero no reaccionan con los radicales libres oxhidrilo y peróxido de hidrógeno de tal manera que las reacciones que se llevan a cabo:



Y el rendimiento final de los iones férricos será:

$$G_{\text{Fe}^{3+}} = G_{\text{OH}^{\cdot}} + 2 G_{\text{H}_2\text{O}_2} - G_{\text{H}} - G_{\text{HO}_2^{\cdot}}$$

$$G_{\text{Fe}^{3+}} = 0.66 + 0.02 \frac{\text{iones}}{100 \text{ eV}}$$

I.4.2.3. Características del dosímetro de Fricke modi-

ficado:

a. Rendimiento químico:

$$G_{Fe^{3+}} = 0.66 \pm 0.02 \frac{\text{iones}}{100 \text{ eV}}$$

b. Límite útil de dosis:

de  $10^5$  a  $10^7$  rads

c. La exactitud de la medida de la razón de dosis es constante hasta  $5 \times 10^7$  rads / hora.

d. La temperatura no influye en la exactitud de la medida.

e. El método es independiente de la energía de radiación entre 0.1 y 2.0 mev.

1.4.2.4. Composición química:

$FeSO_4$	0.001 M
$CuSO_4$	0.010 M
$H_2SO_4$	0.010 N

Es importante que la solución sea preparada inmediatamente antes de usarse, para lo cual se mezclan las dos soluciones; la de sulfato ferroso en ácido sulfúrico y la del sulfato cúprico las cuales deben de prepararse por separado.

Si se almacenan, también deben ser separadas y son úti-

les por tres meses. Las condiciones para el manejo del dosímetro de Fricke, representan las mismas que para el de Fricke modificado.

La determinación de los iones férricos se lleva a cabo espectrofotométricamente en la región del ultravioleta y a una longitud de onda determinada.

Las concentraciones de los iones férricos calculados de las densidades ópticas se pueden convertir a dosis absorbidas si se considera que:

$$G(X) = \frac{\Delta n}{\Delta E} \times 100$$

Donde:

$G(X)$  representa el número de moléculas o iones del producto  $X$  liberado por cada 100 eV de energía absorbida.

$\Delta n$  es el número de moléculas formadas por unidad de volumen.

$\Delta E$  se refiere a la cantidad de energía en eV absorbidas por unidad de volumen y está dado por:

$$\Delta E = \frac{\Delta n \times 100}{G(X)}$$

Si la concentración de X se expresa en moles / l ( $\Delta m$ )

la energía absorbida en eV / l está dada por:

$$\Delta E = \frac{M \times 6.02 \times 10^{23}}{G(X)}$$

Puesto que un rad es igual a 100 ergios / g y un eV igual a  $1.602 \times 10^{-12}$  ergios, la dosis en rads se obtiene de :

$$D_{\text{rads}} = \frac{M \times 6.02 \times 10^{25} \times 10^{-3} \times 1.602 \times 10^{-12}}{G(X) \rho}$$

$$= \frac{M \times 9.64 \times 10^8}{G(X) \rho}$$

Donde:

$\rho$  es la densidad del sistema irradiado.

El valor de  $G(X)$  depende de cada tipo de radiación y para cada dosímetro en particular.

I.4.3. Dosímetro de acrílico rojo. ( 7, 8, 9 ).

I.4.3.I. Los plásticos exhiben diferentes tipos de cambios por irradiación, y muchos de éstos dependen únicamente de la dosis total.

Algunos rangos de dosis dependen de la influencia de la razón de dosis en la concentración de radicales libres, y los

y los cambios son debidos a la radiación, la cual induce a que se rompa la unión covalente en las moléculas orgánicas, aun cuando estos efectos que se producen son pocos en compuestos orgánicos simples pero son más pronunciados en polímeros.

La cantidad de radiación que reciben los plásticos pueden provocar cambios tanto en apariencia, en el estado químico, estado físico, al igual que en las propiedades mecánicas ( resistencia a la tensión, dureza, elongación, etc. ).

Los cambios en apariencia pueden presentarse temporal o permanentemente como son los efectos en el color y en el burujeo.

Los cambios químicos incluyen la formación de una doble ligadura, entrecruzamiento, degradación oxidativa, polimerización así como muchos otros cambios.

Entre los cambios físicos se tienen: viscosidad, solubilidad, conductividad, cristalización, etc.

Algunos de los sistemas usados para la dosimetría utilizan las variantes en el color y otros los cambios químicos.

Los cambios en el color causados por la radiación por ionización se concideran que son debidos al electrón atrapado por los radicales libres, y hay ocasiones en los cuales la coloreación es irreversible.

En los procesos de degradación la presencia de radicales libres formados por la radiación atacan a la doble ligadura

causando un desdoblamiento en la cadena principal.

Los radicales libres combinados con la doble ligadura forman nuevos radicales que pueden reactivar las cadenas y regenerar los radicales originales.

Las concentraciones de dichos radicales libres y la doble ligadura tienen un entrecruzamiento el cual sólo se observa a altas dosis y por lo tanto la variación del color va a depender de la dosis recibida.

Y en base a todo lo anterior podemos decir que en los dosímetros sólidos su función está en la dosis absorbida principalmente y de la razón de dosis absorbida.

I.4.3.2. Principios generales de los dosímetros sólidos:

a. Dosis contra respuesta. Bandas de energía en sólidos.

Los estados o cambios físicos en los sólidos al ser observados durante o después de la radiación, nos permite conocer las bandas por ejemplo de cristales que se encuentran cercanos a la partícula cargada y los cuales nos dan una banda de energía del diagrama electrónico de un cristal. La partícula cargada puede ser un electrón de valencia que puede recibir suficiente energía para un átomo, con un sitio de entrecruzamiento y este

proceso se conoce como ionización.

b. Conductividad electrónica inducida.

La ausencia de un electrón en la banda de valencia es conocido como un hueco. Ambos, el electrón y el hueco, son por lo tanto libres de desplazarse independientemente del entrecruzamiento continuo, y cualquiera de los dos puede contribuir a la conductividad electrónica en el cristal.

c. Otros cambios producidos por la radiación.

El electrón como el hueco pueden estar localizados en el campo de la configuración electrónica de los sólidos y las propiedades pueden variar de acuerdo a:

1. Energía de transferencia por excitación.
  2. Bandas de energía en plásticos.
  3. Captura central.
  4. Fluorescencia y fosforescencia.
  5. Absorción óptica.
  6. Luminiscencia.
  7. Resonancia paramagnética.
  8. Termoluminiscencia.
- I. La energía de transferencia por excitación.



En lugar del resultado de una ionización, puede ocurrir que la energía impartida al electrón no es suficiente en la conducción de la banda, este proceso se refiere a la excitación, y el resultado electrón hueco es conocido como excitón. Una excitación continua puede producir una migración o entrecruzamiento en el cristal.

## 2. Bandas de energía en plásticos.

Algunos plásticos no presentan un entrecruzamiento aun siendo en bandas de energía similares, dichas bandas pueden tomarse como una aplicación con respecto a la conductividad eléctrica y el atrapamiento de electrones o huecos, a dichos plásticos se les considera cristales moleculares.

Cada molécula presenta un estado de excitación electrónico y el espectro de un sólido orgánico muestra varios picos en la absorción correspondientes a la transición para varios planos vibracionales del estado fundamental, a la del primer estado de excitación, y cualquier cambio en el plano de energía de excitación ocasiona nuevos picos en la absorción óptica.

## 3. Captura central.

Los electrones, huecos, excitones pueden ser atrapados en diferentes formas, por ejemplo: con exceso de iones positivos o también con iones negativos, cuando actúan los átomos exterior-

nes dando origen a la mencionada captura central de los correspondientes planos de energía orbital y que también se encuentran vacantes.

#### 4. Fluorescencia y fosforescencia.

Si un electrón o hueco es atrapado, en el cual se encuentra o se localice una transición cercana, de la cual se aproveche su estado excitado para pasar al estado normal o fundamental, esto puede provocar que un fotón sea emitido, la emisión de luz por este proceso se le llama luminiscencia.

Si la transición que se produce ocurre rápidamente se le conoce con el nombre de fluorescencia. Algunas emisiones de luz retardada se pueden considerar como fosforescencia.

Para producir un centellador útil, el material debe fluorecer en lugar de fosforescer, y los tiempos de emisión serán los más cortos.

Pueden observarse bandas de absorción óptica en sólidos cuando los electrones ( huecos ) son atrapados en diferentes lugares, no únicamente en el centro.

#### 5. Absorción óptica.

El área que se encuentra bajo la curva de absorción óptica contra longitud de onda, puede ser proporcional al número de centros contribuyentes para formar la banda de absorción, la

dosis absorbida en la substancia hace que la eficiencia en la pro  
ducción del color permanezca constante.

Las repetidas lecturas nos confirman que los centros de  
color no son destruidos.

#### 6. Luminiscencia.

Se presenta después del atrapamiento de electrones, hue  
cos o excitones, se produce también cuando hay decaimiento en la  
región ultravioleta, cuando se localizan centros de impurezas que  
pueden apagar o envenenar la eficiencia de la luminiscencia.

#### 7. Resonancia paramagnética.

La presencia de un par de electrones atrapados en una  
substancia puede detectarse por medio de la resonancia paramagné-  
tica después de ser irradiado el sólido.

#### 8. Termoluminiscencia.

En un sólido irradiado cuando se presentan electrones  
atrapados puede ocurrir un calentamiento el cual va a provocar  
que los electrones sean puestos en libertad, o también que se  
exciten los planos para que se efectúe la transición, ya sea al es  
tado normal o a otro estado y cuando ésto ocurre se emite una luz  
a ésto se le llama termoluminiscencia pero, cuando se efectua un  
acelerado calentamiento se le conoce con el nombre de fosforescen  
cia.

La cantidad de luz emitida es proporcional al número de electrones ( o huecos ) puestos en libertad.

#### I.4.3.3. Dosímetros usando efecto de coloración.

Para dosímetros cuantitativos, la cantidad medida es el cambio en densidad óptica a una longitud de onda determinada. No todas las substancias que dan cambios en el color muestran una relación simple con la dosis, puesto que en algunos casos la relación la muestran después de la radiación con pérdida gradual en el color.

En este caso el dosímetro de metil metacrilato, plástico colorido, nos presenta un rango en la razón de dosis ( rads / hora ) de  $10^4 - 10^{10}$  con una variación de  $\pm 2\%$ , además el cambio en la variación del color como es el obscurecimiento permanece el tiempo suficiente para ser determinada la dosis recibida.

Cuando se encuentra en un rango de dosis bajo se presenta una variación de  $\pm 20\%$  y disminuye a medida que aumenta la intensidad.

El dosímetro de acrílico rojo utiliza el rango de  $0,5 \times 10^6$  a  $4 \times 10^6$  rads, presentando también la variación en el color en el cual llega el momento y ya no se produce el obscurecimiento, también el efecto de la temperatura nos da una variación en la lectura de la respuesta.

## CAPITULO III

### P A R T E      E X P E R I M E N T A L.

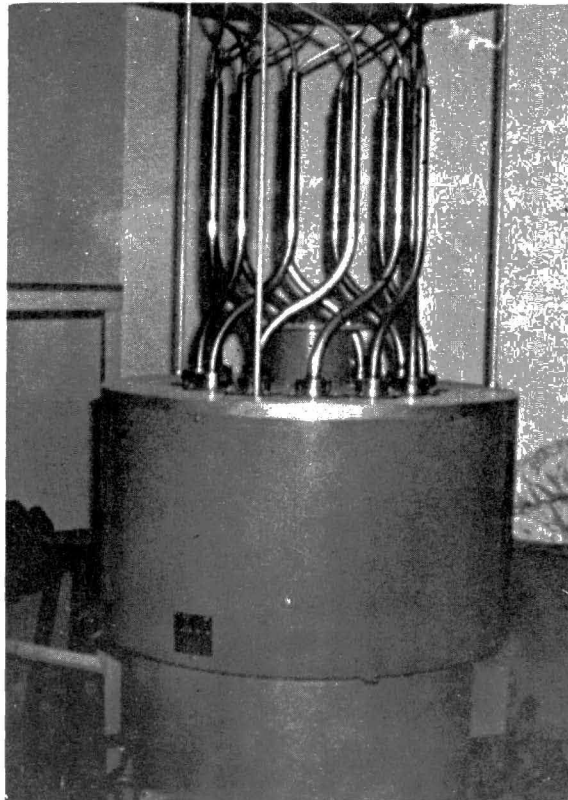
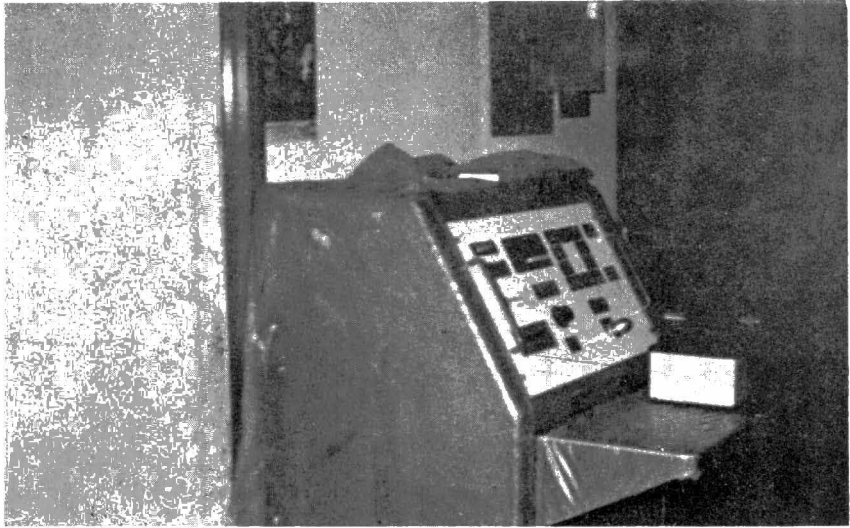
#### I.5. Fuente de radiación ( 10 ).

La fuente radiactiva que se utilizó es un irradiador de rayos gamma de  $^{60}_{27}\text{Co}$ , de nombre comercial Gammabeen 350 tipo LH 314 fabricado por Atomic Energy of Canada Limited, teniendo una actividad de alrededor de 31,000 Ci durante el periodo de la irradiación.

La fuente se encuentra aislada en un cuarto protegido por paredes gruesas de concreto, y puertas de plomo. Se maneja por medio de una consola exterior ya que el Gammabeen es un irradiador panorámico.

La fuente está compuesta por cápsulas donde se encuentra el  $^{60}_{27}\text{Co}$  en forma de esferas ( 60 en total ) de un milímetro de diámetro que suben al exterior. Las barras donde se encuentran las cápsulas en posición de irradiar se pueden ajustar dependiendo del diámetro que se desee, desde 11.4 hasta un máximo de 82.55 cm.

Para operar el Gammabeen es necesario tener la máxima seguridad por lo que se requiere prender el interruptor en el aparato interior, cerrar las puertas de plomo en un máximo de un minuto y con la misma llave con que se operó adentro, encender



el interruptor en la consola y poner a funcionar el neumático para que suba el elemento radiactivo.

Presenta también un sistema de seguridad el cual indica el acceso seguro al cuarto o no, y nos lo muestra la figura número 4.

I.5.1. Aparato para la lectura de la concentración de iones férricos ( 11 ). El espectrofotómetro U N I C A M, que presenta las siguientes características: los límites de longitud de onda son de 186 a 1,000 nm, las lámparas que se utilizan son una con filamento de tungsteno y la otra con filamento de deuterio, enfriado con aire; la selección de la lámpara se hace automáticamente al seleccionar la longitud de onda.

Exactitud en la selección de la longitud de onda:

+ 0,2 m a 200 nm

+ 1,0 m a 400 nm

+ 2,5 m a 600 nm

Exactitud en la lectura en transmisión  $\pm$  0,3 %

I.5.2. Aparato para leer el oscurecimiento del dosímetro de acrílico rojo. ( 12 ).

El aparato empleado para ver el oscurecimiento del dosímetro de acrílico rojo presenta las siguientes características:

El aparato de acrílico rojo A E C L Reader type BC - 2

es designado para uso exclusivo de dosímetros de acrílico rojo que puede ser irradiado bajo las siguientes condiciones:

- a. Razón de dosis promedio entre 0.05 y 1.0 Mrads / hora.
- b. La dosis total entre 0.5 y 4.0 Mrads.
- c. Temperatura del dosímetro durante la irradiación entre  $10^{\circ}$  y  $32^{\circ}$  C.

La reproducibilidad en la lectura del dosímetro es de  $\pm 2\%$  ( error estándar ) bajo irradiación y condiciones de lectura constantes.

Esto es normal para los dosímetros que se decoloran después de la irradiación.

La curva de calibración ha sido graficada tomando las lecturas inmediatamente después de la radiación a un rango de dosis fijo. Figura número 5.

Las lecturas que se obtienen son transferidas a la curva de calibración y nos da una dosis de radiación directamente.

Para cada una de las lecturas el aparato se calibra ya que los fotorresistores y el potenciómetro varían un poco.

El voltaje designado para la operación está entre 100 / 130 voltios y 50 / 60 ciclos.

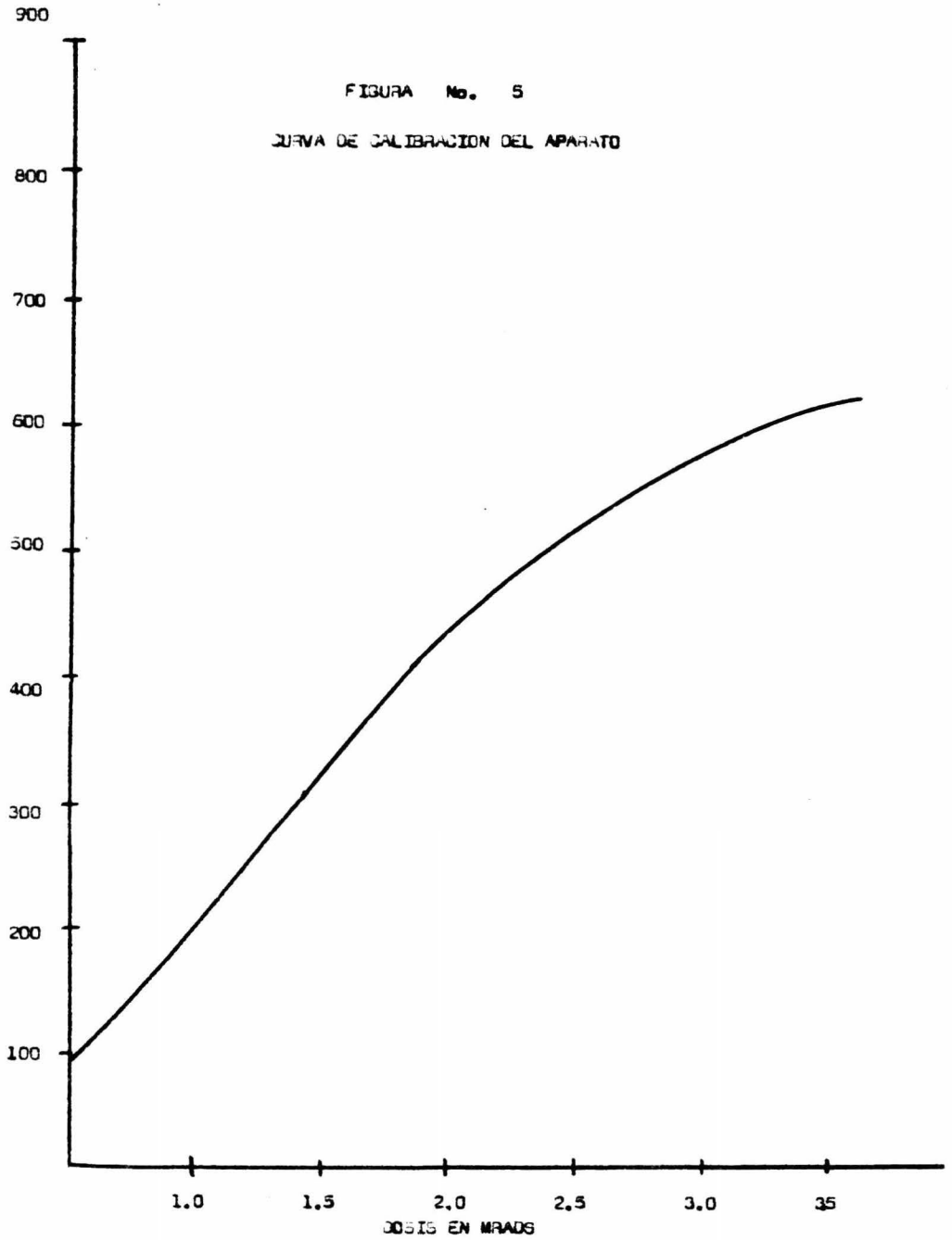
#### I.5.3. Preparación de la solución de Fricke.

Para la preparación de la solución de Fricke se requie-



FIGURA No. 5

CURVA DE CALIBRACION DEL APARATO



re del uso de agua tridestilada la cual se obtiene siguiendo las condiciones siguientes:

El agua destilada ordinaria se redestila en medio alcalino, obtenido con un gramo de permanganato de potasio y un gramo de hidróxido de sodio por litro de agua destilada, obteniéndose así el agua bidestilada a la cual se le agrega un gramo de dicromato de potasio y un gramo de ácido sulfúrico por litro de agua bidestilada formándose así el medio ácido para obtener el agua tridestilada libre de impurezas orgánicas presentes.

Se tiene que tomar en cuenta que los reactivos empleados deben ser de pureza analítica.

El material de vidrio que se utiliza se lava primero con agua y jabón; después otro lavado con mezcla crómica, enjuagado con agua destilada y finalmente con agua tridestilada.

En este caso se utilizaron como celdas de irradiación ampollitas de vidrio, inyectables de 10 ml de capacidad y pared de 0.5 mm de espesor.

Ya que se tiene todo el material que se va a utilizar y lista también la solución, la cual se satura con aire o con oxígeno dependiendo del intervalo deseado. El recipiente se protege con papel aluminio, y se almacena en un lugar oscuro.

La medida de la dosis esta basada en la suposición de

que la dosis absorbida en la solución del dosímetro es proporcional a la radiación que produce cambio en la concentración del ión férrico.

El método más conocido es determinando este cambio en la concentración la cual se mide espectrofotométricamente, el cambio producido por la radiación en absorbancia, densidad óptica de la solución del dosímetro.

Y esto se puede expresar por la relación:

$$A = \epsilon b M$$

Donde:

A = Es la absorbancia de la densidad óptica de la medida del ion férrico a una longitud de onda de 304 y 204 nm.

M = Es la molaridad de los iones férricos.

b = Ancho de la celda usada, 1 cm.

$\epsilon$  = Para cada longitud de onda y para cada espectrofotómetro es constante y se llama coeficiente de extinción molar.

El tiempo de irradiación debe ser tal que la dosis recibida quede comprendida entre 4000 y 40,000 rads.

Después de irradiada la solución de Fricke se procede a

la medición utilizando celdas de cuarzo y la solución no irradiada como blanco.

La concentración obtenida en las gráficas de calibración está dada en  $\frac{\text{mol}}{\text{ml}}$ .

También se puede calcular la dosis a partir de la densidad óptica (directamente sin curva de calibración).

$$Fe_{\text{formado}}^{3+} \left( \frac{\text{moles}}{l} \right) = \frac{D.O._1 - D.O._b}{d \epsilon}$$

Donde:

$D.O._1$  = Es la densidad óptica de la solución irradiada

$D.O._b$  = Es la densidad óptica de la solución sin irradiar

$\epsilon$  = Es el coeficiente de extinción molar  $\frac{l}{\text{mol cm}}$

$d$  = Espesor de la celda en centímetros

$g$  =  $15.6 \frac{\text{átomos de } Fe^{2+}}{100 \text{ eV}}$

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y CONCLUSIONES

#### I.6. Parámetros a comparar.

I.6.1. Reproducibilidad. La reproducibilidad puede efectuarse en algunos casos por impurezas tanto en dosímetros líquidos como son los de Fricke y Fricke modificado y también en dosímetros sólidos como es el caso del acrílico rojo.

En el caso del dosímetro denominado acrílico rojo la reproducibilidad requiere de mínimas precauciones en comparación con otros dosímetros, en los cuales puede afectarles la luz y pequeñas impurezas del material.

En el dosímetro de Fricke la reproducibilidad requiere de ciertas precauciones tanto en el material como en las materias primas para la preparación de la solución.

I.6.2. Costo. Cuando se ve el costo de los tres dosímetros se piensa no tan solo en la preparación de la solución, sino además en los aparatos con los cuales determinamos la energía que absorbió nuestra substancia, por lo tanto, para el dosímetro de acrílico rojo únicamente se puede medir la respuesta en un colorímetro.

Para el dosímetro de Fricke y Fricke modificado el apa-

rato que se emplea es un espectrofotómetro el cual se usa en la región visible o también en la región ultravioleta, y en relación al costo de los aparatos es más caro un espectrofotómetro que un colorímetro.

I.6.3. Tiempo. En el dosímetro de acrílico rojo el tiempo de lectura no importa que se dejen pasar unas horas; por ejemplo dos horas.

En el dosímetro de Fricke y Fricke modificado el tiempo puede hacer variar la respuesta y se deben de leer las muestras en el espectrofotómetro o siendo inmediatamente después de la irradiación.

I.6.4. Efectos de la temperatura. La temperatura en los dosímetros de Fricke y Fricke modificado debe ser menor de  $50^{\circ}\text{C}$ ; cuando se produce una temperatura mayor a la del cuarto de radiación si pueden producirse variaciones en las soluciones, así como también en el dosímetro de acrílico rojo que pueden producir variaciones en el color y por lo tanto en las lecturas.

## I.7. Resultados.

I.7.I. Para la dosimetría que se llevó a cabo en la fuente de  $^{60}_{27}\text{Co}$  ( Gammabeam ) se tomaron muestras del dosímetro de Fricke en ampollitas conteniendo 10 ml de dicha solución e irradiándolas a diferentes dosis cuyos resultados se muestran en las tablas: I, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, donde se encuentra la variación de la distancia de las fuentes al dosímetro, llevando cada punto en las tablas y gráficas la representación en promedio de cuando menos dos muestras o más, también se presenta la gráfica número I, en la cual se presenta la respuesta lineal del dosímetro de Fricke a diferente longitud de onda ( 204 - 304 nm ). Y la gráfica número II .

La lectura que se obtiene de leer las muestras se convierte a rads mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Dosis} = 2.8 \times 10^4 \frac{(D.O._i - D.O._b)}{d} \text{ rads}$$

Donde:

D.O.<sub>i</sub> Densidad óptica de la muestra irradiada

D.O.<sub>b</sub> Densidad óptica del blanco

d Espesor de la celda en cm.

Las mediciones que se efectuaron para determinar la dosis recibida en el dosímetro de acrílico rojo se presentan en la ta-

bla 9 y en la gráfica III.

Los valores del dosímetro de Fricke modificado, los cuales se tomaron de una tesis realizada anteriormente ( 6 ) y corresponden a las tablas 10, 11, 12, y a la gráfica número IV.

Los valores a comparar de los tres dosímetros se dan para diferentes aberturas en la tabla 13 y las diferencias con respecto al dosímetro de acrílico rojo en % se dan en la tabla 14, las diferencias con respecto al dosímetro de Fricke en la tabla 15, la tabla 16 son las diferencias entre dos réplicas del dosímetro de Fricke.

Las mediciones que se efectuaron fueron en diversas fechas y por lo tanto se corrigió por decaimiento a una fecha determinada como fue la del 21 de Noviembre de 1975, dichas correcciones se encuentran en la tabla 17 para el dosímetro de Fricke.



## I.8. Conclusiones.

I.8.I. Los resultados que se obtuvieron para cada uno de los dosímetros utilizados, Fricke, Fricke modificado y acrílico rojo, al hacer variar las aberturas de las fuentes y colocando el dosímetro en diferentes posiciones, podemos encontrar que en el dosímetro de Fricke las diferencias entre muestras repetidas en la misma posición pero en diferente fecha **están** hasta un 6% de su valor encontrado, y que a la vez el dosímetro de Fricke comparado con los otros dos dosímetros hay una diferencia máxima de 6%.

También se encontró que es mayor la diferencia entre los dosímetros, que entre las mismas muestras repetidas del mismo dosímetro.

Al comparar los resultados del dosímetro de acrílico rojo con el de Fricke modificado se encuentra que a una razón de dosis mayores a 1 Mrad / h, El % de diferencia es hasta 16 %.

Aun cuando las réplicas de muestras de alguno de los dosímetros se colocará en la misma posición y con la misma abertura de las fuentes se encontró una variación muy pequeña debido a errores al medir la distancia, y esto se presenta más en el dosímetro de acrílico rojo ya que su tamaño es muy pequeño comparado a los otros dos.

De los resultados obtenidos se puede decir que los dosímetros pueden compararse en un rango que se encuentra entre 0.25 y 0.65 Mrads / h, y con un máximo de diferencia de 6 %, que es aproximadamente la que se presenta en muestras repetidas de un mismo dosímetro.

Quando aumenta la dosis o razón de dosis la diferencia también aumenta en los dosímetros de Fricke modificado y de acrílico rojo y a menores razones de dosis ( 0.25 Mrads / h ) el dosímetro de Fricke también tiene una mayor diferencia con respecto a los otros dos.

T A B L A No. I.

INTENSIDADES DE DOSIS ENCONTRADAS EN DIFERENTES FECHAS  
DEL DOSIMETRO DE FRICKE/

14 de Marzo

Irradiación min	Abertura cm	D.O.	No. de muestra	Rads / min	promedio rads / min
1	40	0.449	1	$1.23 \times 10^4$	
2	40	1.051	2	$1.43 \times 10^4$	$1.309 \times 10^4$
3	40	1.377	3	$1.25 \times 10^4$	

T A B L A No. 2

24 de Marzo

2	50	0.508	4	$0.778 \times 10^4$	
3	50	0.863	5	$0.788 \times 10^4$	$0.787 \times 10^4$
4	50	1.161	6	$0.795 \times 10^4$	

T A B L A No. 3

10 de Abril

2	50	0.407	7	$0.557 \times 10^4$	
4	60	0.842	8	$0.564 \times 10^4$	$0.565 \times 10^4$
6	60	1.260	9	$0.575 \times 10^4$	

T A B L A No. 4

14 de Abril

2	70	0.309	10	$0.423 \times 10^4$	
4	70	0.626	11	$0.428 \times 10^4$	$0.427 \times 10^4$
6	70	0.940	12	$0.429 \times 10^4$	

T A B L A No. 5

24 de Abril

---

3	80	0,345	13	$0,315 \times 10^4$	
6	80	0,667	14	$0,304 \times 10^4$	$0,3116 \times 10^4$
8	80	0,921	15	$0,315 \times 10^4$	

---

T A B L A No. 6

12 de Junio

Irradiación	Abertura	D.O.	No. de muestra	Rads / min	Promedio
min	cm				Rads / min
1	40	0.400	16	$1.09 \times 10^4$	
2	40	0.839	17	$1.149 \times 10^4$	$1.122 \times 10^4$
3	40	1.227	18	$1.120 \times 10^4$	
1	50	0.253	19	$0.693 \times 10^4$	
2	50	0.521	20	$0.713 \times 10^4$	$0.720 \times 10^4$
3	50	0.808	21	$0.737 \times 10^4$	
4	50	1.079	22	$0.739 \times 10^4$	
1	60	0.190	23	$0.520 \times 10^4$	
2	60	0.384	24	$0.526 \times 10^4$	$0.536 \times 10^4$
4	60	0.811	25	$0.555 \times 10^4$	
6	60	1.187	26	$0.542 \times 10^4$	
2	70	0.276	27	$0.378 \times 10^4$	
4	70	0.568	28	$0.389 \times 10^4$	$0.387 \times 10^4$
6	70	0.863	29	$0.394 \times 10^4$	
3	80	0.347	30	$0.316 \times 10^4$	
6	80	0.678	31	$0.309 \times 10^4$	$0.311 \times 10^4$
8	80	0.896	32	$0.306 \times 10^4$	

T A B L A No. 7.

DISTANCIA DEL DOSIMETRO DE FRICKE A LAS FUENTES.

19 de Junio

Irradiación	Abertura	D.O.	No. de muestra	Rads / min	Promedio
min	cm				Rads / min
3	27	0.656	33	$0.599 \times 10^4$	
3	27	0.656	34	$0.599 \times 10^4$	
6	27	1.285 X	35	$0.586 \times 10^4$	
6	27	1.301	36	$0.594 \times 10^4$	$0.588 \times 10^4$
8	27	1.676	37	$0.574 \times 10^4$	
8	27	1.692	38	$0.579 \times 10^4$	
8	47	0.430	39	$0.147 \times 10^4$	
8	47	0.429	40	$0.146 \times 10^4$	
12	47	0.692	41	$0.158 \times 10^4$	$0.154 \times 10^4$
12	47	0.701	42	$0.160 \times 10^4$	
16	47	0.912	43	$0.156 \times 10^4$	
16	47	0.914	44	$0.156 \times 10^4$	
12	57	0.420	45	$0.095 \times 10^4$	
12	57	0.416	46	$0.094 \times 10^4$	
16	57	0.641	47	$0.109 \times 10^4$	$0.100 \times 10^4$
24	57	0.852	48	$0.097 \times 10^4$	
60	77	1.041	49	$0.047 \times 10^4$	
78	77	1.380	50	$0.048 \times 10^4$	$0.048 \times 10^4$

T A B L A No. 8.

REPETICION DEL DOSIMETRO DE FRICKE EN EL CENTRO

DE LAS FUENTES.

18 de Agosto.

Irradiación	Abertura	D.O.	No. de muestra	Rads / min	Promedio
min	cm				Rads / min
1	40	0.382	51	$1.046 \times 10^4$	
2	40	0.792	52	$1.085 \times 10^4$	$1.08 \times 10^4$
3	40	1.215	53	$1.109 \times 10^4$	
2	50	0.502	54	$0.687 \times 10^4$	
3	50	0.788	55	$0.719 \times 10^4$	$0.708 \times 10^4$
4	50	1.049	56	$0.718 \times 10^4$	
2	60	0.358	57	$0.490 \times 10^4$	
3	60	0.646	58	$0.590 \times 10^4$	$0.561 \times 10^4$
4	60	0.832	59	$0.604 \times 10^4$	
2	70	0.253	60	$0.346 \times 10^4$	
4	70	0.636	61	$0.435 \times 10^4$	$0.393 \times 10^4$
6	70	0.872	62	$0.398 \times 10^4$	
3	80	0.297	63	$0.271 \times 10^4$	
6	80	0.639	64	$0.291 \times 10^4$	$0.285 \times 10^4$
8	80	0.857	65	$0.293 \times 10^4$	

T A B L A No. 9.

RESULTADOS DEL DOSIMETRO DE ACRILICO ROJO EN MRADS / H

Distancia a las Fuentes cm	Razón de dosis Mrads / hora	Corregido al 21 de Nov. de 1975 Mrads / H
11.4	4.96	4.6212
20	1.87	1.7422
33	1.06	0.9876
40	0.718	0.6546
50	0.470	0.4308
60	0.347	0.3180
70	0.275	0.2534
80	0.198	0.1834



T A B L A No. 10.

MEDIDA DE LA DOSIS RECIBIDA EN EL DOSIMETRO DE FRICKE  
MODIFICADO.

Tiempo de irradiación min	Abertura cm	Razón de dosis rad / h	Razón de dosis co- rregida al 21 de Nov. rad / h
5	11.4	$68.0012 \times 10^6$	$6.0960 \times 10^6$
15	11.4	$7.452 \times 10^6$	$5.6769 \times 10^6$
30	11.4	$6.72 \times 10^6$	$5.1206 \times 10^6$
40	11.4	$7.16 \times 10^6$	$5.4559 \times 10^6$
60	11.4	$6.36 \times 10^6$	$4.8463 \times 10^6$
80	11.4	$5.04 \times 10^6$	$3.8404 \times 10^6$
120	11.4	$3.45 \times 10^6$	$2.6212 \times 10^6$
240	11.4	$1.76 \times 10^6$	$1.3411 \times 10^6$

T A B L A No. 11

MEDIDA DE LA DOSIS EN EL DOSIMETRO DE FRICKE MODIFICADO  
 VARIANDO LA ABERTURA.

Tiempo de irradiación min	Abertura cm	Razón de dosis rads / h	Razón de dosis corregida al 21 de Nov. rads / h
10	30	$1.48 \times 10^6$	$1.1277 \times 10^6$
15	30	$1.47 \times 10^6$	$1.1201 \times 10^6$
26	30	$1.48 \times 10^6$	$1.1277 \times 10^6$
30	30	$1.49 \times 10^6$	$1.1353 \times 10^6$
40	30	$1.47 \times 10^6$	$1.1201 \times 10^6$
45	30	$1.48 \times 10^6$	$1.1277 \times 10^6$
50	30	$1.48 \times 10^6$	$1.1277 \times 10^6$
60	30	$1.59 \times 10^6$	$1.2115 \times 10^6$
80	30	$1.49 \times 10^6$	$1.1353 \times 10^6$
200	30	$1.41 \times 10^6$	$1.0744 \times 10^6$
240	30	$1.48 \times 10^6$	$1.1277 \times 10^6$

T A B L A No. 12

RESULTADOS PARA DOS REPLICAS DEL DOSIMETRO DE FRICKE MODIFICADO  
CON LOS MISMOS TIEMPOS.

Tiempo de irradiación	Abertura	Razón de dosis	Razón de dosis corregida al 21 de Nov.
min	cm	rads / h	rads / h
20	80	$3.17 \times 10^5$	$2.4155 \times 10^5$
20	80	$3.12 \times 10^5$	$2.3774 \times 10^5$
40	80	$2.72 \times 10^5$	$2.0726 \times 10^5$
40	80	$2.65 \times 10^5$	$2.0193 \times 10^5$
50	80	$2.66 \times 10^5$	$2.0269 \times 10^5$
50	80	$2.76 \times 10^5$	$2.1031 \times 10^5$
60	80	$2.60 \times 10^5$	$1.9812 \times 10^5$
60	80	$2.59 \times 10^5$	$2.0497 \times 10^5$
120	80	$2.61 \times 10^5$	$1.9888 \times 10^5$
150	80	$2.96 \times 10^5$	$2.2555 \times 10^5$
200	80	$2.73 \times 10^5$	$2.0802 \times 10^5$

T A B L A No. 13

INTENSIDADES DE DOSIS ENCONTRADAS CON LOS DIFERENTES

DOSIMETROS VARIANDO LA ABERTURA DE LAS FUENTES.

Diámetro en cm	Acrílico Mrads / h	Fricke Mrads / h	Fricke modificado Mrads / h
11	4.86		5.47
20	1.74		1.98
30	1.19		1.00
40	0.65	0.67	0.64
50	0.43	0.41	0.43
60	0.32	0.32	0.33
70	0.25	0.235	0.25
80	0.18	0.17	0.19

T A B L A No. 14

DIFERENCIAS EN % CON RESPECTO AL DOSIMETRO DE ACRILICO.

Abertura cm	Fricke %	Fricke modificado %
11		14.60
20		13.78
30		15.96
40	4.30	4.00
50	4.65	0.00
60	0.00	3.43
70	6.00	0.00
80	5.55	5.55

T A B L A No. 15

DIFERENCIAS EN % CON RESPECTO AL DOSIMETRO DE FRICKE  
 ( PROMEDIO DE LAS DOS LECTURAS ).

Diámetro interior cm	Acrílico %	Fricke modificado %
40	4.41	5.88
50	4.87	4.87
60	0.00	3.12
70	6.38	6.38
80	5.88	11.76

## T A B L A No. 16

DIFERENCIAS ENTRE DOS REPLICAS DEL DOSIMETRO DE FRICKE EN %.

---

Diámetro interior en cm	%
40	5.96
50	0.00
60	0.00
70	2.12
80	0.00

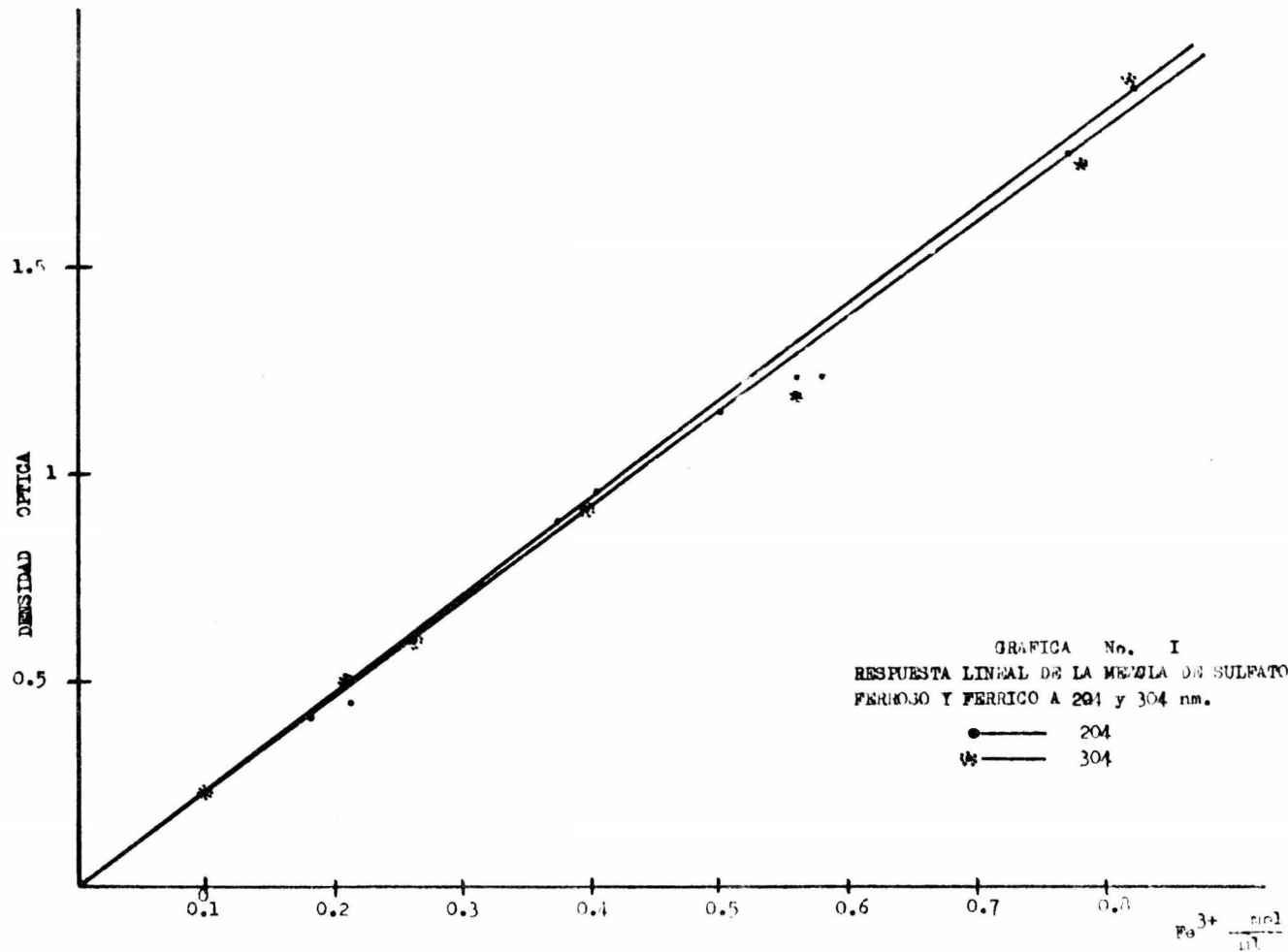
---

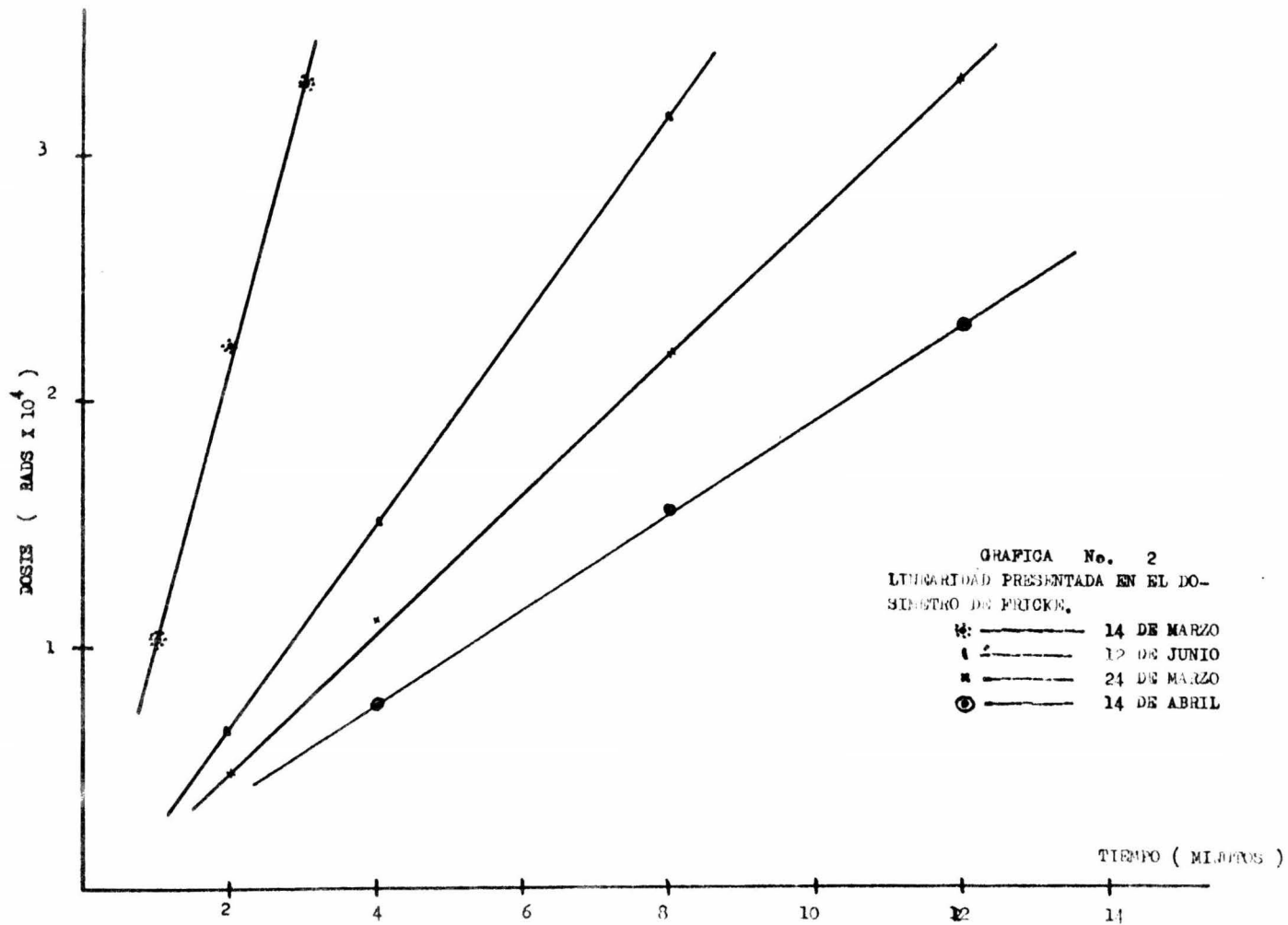
T A B L A No. 17

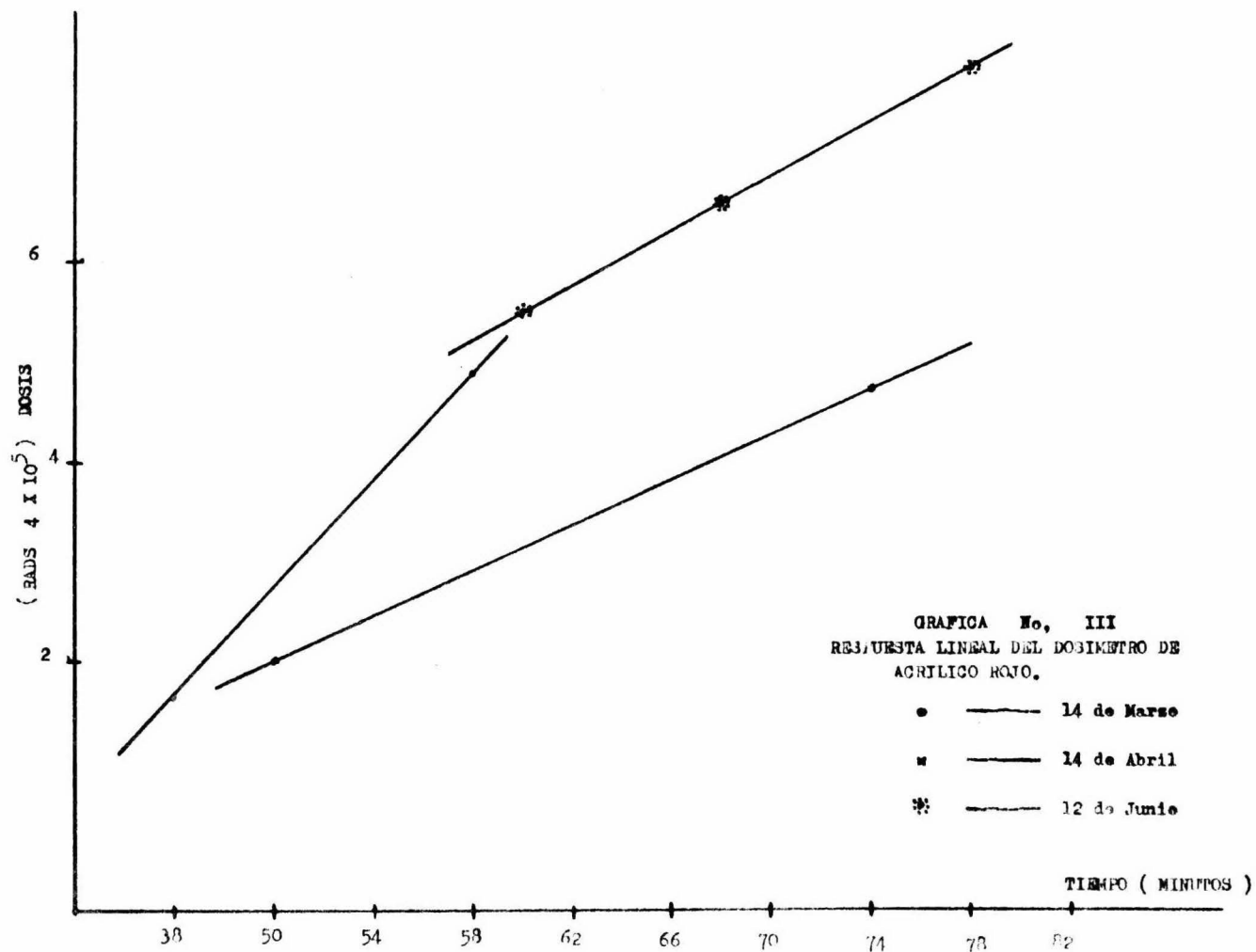
FACTOR DE CORRECCION EN BASE A LA FECHA DEL 21 DE NOVIEMBRE DE 1975.

14 de Marzo	-	21 de Noviembre	de 1975	=	0.9117
24 de Marzo	-	21 de Noviembre	de 1975	=	0.9166
1o. Abril	-	21 de Noviembre	de 1975	=	0.9196
14 de Abril	-	21 de Noviembre	de 1975	=	0.9216
24 de Abril	-	21 de Noviembre	de 1975	=	0.9267
12 de Junio	-	21 de Noviembre	de 1975	=	0.9419
19 de Junio	-	21 de Noviembre	de 1975	=	0.9470
18 de Agosto	-	21 de Noviembre	de 1975	=	0.968
29 de Agosto	-	21 de Noviembre	de 1975	=	0.9711

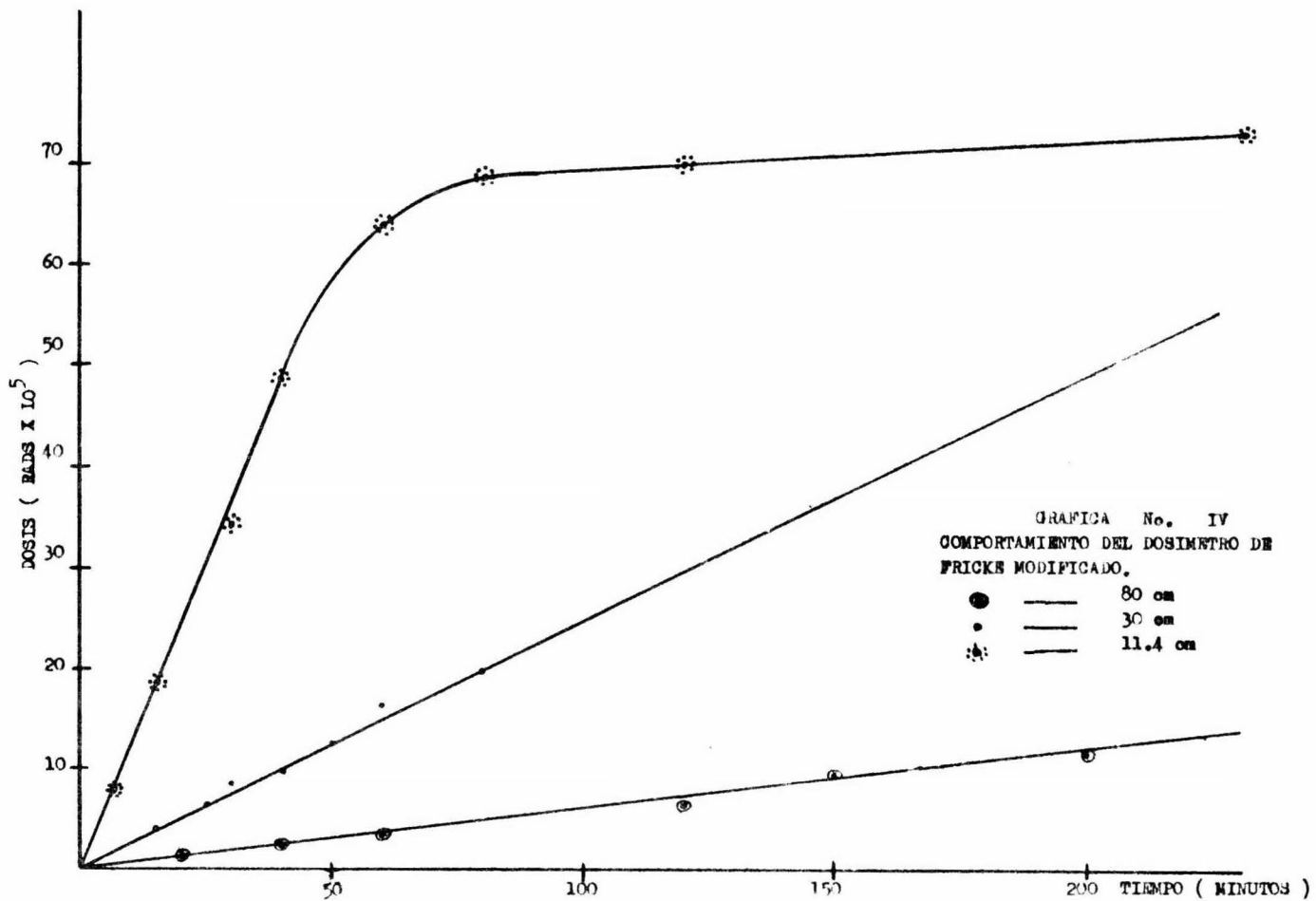








GRAFICA No. III  
RESPUESTA LINEAL DEL DOSIMETRO DE  
ACRILICO ROJO.



## B I B L I O G R A F I A.

1. Apuntes del curso " Dosimetría de la radiación ionizante e instrumentación asociada ". Impartida por el Dr. J. Auxier del Oak Ridge National Laboratory, USA. En el Instituto de Física, Agosto de 1970.
2. V. M. Loyola Vargas  
Apuntes sobre Química Nuclear y Radioquímica  
Universidad de Queretaro ( 1974 ).
3. Chemical Dosimetry Course. A Laboratory Aid. Institute of isotopes of the Hungarian Academy of Sciences, Budapest 1971.
4. J. W. T. Spinks and M. J. Woods  
An Introduction to Radiation Chemistry  
John Wiley and Sons, Inc.  
New York ( 1964 ).
5. Tamarro S. A.  
Instrumentación Nuclear  
Ed. Servicio de publicaciones de la J. E. N.  
Madrid, España ( 1970 ).
6. Irma Ma. Engracia García Sosa  
Dosimetría Química de una fuente de irradiación de alta actividad de Cobalto 60  
Te is para obtener el título de Químico Industrial.  
U. A. Veracruz ( 1974 ).

7. Charles Artandi, Et al.  
Measuring Large Radiation Doses  
Nucleonics 17, No. 10, 58 - 76 , ( 1959 ).
8. F. H. Attix  
Radiation Dosimetry  
Vol. I 5th. Ed.  
Academic Press.  
New York and London ( 1968 ).
9. J. E. Wilson  
Radiation Chemistry of Monomers, Polymers and Plastics  
Marcel Dekker, Inc.  
New York ( 1974 ).
10. Manual de operaciones del Gammabeam.
11. Manual de operaciones del Espectrofotómetro UNICAM.
12. Manual de **operaciones** del Dosímetro de Acrílico rojo  
Tipo BC - 2.