

21  
2ej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
FACULTAD DE QUIMICA

# Dosimetro Quimico Acuoso a Base de Rojo Congo



EXAMENES PROFESIONALES  
FAC. DE QUIMICA

## T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :  
Q U I M I C O

P R E S E N T A :  
JUAN LUIS LOPEZ DIAZ

TESIS CON  
FALTA DE ORIGEN

1990



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

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

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

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

# C O N T E N I D O

## C A P I T U L O I

Página

I. INTRODUCCION	1
-----------------	---

## C A P I T U L O II

II. INTERACCION DE LA RADIACION CON LA MATERIA	2
II.1 Absorción de la radiación	3
II.1.1 Interacción de las radiaciones corpusculares con la materia	3
II.1.2 Interacción de la radiación electromagnética con la materia	4
II.2 Emisiones radiactivas	6
II.3 Campo de radiación	8
II.4 Efectos biológicos de la radiación	10
II.5 Aspectos físicos de la absorción de la radiación	12
II.5.1 Dosis absorbida	12
II.5.2 Sección eficaz	12
II.5.3 Espesor medio y coeficiente de absorción lineal	13

## C A P I T U L O III

III. GENERALIDADES	
III.1 Dosimetría de radiaciones	15
III.2 Términos y conceptos básicos empleados en dosimetría.	15
III.2.1 Teoría de la desintegración radiactiva	19
III.3 Detección de la radiación	21
III.4 Guía para la dosimetría	25
III.5 Criterios de selección de un sistema dosimétrico	26

## C A P I T U L O IV

IV. METODOS DOSIMETRICOS	
IV.1 Dosímetros primarios o absolutos y dosímetros secundarios o relativos	30

	Página
IV.2 Dosímetros de referencia	31
IV.3 Dosímetros de rutina	40
IV.3.1 Algunos dosímetros de rutina	41
IV.4 Sistemas dosimétricos	47

## C A P I T U L O V

### V. TRABAJO EXPERIMENTAL

V.1 Descripción del sistema dosimétrico	52
V.2 Reactivos, material y equipo	53
V.2.1 Reactivos	53
V.2.2 Material	53
V.2.3 Equipo	53
V.3 Procedimiento	54
V.4 Resultados	56

## C A P I T U L O VI

### VI. DISCUSION Y CONCLUSIONES

VI.1 Discusión	68
VI.2 Conclusiones	69

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

71

## C A P I T U L O I

### I N T R O D U C C I O N

En general, la radiación ionizante origina una diversidad de cambios físicos y químicos al incidir sobre determinada sustancia o material pero en particular produce efectos sumamente marcados en soluciones de colorantes.

Algunas soluciones coloridas que están sometidas a un tipo de radiación ionizante (por ejemplo radiación gamma) sufrirán una alteración en la intensidad inicial de la solución preparada, la cual podría ser proporcional ó tener alguna relación con la cantidad de energía depositada en la solución ó lo que es lo mismo a la dosis recibida en un tiempo definido.

En algunas soluciones acuosas diluidas y por efecto de los rayos gamma y además dentro de límites definidos, el cambio de intensidad en el tono de la coloración y el cambio en el pH (en el caso del rojo congo) iniciales, es proporcional a la dosis de radiación absorbida lo cual permite su empleo como sistema dosimétrico para niveles de dosis de radiación entre 0 y 1710 Gy (0 - 171 Krad).

El aprovechamiento de tales efectos sobre determinadas sustancias coloridas tiene una aplicación muy extendida, pero sobre todo, en su utilización como dosímetro químico.

En el presente trabajo los resultados experimentales están, principalmente, en función del cambio proporcional que se produce en la relación del pH de las soluciones no irradiadas y las soluciones irradiadas ( $pH_0/pH_i$ ) con respecto a la cantidad de dosis absorbida.

Se propone así, el empleo de dicho sistema, con el cual se pretende lograr una medición confiable en los niveles de dosis ya mencionados.

## C A P I T U L O   I I

### INTERACCION DE LA RADIACION CON LA MATERIA

La radiactividad fue descubierta en forma accidental en 1896 por Henry Becquerel cuando estudiaba la fosforescencia. Muchos minerales, llamados sustancias fosforescentes, resplandecen cierto tiempo después de exponerse a la luz del sol ó a la luz ultravioleta. Puesto que los recientemente descubiertos rayos X produjeron también un resplandor con los compuestos fosforescentes, Becquerel registró una posible relación entre los compuestos fosforescentes y los rayos X. Uno de éstos compuestos fosforescentes de su colección fue una sal de uranio (sulfato de uranilo y potasio). En sus experimentos expuso la sal de uranio a la luz del sol y después colocó sobre una placa fotográfica envuelta en papel negro la sal para impedir la exposición de la placa a la luz del sol. A diferencia de la luz del sol, la radiación emitida por la sal de uranio penetró en el papel negro. Esto indicó que había rayos X en la radiación de uranio. Supuso que los rayos X provenían de la exposición de la sal de uranio a la luz del sol. Sin embargo, Becquerel hizo el sorprendente descubrimiento de que la sal de uranio oscurecía la placa fotográfica aún sin haberla expuesto a la luz del sol. A este fenómeno se le dió el nombre de radiactividad.

Posteriormente, Ernest Rutherford y Paul Villard, estudiando el comportamiento de las emisiones radiactivas de fuentes naturales sometidas a la acción de un campo eléctrico, establecieron que dichos elementos radiactivos pueden emitir tres tipos diferentes de rayos. Estos se denominan  $\alpha$  ,  $\beta$  ,  $\gamma$  . Los tres tipos de emisiones se denominan radiaciones ionizantes porque pueden originar la formación de

iones en la materia desprendiendo electrones de los átomos y moléculas durante su paso.

### II.1 Absorción de la radiación.

Estudiar la interacción de la radiación con la materia se fundamenta principalmente en dos razones: en primer lugar, estas interacciones sirven como base para los instrumentos que se utilizan para detectar y medir la radiación y en segundo lugar, la radiación interacciona con la materia produciendo importantes cambios químicos.

La radiación nuclear se refiere a todos los tipos de partículas emitidas por núcleos inestables; sin embargo, solo las emisiones  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  tienen interacción con la materia ya que interaccionan con los electrones orbitales produciendo ionización.

Los efectos de la radiación sobre la materia son función de la masa, la carga y la energía de la radiación ionizante que incide y también de la naturaleza de dicha materia. Para comprender mejor la interacción que tiene la radiación con la materia conviene estudiar los casos de dos tipos de radiación: la corpuscular y la electromagnética.

#### II.1.1 Interacción de las radiaciones corpusculares con la materia.

En el tipo de radiación corpuscular se presentan partículas con una energía superior a los niveles energéticos normales, es decir, a aquellos asociados a las partículas que se encuentran formando parte de átomos estables.

La radiación corpuscular al pasar a través de la materia pierde su exceso de energía por interacción con los átomos y principalmente con los electrones de los átomos que se encuentran en su trayectoria. Como resultado de esta interacción los electrones de los átomos pueden ser despla-

zados de un nivel a otro de mayor energía (fenómeno de excitación) ó arrancados por completo del átomo (fenómeno de ionización). Los iones así producidos pueden causar ellos mismos ionizaciones posteriores en otros átomos; a tal efecto se le conoce como efecto secundario. Después de terminada la trayectoria, las partículas alcanzan niveles energéticos normales y entran a formar parte de átomos estables.

#### II.1.2 Interacción de la radiación electromagnética con la materia.

La radiación electromagnética es emitida por los átomos inestables al desintegrarse y su interacción con la materia puede producirse por cualquiera de los siguientes procesos: a) efecto fotoeléctrico, b) efecto Compton y c) formación de pares.

Conviene señalar que es frecuente llamar rayos gamma ó fotones gamma a todas las radiaciones del tipo electromagnético, sea cual sea su origen y su energía.

##### a) Efecto fotoeléctrico.

Cuando la energía de los fotones es menor de 0.1 MeV, el proceso que predomina es el fotoeléctrico. Como resultado de una colisión el fotón es absorbido por la materia y desaparece, de aquí emerge un electrón que se suele llamar fotoelectrón.

La colisión se efectúa con un electrón orbital del átomo. El fotoelectrón sale con una cierta energía cinética la cual verifica la siguiente ecuación debida a Albert Einstein:

$$T = hv - Be$$

donde:

$hv$  = energía del fotón incidente

$Be$  = energía de separación que poseía el electrón en el átomo antes de recibir el impacto del fotón.



Como puede notarse, para que un fotón pueda ser absorbido produciendo un fotoelectrón debe de suceder que:

$$h\nu \geq E_e$$

Llamándose a esta energía umbral fotoeléctrico.

Si un haz de fotones incide sobre una superficie y debido al efecto fotoeléctrico se producen electrones se puede originar una corriente eléctrica cuya intensidad es proporcional al flujo de fotones del haz.

b) Efecto Compton.

Supongamos una radiación electromagnética monocromática, o sea, un haz constituido por fotones de la misma energía atravesando la materia. Algunos de los fotones del haz chocarán con los electrones exteriores u orbitales de los átomos del material atravesado y éstos serán dispersados en todas direcciones con energías variables en función del ángulo de dispersión.

Experimentalmente se ha comprobado que las longitudes de onda de los fotones dispersados siguen la Ley:

$$\lambda = \lambda_0 + 0.024 (1 - \cos \theta)$$

siendo: 
$$\lambda_0 = \frac{c}{\nu_0}$$

la longitud de onda de los fotones del haz.

Este fenómeno fue estudiado por H. Compton, quien demostró que el fenómeno puede ser tratado con éxito aplicando a los fotones y electrones las leyes del choque elástico, deduciéndose así la fórmula anterior. Compton supone que el fotón y el electrón no son sino partículas susceptibles a las leyes del choque elástico, en el cual se conserva la energía y el momento.

### c) Formación de pares.

Este proceso tiene lugar únicamente en el campo creado por una partícula cargada eléctricamente, es decir, en el campo creado por el núcleo de un átomo, o en el de menor intensidad creado por uno de los electrones del átomo. Entonces, cuando un fotón pasa cerca del núcleo de un átomo, puede desaparecer y crearse un positrón y un negatrón, respectivamente.

Cuando la energía del fotón incidente es elevada y desde luego mayor a 1.02 MeV., de los tres procesos mencionados, éste es el que tiene mayor probabilidad de ocurrencia.

Así pues, es solo en el efecto Compton en donde el fotón no es absorbido. Algunas de las partículas  $\beta$  positivas y negativas formadas en este último proceso se vuelven a unir produciendo, como consecuencia, una radiación gamma secundaria pero, como ésta es de poca intensidad y es emitida sin dirección preferente (Isotrópica), los fotones del haz original pueden considerarse que desaparecen del mismo totalmente cuando intervienen en este proceso.

### 11.2. Emisiones radiactivas.

Existen núcleos estables en una región estrecha que se denomina región de estabilidad. Así pues, los núcleos inestables, ligeramente retirados de esta región de estabilidad, se desintegrarán de tal manera que los núcleos recién formados estén más cerca o en la región de estabilidad misma. La desintegración espontánea no es la única forma de obtener reacciones nucleares, sino que también éstas pueden ser inducidas por bombardeo a los átomos con partículas aceleradas a alta velocidad, obteniendo así nuevos tipos de emisiones nucleares.

A continuación se mencionan las características esenciales de los tipos más comunes de emisiones radiactivas:

a) Radiación alfa ( $\alpha$ )

Es un tipo de radiación muy poco penetrante; una sola hoja de papel es suficiente para detener y absorber casi completamente este tipo de radiación. Posee carga eléctrica positiva y está constituida por núcleos de helio. Su velocidad de propagación (15000-20000 Km/s) es inferior a la radiación  $\beta$ ,  $\gamma$ . Presenta una unidad de carga de  $2+$  y su masa en u.m.a. es de 4.

b) Radiación beta ( $\beta^-$ )

Esta radiación está constituida por electrones (o sea, posee carga eléctrica negativa); su velocidad es cercana a la de la luz y su poder de penetración es variable. Tiene la facultad de ionizar átomos, es decir, alterar su carga eléctrica. La radiación  $\beta^-$  al igual que la  $\alpha$  ioniza átomos debido a las colisiones que se producen cuando la radiación atraviesa la materia, arrancando electrones orbitales. La radiación  $\beta^-$  es mucho más penetrante que la  $\alpha$ . Presenta una unidad de carga de  $1-$  y su masa en u.m.a. es de 0.00055.

c) Radiación gamma ( $\gamma$ )

La radiación electromagnética es mucho más penetrante que la  $\beta^-$ . En cualquiera de los procesos para generar reacciones nucleares, puede ocurrir que el radionúclido quede con mayor energía de la que corresponde en su estado estable. Entonces se dice que el radionúclido se encuentra en estado excitado y este exceso de energía provoca la emisión de radiación gamma, que es radiación electromagnética similar a los rayos X pero de longitud de onda mucho menor y por lo tanto, mayor energía. Tanto los rayos gamma como los rayos X presentan energías bien definidas.

#### d) Captura electrónica

En la captura K ó captura electrónica, un protón del núcleo se combina con un electrón extranuclear, transformándose en un neutrón y emitiendo un neutrino. El electrón con que se combina el protón es generalmente de la capa K. El electrón capturado es reemplazado por algún electrón de una capa superior, emitiéndose radiación electromagnética. En éste proceso, el núcleo reduce su carga en una unidad y la masa permanece igual.

#### e) Desintegración beta ( $\beta^+$ )

En este tipo de desintegración un protón del núcleo se transforma en un neutrón, un positrón y un antineutrino. El neutrón permanece en el núcleo y el positrón y el antineutrino son expulsados. El radionúclido reduce su número atómico una unidad permaneciendo su masa sensiblemente igual.

#### f) Neutrones

Son partículas sin carga y con una masa de 1 u.m.a., por lo tanto, los núcleos que pierden un neutrón no cambian su número atómico, pero su masa de crece en una unidad.

### 11.3. Campo de radiación.

La manera más común para describir un campo de radiación es contar el número de rayos ó partículas por unidad de área y por unidad de tiempo en cada punto.

Podemos hacer uso de dos caminos significativos para realizar lo anteriormente dicho.

Si consideramos primero el caso de un campo monodireccional pasando cerca de un punto P, el objetivo es contar el número de partículas por unidad de

área y tiempo que pasan en la vecindad de P, de tal manera que el campo sea prácticamente uniforme en toda la región.

Si una pequeña área circular es centrada en P con una orientación fija, serán interceptados un número de rayos por unidad de tiempo, lo cual será proporcional al valor absoluto del coseno del ángulo entre la dirección de los rayos y la dirección perpendicular del plano.

Así, el número de partículas que atraviesan, por unidad de área del plano por unidad de tiempo, es definido como la densidad de flujo de partículas.

Si consideramos, ahora, el caso de un campo multidireccional, podemos ver que el plano fijo no puede ser atravesado por todos los rayos, sin embargo, si se permite que el plano gire libremente, su periferia circular barrerá una superficie esférica, y aquellos rayos que inciden perpendicularmente en el plano circular también incidirán en la esfera.

Podemos deducir entonces una ruta general para definir la densidad de flujo de partículas.

La densidad de flujo de partículas ó rayos,  $\Psi$ , se define como la relación del número de partículas ( $\Delta N$ ) que penetran en la esfera entre el tiempo ( $\Delta t$ ) y área del círculo ( $\Delta A$ ) entonces:

$$\Psi = \frac{\Delta N}{\Delta A \Delta t}$$

Con ésta definición, aplicable a la dosimetría, podemos conocer los efectos producidos por la radiación en un punto, sin importar hacia donde se dirija la dirección de la radiación.

Si, prioritariamente, el intervalo de tiempo queda definido, la expresión anterior se reduce a:

$$\Phi = \frac{\Delta N}{\Delta A}$$

tal expresión se conoce como fluencia ó flujo de partículas.

Ahora, si midiéramos las energías totales ( $\Delta E_f$ ) en lugar del número de partículas ó rayos que penetran en la esfera por unidad de área y tiempo, tenemos entonces a la intensidad ó densidad de flujo de energía ( I ):

$$I = \frac{\Delta E_f}{\Delta A \Delta t}$$

Si consideramos ahora que el intervalo de tiempo está bien definido, la expresión anterior nos queda de la siguiente forma:

$$I = \frac{\Delta E_f}{\Delta A}$$

donde I es la relación que existe entre las energías totales ( $\Delta E_f$ ) y el área ( $\Delta A$ ), relación conocida como flujo de energía.

En general, se incluyen solo las energías cinéticas para éste tipo de expresiones.

#### II.4. Efectos biológicos de la radiación.

En general, todo tipo de radiación nuclear es nociva para los seres vivos si es que ésta es suministrada en dosis de exposición lo suficientemente elevadas; los efectos que se producen en todo ser vivo son consecuencia de la destrucción que produce la radiación en cada una de las células que componen el organismo en cuestión.

Sin embargo, así como en grandes dosis produce cambios fisiológicos anormales irreversibles, en dosis bajas la radiación ionizante es capaz de promover la salud a través de los rayos X ó los rayos gamma.

La célula viva, al recibir la incidencia de una radiación, puede ser dañada mediante dos procesos: a) ionización de las moléculas de las sustancias que componen las células produciendo radicales libres y b) impacto directo sobre una parte vital. La mayor parte de estos procesos suceden en el citoplasma, ya que ocupa el mayor porcentaje en materia de la célula pero, el núcleo también puede ser dañado, ocasionando alteraciones en los genes (mutaciones) ó inhibiciones por completo en la reproducción.

Por otro lado, la utilidad que brindan los radioisótopos depende del tipo de radiación que emiten y la energía de ésta así, los radioisótopos se han aplicado principalmente como fuentes intensas de energía y como trazadores. Ejemplos de sus aplicaciones como fuentes de energía los encontramos en la esterilización de material de polietileno que no puede ser esterilizado con calor y en la obtención de radiografías industriales. En sus aplicaciones como trazadores esta el extenso campo de la medicina nuclear, donde una de las más conocidas es la utilización de la radiación que emite el  $\text{Co}^{60}$  para destruir tumores cancerosos (radioterapia). Los isótopos estables de un elemento son idénticos a los radioisótopos del mismo, por lo que, químicamente es imposible diferenciar un átomo radiactivo de otro que no lo es. Debido a esto se les ha encontrado múltiples aplicaciones también en la industria, en la agricultura y en varios campos de la investigación científica. Estas aplicaciones se basan en la posibilidad de detectar fácilmente la radiación emitida por una cantidad muy pequeña de un isótopo radiactivo, el cual es arrastrado por el isótopo inerte del mismo elemento, permitiendo fijar así la trayectoria del radioisótopo en determinado proceso químico, físico o biológico.

Por ejemplo, una molécula de hemoglobina marcada con un átomo de hierro radiactivo sigue siendo hemoglobina y los procesos orgánicos lo afectan de la misma manera que a otra no radiactiva y se puede seguir su comportamiento en el organismo, cualquiera que sea su recorrido, por medio de un detector de radiactividad.

Un segundo ejemplo es el estudio de la acción de los fertilizantes en las plantas con la ayuda del  $\text{P}^{32}$  radiactivo, el cual permite identificar la parte de la planta que aprovecha este elemento.

Finalmente, podemos añadir que la radiación ionizante tiene una extensa aplicación en la preservación de alimentos por efecto de la disminución de bacterias presentes en éstos.

## II.5. Aspectos físicos de la absorción de la radiación.

### II.5.1. Dosis absorbida.

La energía impartida a la materia debida a la radiación ionizante por unidad de masa de materia se denomina dosis absorbida.

Consideremos un pequeño volumen centrado en un punto en el cual se desea conocer la dosis absorbida, el cual, presenta una masa ( $\Delta m$ ) y una suma de las energías de todas las radiaciones ionizantes que recibe este volumen durante algún intervalo de tiempo ( $\Delta E$ ); si ( $\Delta E_e$ ) es la suma de las energías que se desvían y ( $\Delta E_i$ ) es la energía equivalente en algún incremento en el resto de masa que tiene lugar en interacciones de partículas nucleares dentro del volumen, entonces, la energía impartida a la materia se define con la siguiente igualdad:

$$\Delta E_{\Delta} = \Delta E_e + \Delta E_i + \Delta E_r$$

En dosimetría, el objetivo principal es determinar precisamente la magnitud de la dosis absorbida  $D$ , en los puntos de interés de un medio absorbente dado, de ésta manera, la dosis absorbida se define como:

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

### II.5.2. Sección eficaz.

La sección eficaz se refiere al área perpendicular a la dirección de la radiación que tiene que atribuirse a un núcleo ó a un átomo para detectar geométricamente la interacción producida. Es decir, la relación del número de dichas interacciones por unidad de tiempo y el flujo de radiación por el número de núcleos ó átomos presentes.

Otro tipo de sección eficaz de activación,  $\sigma$ , hace referencia a la formación de un radionúclido específico. Para calcular esta sección eficaz



podemos utilizar, ya sea el número total de núcleos del elemento ó especie que se irradia ó el del isótopo que forma dicho núclido. La unidad que se emplea para caracterizarla es el barn (1 barn es igual a  $10^{-24}$  cm<sup>2</sup>).

### 11.5.3. Espesor medio y coeficiente de absorción lineal.

Al espesor de materia necesario para absorber la mitad de los rayos incidentes se le conoce como espesor medio ( $X_{1/2}$ ). El coeficiente de absorción lineal es una función de la energía de la radiación y de la densidad del medio absorbente.

Si llamamos  $I_0$  a la intensidad inicial de un determinado flujo de rayos, medida en términos de cuentas por unidad de tiempo en un sistema de detección;  $x$ , al espesor de un determinado tipo de material colocado entre la fuente radiactiva y el detector y finalmente llamamos  $\mu$  al coeficiente de absorción lineal de dicho material, tenemos que la intensidad  $I$  de los rayos, después de atravesar el material, esta dada por:

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad \text{ó también:}$$

$$\ln I = -\mu x + \ln I_0 \quad \text{entonces;}$$

$$\ln I - \ln I_0 = -\mu x \quad \therefore \quad \mu = \frac{\ln I_0/I}{x}$$

Quando  $I = I_0/2$ , la relación entre el espesor medio y el coeficiente de absorción lineal será equivalente a la relación entre  $\ln 2$  y  $\mu$  :

$$X_{1/2} = \frac{0.693}{\mu}$$

Si las unidades del espesor del material absorbente las expresamos en unidades de espesor másico ( $\text{g/cm}^2$ ), entonces, las unidades del coeficiente

de absorción lineal (ahora llamado coeficiente de absorción másico) están dadas por la siguiente expresión:

$$\mu' = \frac{\mu}{\rho}$$

donde:  $\mu$  = absorción lineal ( $\text{cm}^{-1}$ )  
 $\mu'$  = absorción másica ( $\text{cm}^2/\text{g}$ )  
 $\rho$  = densidad ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

Es necesario tener siempre presente que el objetivo básico es el estudio de un rayo de un solo tipo de energía de radiación que incide perpendicularmente en cierto espesor.

## C A P I T U L O   I I I

### GENERALIDADES

#### III.1. Dosimetría de radiaciones.

El término de dosimetría de radiaciones puede interpretarse como la medida de la radiación utilizando un dosímetro.

Aún cuando la medida de la dosis que la materia ha absorbido al ser expuesta a una radiación ionizante es el objetivo principal en dosimetría, ésta es también comunmente aplicada a otros tipos de medida como pueden ser:

a) medida de alguna función del número y energía de moléculas ó partículas incidentes en un punto dado.

b) medida del número de partículas ó de sus energías incidentes en un punto dado.

c) medida de la energía liberada por partículas indirectamente ionizantes por unidad de masa con algún material de referencia etc.

Es importante hacer notar que, generalmente, resulta indistinto decir "dosis" que "dosis absorbida", la cual quedó definida como la energía impartida a la materia por algún tipo de radiación ionizante por unidad de masa del material.

#### III.2. Términos y conceptos básicos empleados en dosimetría.

##### a) Química de radiaciones.

La química de radiaciones se ocupa del estudio de los cambios químicos producidos por el paso de las radiaciones ionizantes a través de la materia.

##### b) Radiación ionizante.

La radiación ionizante puede ser cualquier tipo de radiación compuesta de

partículas directa ó indirectamente ionizantes ó de una mezcla de las dos.

c) Partículas directamente ionizantes.

Cualquier tipo de partícula cargada (partícula  $\alpha$ , electrones, protones, etc.) que tenga la suficiente energía como para producir una ionización por colisión se dice que es una partícula directamente ionizante.

d) Partículas indirectamente ionizantes.

Se refiere a cualquier tipo de partícula no cargada que puede liberar directamente partículas ionizantes ó pueden ser iniciadoras de una transformación nuclear.

e) Dosis absorbida. D.

Como este concepto se ha tratado anteriormente (capítulo II), ahora solo complementaremos la información agregando que la unidad usual y tradicional empleada para indicar la magnitud de una determinada dosis absorbida es el rad:

$$1 \text{ rad} = 100 \text{ erg/g} = 1/100 \text{ Joule/Kg}$$

sin embargo, esta unidad ha sido ya desplazada por la unidad del Sistema Internacional (S.I.), el gray:

$$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad} = 1 \text{ Joule/Kg}$$

f) Razón ó intensidad de dosis absorbida.  $\dot{D}$ .

Es la relación de  $\Delta D$  y  $\Delta t$  dada por la siguiente expresión:

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

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

( $\Delta x$ ) es el incremento de la exposición en el tiempo ( $\Delta t$ ).

j) Electrón volt. eV.

Es la cantidad de energía que adquiere un electrón cuando es acelerado a través de una diferencia de potencial de 1 volt.

k) Rendimiento radioquímico. G.

Se refiere al número de moléculas particulares (iones, radicales libres, etc.) transformados ó formados por cada 100 eV. de energía absorbida por la radiación.

El valor "G" ó rendimiento radioquímico es provocado por las radiaciones y es una medida cuantitativa de las reacciones químicas que se llevan a cabo bajo el efecto de las radiaciones ionizantes. La expresión que muestra el rendimiento radioquímico es la siguiente:

$$G = \frac{N}{100 \text{ eV}}$$

donde: N = número de moléculas, iones, etc., transformados en un volumen dado.

100 eV = energía absorbida por ese volumen.

l) Actividad.

La actividad está expresada como el cociente de ( $\Delta N$ ) en ( $\Delta t$ ):

$$A = \frac{\Delta N}{\Delta t}$$

( $\Delta N$ ) es el número de transformaciones nucleares que ocurren en el tiempo

( $\Delta t$ ), referido a una cantidad de un radionúclido. La unidad empleada para expresar la actividad es el Curie (Ci), sin embargo, ésta unidad ha sido ya desplazada por la unidad del Sistema Internacional (S.I.), el Becquerel (Bq):

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ d seg}^{-1} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq.}$$

$$1 \text{ Bq} = 2.7027 \times 10^{-11} \text{ Ci.}$$

### III.2.1. Teoría de la desintegración radiactiva.

El hecho de que los elementos radiactivos emitan partículas  $\alpha$ , indica que la parte afectada por la emisión debe ser el núcleo. Para explicar esta radiación nuclear, Rutherford y Soddy postularon en 1903 su teoría de la desintegración radiactiva. Así, un átomo inestable puede desintegrarse en cualquier momento y es imposible predecir cuando lo hará, sin embargo, si se tiene un número considerable de átomos de la misma especie, es posible predecir, estadísticamente, el porcentaje de átomos que se desintegrará en un intervalo de tiempo dado.

Si definimos a  $\lambda$  como la probabilidad que tiene un átomo de desintegrarse en la unidad de tiempo, entonces  $\lambda dt$  será la probabilidad que tiene ese mismo átomo de desintegrarse en el tiempo  $dt$ . Si existen  $N$  átomos que pueden desintegrarse en una muestra dada,  $\lambda N dt$  será el número de átomos que se desintegran en el tiempo  $dt$ . o sea:

$$dN = - \lambda N dt$$

el signo negativo indica que  $N$  decrece con el tiempo.

Reordenando la ecuación anterior e integrando tenemos:

$$N_0 \int \frac{dN}{N} = -\lambda \int_0^t dt \quad ; \quad \ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t$$

$$\ln N - \ln N_0 = -\lambda t \quad \frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t}$$

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t \quad ; \quad N = N_0 e^{-\lambda t}$$

No es el número de átomos que se tenían inicialmente en un momento cualquiera y N es el número de átomos que aún no se han desintegrado en el tiempo t.

La constante  $\lambda$  es característica de cada especie nuclear y se le conoce con el nombre de constante de decaimiento radiactivo.

Vida media radiactiva:

La vida media es el tiempo necesario para que un elemento radiactivo se desintegre a la mitad de su actividad inicial. Como la actividad ( $\lambda N$ ) es proporcional al número de átomos presentes en la muestra que aún no ha decaído, entonces, el tiempo  $t_{1/2}$  al cual  $N = 1/2 N_0$ , viene dado, de acuerdo con la ley de la desintegración, por la siguiente expresión:

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda t_{1/2}} \quad t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda}$$

Vida promedio.

Se refiere al tiempo que tarda un átomo en desintegrarse. Si en un primer intervalo de tiempo,  $0-t_1$ , se desintegran  $dN_1$  átomos, en un segundo intervalo de tiempo,  $0-t_2$ , se desintegrarán  $dN_2$  átomos, y así, sucesivamente, entonces, la vida promedio  $\bar{\tau}$  viene dada por:

$$T = \frac{t_1 dN_1 + t_2 dN_2 + \dots + t_n dN_n}{dN_1 + dN_2 + \dots + dN_n}$$

que en su forma integral viene dada por la ecuación:

$$T = \frac{\int_0^{N_0} t \, dN}{\int_0^{N_0} dN} = \frac{\int_0^{N_0} t \, dN}{N_0}$$

así, a partir de la teoría de la desintegración, tenemos:

$$\frac{\int_0^{N_0} \lambda t N e^{-\lambda t} dt}{N_0} = \int_0^{\infty} \lambda t e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda}$$

### III.3. Detección de la radiación.

Como las partículas atómicas y subatómicas no pueden verse y como la energía radiante de longitud de onda corta (rayos gamma) no es detectable por el ojo humano, se han desarrollado varios métodos indirectos para detectar las emisiones de sustancias radiactivas.

Todos estos métodos están basados en el hecho de que, cuando las emisiones perturban a ciertos átomos sobre los que son lanzadas, los electrones se ven desplazados a niveles energéticos más elevados o bien expulsados por completo fuera de los átomos.

#### a) Métodos fotográficos.

Para la detección de la radiactividad se han utilizado con gran profusión tanto el papel como la película fotográficos. Las emisiones actúan sobre las emulsiones fotográficas de una manera parecida a como las impresiones la luz visible ordinaria. Después de la exposición, el papel o película se revelan del mismo modo. El empleo de película fotográfica que se sujeta



ta sobre la ropa es el modo más común de controlar la exposición del personal que está trabajando con materiales radiactivos.

b) Métodos de fluorescencia.

Muchas sustancias son capaces de recibir energía radiante de longitud de onda corta (rayos X, rayos gamma, etc.) ó de absorber energía cinética procedente de partículas rápidas (partículas  $\alpha$ ,  $\beta$ , etc.) y transformarlas en energía radiante de una longitud de onda que esta en el intervalo detectable por el ojo humano. Las sustancias que transforman estas energías en luz visible se dice que son fluorescentes. Un ejemplo común de fluorescencia lo proporciona la pintura luminosa empleada en los relojes; esta pintura se compone normalmente de una parte de sulfato de radio,  $\text{RaSO}_4$ , en 100,000 partes de sulfuro de cinc,  $\text{ZnS}$ .

Las emisiones invisibles de los átomos de radio radiactivo chocan contra las moléculas de sulfuro de cinc, con el resultado de que parte de la energía se transforma en energía radiante visible.

c) Cámara de niebla.

Un aparato perfeccionado en 1911 por C.T.R. Wilson, físico inglés, hizo posible ver la trayectoria seguida por una radiación ionizante aislada durante su recorrido en el seno de un gas. Wilson preparó nubes artificiales en el laboratorio, saturando primero con vapor de agua cierto volumen de aire y haciendo luego que el aire húmedo se enfriara por sí mismo al expandirlo con rapidez. Si el enfriamiento es suficiente, se formará una nube; si el enfriamiento es un poco menor, el aire solo quedará sobresaturado de humedad. Pueden utilizarse para sobresaturar el aire con vapor, otras sustancias diferentes al agua, como por ejemplo, el alcohol. Wilson observó que cuando se colocaba una sustancia radiactiva en

el aire sobresaturado de la cámara de niebla, emanaban del material radiactivo líneas delgadas formadas por la niebla.

d) Contador Geiger.

Un contador Geiger funciona del modo siguiente:

- 1) la cubierta metálica se hace de tal forma que una parte del tubo Geiger pueda exponerse a la radiación.
- 2) se aplica un elevado potencial entre un conductor interior y la pared del tubo Geiger.
- 3) el rayo ó partícula emitidos atraviesa la ventana y produce la ionización de algunas moléculas gaseosas del interior del tubo. Los iones así formados conducen un pulso de corriente entre el conductor y el tubo y esta corriente hace que un indicador luminoso lance un destello ó que un indicador sonoro produzca una señal.

La velocidad de conteo está limitada a unos 15000 conteos por minuto debido a un prolongado tiempo muerto de 200 a 270 seg y a la gran disminución de la velocidad de conteo real que se verifica al aproximarse a la velocidad de conteo máxima.

e) Contadores proporcionales.

Cuando la intensidad del campo eléctrico en el electrodo central de una cámara de ionización se aumenta por arriba de su nivel de saturación, pero por debajo de la región Geiger, el tamaño del impulso de salida de la cámara empieza a aumentar, pero todavía es proporcional a la ionización inicial. Un aparato que opera de ésta manera recibe el nombre de contador proporcional.

La formación de impulsos es idéntica a la descrita para los contadores Geiger, pero la ampliación del gas es aproximadamente 1000 veces menor. Por

consiguiente, se necesita un preamplificador ( $\times 10$ ) que se monta junto con el detector para evitar la reducción del tamaño de los impulsos por la capacidad de los cables de conexión.

La muestra puede estar colocada fuera del contador ó dentro de un contador con ventanas, con lo que se evitan las pérdidas causadas por la absorción en las ventanas.

Con este tipo de contador, la cámara se purga con un flujo rápido del gas del contador que por lo general es de 10% de metano en argón y durante el conteo se mantiene un flujo gaseoso uniforme.

#### f) Contadores de centelleo.

Los centelleadores son sustancias químicas que transforman la energía radiactiva en luz. Cuando una partícula ionizante se absorbe en un centelleador transparente, la energía adquirida por el material se emite como un impulso de luz visible ó del ultravioleta cercano. La luz es observada en un tubo fotomultiplicador.

A la combinación de centelleador y tubo fotomultiplicador se le conoce como contador de centelleo.

El tiempo de desintegración de los centelleadores es muy corto: 250 nseg para cristales de yoduro de sodio, 20 nseg para el antraceno y 10 nseg para los sistemas orgánicos líquidos. La señal de un contador de centelleo es proporcional a la energía disipada por la radiación en el centelleador.

#### g) Detectores semiconductores.

Los detectores a base de semiconductores han revolucionado la espectroscopía de rayos gamma proporcionando una resolución de energía inalcanzable con los demás métodos.

En estos detectores, los portadores de carga producidos por la radiación ionizante son pares electrón-hoyo y no pares iónicos. La radiación ionizante eleva a los electrones a la banda de conducción y estos electrones se desplazan hacia el electrodo positivo con movilidades muy altas. La resolución de energías de los detectores semiconductores es intrínsecamente buena debido al alto número de pares electrón-hoyo que se forman, en comparación con los que se forman en una cámara de ionización.

#### III.4. Gufa para la dosimetría.

Demostrar conocimientos y habilidad en cualquier proceso dosimétrico es muy importante para asegurar resultados satisfactorios en dosimetría de radiaciones.

Como una gufa general para la dosimetría consideraremos los siguientes aspectos:

- a) medición de la dosis absorbida por el material absorbente en la forma más exacta y precisa posible.
- b) interpretación correcta del significado de las medidas por medio de técnicas de calibración y factores apropiados de corrección que permitan convertir la dosis en el material a un sistema de rutina en la dosis absorbida en el producto.
- c) determinación correcta de la distribución de dosis en el objeto deseado.
- d) tener libre acceso a dosímetros de referencia precisos para calibrar la respuesta en los dosímetros de rutina.
- e) guiarse por criterios de selección señalados en dosimetría con anticipación para en orden, controlar precisa, relevante y eficientemente la dosimetría ó el monitoreo.

- f) tener control de un registro preciso de dosimetría y hacer uso de listas de comprobación en todos los pasos del proceso.

Una relación para la comprobación de la dosimetría en procesos industriales ó de investigación debe contemplar:

- a) razón de flujo del producto y parámetros de control del proceso, tiempo de detención, velocidad del transportador, número de pasos y toda información que provenga del irradiador.
- b) parámetros y magnitud de la fuente (rayos gamma), eficiencia de conversión (rayos X), poder efectivo del haz (electrones).
- c) dimensiones y características del producto.
- d) tamaño, forma y dirección del haz.
- e) espectro incidente aproximado.
- f) información sobre el perfil de distribución de dosis a través del producto.
- g) dosímetros calibrados, incluyendo dosímetros monitores de rutina y sistemas de pruebas químicas y biológicas.
- h) máxima y mínima dosis requerida.
- i) frecuencia de muestreo (Indicadores biológicos, monitores, pruebas químicas, etc.)
- j) condiciones ambientales (humedad, temperatura, etc.).
- k) procedimientos de seguridad.
- l) requerimientos estadísticos (límites de precisión, etc.).

### III.5. Criterios de selección de un sistema dosimétrico.

Es importante tomar en cuenta las siguientes consideraciones para asegurar una buena dosimetría durante el proceso de selección de un sistema dosimétrico para uso en procesos de irradiación.

Es importante también hacer la advertencia de que no existe un dosímetro tal que satisfaga todas y cada una de las siguientes consideraciones, es decir, el "dosímetro perfecto".

En otras palabras, no puede emplearse ningún dosímetro para medir niveles de dosis desde radiación ambiental hasta los de fuentes de alta actividad (Ci) ó de potencia (KW).

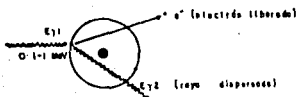
Así, un sistema dosimétrico debe de reunir determinadas características.

A continuación, una lista de algunas de ellas:

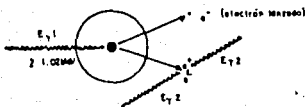
- a) respuesta lineal con la dosis.
- b) respuesta lineal e independiente de la razón de dosis.
- c) respuesta independiente de la energía y LET de la radiación.
- d) independiente de las condiciones de irradiación.
- e) cumplir límites amplios de irradiación ( $10 - 10^8$  rad. ó mayores).
- f) estabilidad química antes y después de la irradiación.
- g) susceptibilidad de una medida precisa con técnicas e instrumentos adecuados.
- h) reproducibilidad en  $\pm 2\%$  y más generalmente,  $\pm 5\%$ .
- i) economía y facilidad en su elaboración.
- j) sencillez y seguridad en su manipulación.
- k) inactividad permanente.
- l) utilizable para todo tipo de radiación, sola ó mezclada.
- m) preparación a base de materia prima accesible y económica.
- n) inestabilidad ante impurezas e independiente a pequeños cambios en la composición del dosímetro, por ejemplo, precipitaciones, formación de gases, etc.



Efecto fotoeléctrico

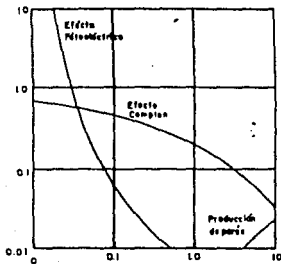


Efecto Compton.



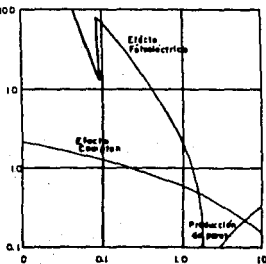
Producción de pares.

Log. del Coeficiente  
de absorción



Log.  $E$  (MeV).

Log. del Coeficiente  
de absorción  
( $\text{cm}^{-1}$ )



Log.  $E$  (MeV).



## C A P I T U L O    I V

### M E T O D O S    D O S I M E T R I C O S

#### IV.1. Dosímetros primarios ó absolutos y

dosímetros secundarios ó relativos.

Los métodos dosimétricos ó sistemas dosimétricos los podemos clasificar comunmente como: métodos primarios ó absolutos, si se trata de una determinación directa y métodos secundarios ó relativos si se trata de una determinación indirecta de la medida de la magnitud de la dosis absorbida por un material determinado.

Los métodos primarios registran lecturas en base a la medida de alguna cantidad física, por ejemplo, la temperatura, la presión, etc. Algunos de los dosímetros primarios utilizados comunmente son: calorímetros, cámaras de ionización, etc. Los métodos secundarios presentan una respuesta a la radiación absorbida por comparación con los métodos primarios.

Como dosímetros secundarios podemos nombrar a las soluciones acuosas (dosímetros químicos), cristales, plásticos, colorantes, emulsiones fotográficas, etc.

Una clasificación menos rigurosa que la anterior es la de considerar a la dosimetría dividida en: dosimetría de referencia y dosimetría de rutina.

Los dosímetros de referencia se definen como sistemas estándar cuya lectura puede medir el producto químico debido a la radiación en soluciones estándar fácilmente disponibles y reproducibles en cualquier tiempo y lugar (además de estar basados en cantidades físicas básicas).

Los dosímetros de rutina presentan las características de fácil manipulación y respuestas también fácilmente medibles y es precisamente por éstas

características que son más comúnmente empleados que los dosímetros de referencia.

Los dosímetros de rutina deben, por tanto, ser previamente calibrados contra un dosímetro de referencia y aún cuando no se pueda contar con una precisión de respuesta a la radiación tan confiable como en el dosímetro de referencia, se cuenta con un dosímetro químico confiable, práctico y versátil de uso continuo.

#### IV.2. Dosímetros de referencia.

##### a) Cámara de ionización.

En la cámara de ionización se emplea un campo eléctrico entre dos electrodos encerrados en un volumen de gas-aire para partículas  $\alpha$  y de kriptón ó xenón a presión para la radiación gamma. El potencial entre los electrodos se ajusta para reducir al mínimo la recombinación de los pares iónicos sin causar una amplificación del gas.

Una cámara de ionización es un detector preciso y de acción rápida aún para radiaciones débiles.

La muestra se coloca en el exterior de la ventana ó se inserta en una cavidad que penetra en el volumen de la cámara. Las cámaras iónicas de impulsos producen un impulso electrónico por cada ionización y dicho impulso es proporcional al número de electrones liberados por la radiación ionizante. Las cámaras iónicas de corriente integran la ionización y producen una corriente directa (C.D.).

En general, la medición por ionización se fundamenta en la interacción de los diferentes tipos de la radiación con la materia.

Las cámaras de ionización se clasifican en planas ó cilíndricas de acuerdo a la forma de sus electrodos.

Pueden también clasificarse de acuerdo a la forma de operar: cámaras de corriente continua y cámaras de impulsos. Las primeras miden la intensidad media de corriente que atraviesa la cámara, que es proporcional a la intensidad de radiación que recibe. En las cámaras de impulsos se procura detectar por separado los impulsos eléctricos individuales a que da lugar cada conjunto de iones creados por cada partícula ionizante que atraviesa el volumen de la cámara.

b) Calorímetros.

La medida del calor.

Por lo regular se miden las cantidades de calor mediante un calorímetro, que en su forma más sencilla consiste en una vasija, que se aísla lo mejor posible con objeto de evitar pérdidas ó ganancias de calor, la cual contiene un líquido calorimétrico, generalmente agua.

Los métodos calorimétricos se basan principalmente en la medición del incremento de temperatura de un material expuesto en un campo de radiación. La cantidad de energía absorbida depende de las propiedades del campo y de las propiedades del material. Las cantidades de calor relacionadas en estas interacciones proporcionan información de la energía depositada en el material absorbente, así como también del campo de radiación.

La magnitud del incremento de la temperatura está directamente relacionada con la densidad del flujo de energía ó la intensidad del campo de radiación.

La cantidad de calor generada en el material es demasiado pequeña, por lo que el método calorimétrico no es adecuado para uso rutinario, sin embargo, la calorimetría es un método importante de comparación con otros métodos relativos ó secundarios.

Los calorímetros pueden dividirse en dos categorías:

- a) calorímetros de absorción total de energía, diseñados para absorber toda la energía emitida por la fuente de radiación.
- b) dosímetros calorimétricos, realizados para medir la energía de radiación absorbida por una muestra de tamaño y composición conocida.

Un calorímetro utilizado en dosimetría puede definirse como un dispositivo para medir la energía radiante depositada en el objeto de interés, asumiendo que el valor íntegro de esta energía es convertida en calor.

Un calorímetro consiste fundamentalmente de tres partes:

cuerpo absorbente, medio circundante y camisa.

Como el calor ocurre en el cuerpo absorbente, es mejor denominar a esta parte del sistema como cuerpo térmicamente activo (T.A.B. - thermally active body -).

El medio circundante funciona como medio de transferencia de calor entre el cuerpo y la camisa, que es la parte del sistema que intercambia energía calorífica directamente con el cuerpo absorbente por transferencia de calor a través del medio circundante.

A estos constituyentes del calorímetro va asociado el siguiente equipo:

- equipo para la medición de la temperatura.
- equipo de control de la temperatura.
- equipo de calibración.

La clasificación de los calorímetros está basada en la forma del intercambio de calor entre el cuerpo y la camisa. Conforme a esto, pueden distinguirse los siguientes métodos calorimétricos:

- a) Calorimetría isotérmica.

En este sistema, la temperatura del T.A.B. permanece constante durante la determinación de la dosis. La cantidad que se mide es el cambio de fase

(sólido a líquido y líquido a gas), inducido por el calor desprendido en el cuerpo. La temperatura a la cual se trabaja es usualmente la temperatura de fusión ó de ebullición del material con que está hecho el cuerpo.

b) Calorimetría adiabática.

El intercambio de calor entre el cuerpo y la camisa es llevado a un mínimo. Esto se logra regulando cuidadosamente la temperatura de la camisa. La razón de temperatura se presenta constante en tanto la capacidad calorífica del cuerpo permanece constante y para una razón constante de energía depositada, lo cual no siempre permite tener condiciones totalmente adiabáticas.

Así, un cierto número de calorímetros se diseña para trabajar bajo condiciones casi adiabáticas.

c) Calorimetría de flujo de calor.

En este caso, la razón de cambio de temperatura no es constante, pero la razón de energía depositada sí lo es.

El intercambio de calor entre el cuerpo y la camisa sí se lleva a cabo.

La razón de temperatura decrece con el tiempo y llega a cero en el equilibrio.

Este intercambio ó flujo de calor está experimentalmente controlado por la elección de un medio de transferencia de calor apropiado.

La diferencia de temperatura entre el cuerpo y la camisa en el equilibrio, es directamente proporcional a la razón de energía depositada, o sea, la razón de dosis absorbida.

d) Calorimetría diferencial.

Se considera del tipo de flujo de calor. Así, en lugar de un cuerpo simple,

Estos calorímetros constan de dos ó más y uno de ellos funciona como referencia, los demás son T.A.B. en sentido convencional. Todos los cuerpos deben colocarse en el mismo medio circundante y deben recibir la misma cantidad de energía en un campo de radiación homogéneo.

En éste sistema es posible eliminar la mayoría de los efectos colaterales de influencia en la temperatura de la camisa.

La medición diferencial puede efectuarse de dos maneras:

- 1) análisis térmico diferencial (A.T.D.), que mide la diferencia de temperatura entre el cuerpo activo y el de referencia, ó la diferencia entre cada uno de los cuerpos y la camisa.
- 2) análisis potencial diferencial (A.P.D.), donde se calienta el cuerpo de referencia con una energía de entrada conocida, de manera que su temperatura iguale la temperatura del cuerpo activo. De la razón eléctrica, calibrada del cuerpo de referencia, se calcula la razón de energía de radiación de entrada.

Los métodos diferenciales son de mucha utilidad en la calibración de dosímetros químicos, particularmente para sistemas líquidos, donde es necesario distinguir entre la energía absorbida por la muestra y la energía por el contenedor, por ejemplo, una ampollita.

#### Equipo asociado a los calorímetros.

##### - Medición de la temperatura.

Como es necesario detectar la temperatura fuera del campo de radiación, se hace uso de dos tipos de detectores de temperatura: a) termopares y b) termómetros de resistencia. Ambos son adecuados para calorimetría y su selección depende de las condiciones establecidas para trabajar.

- a) termopares: es la unión de dos metales distintos a temperaturas diferentes, lo cual produce una fuerza electromotriz (fem), proporcional a la diferencia de temperaturas.

Una de las juntas se mantiene a una temperatura constante conocida, entonces, la fem puede leerse bajo apropiada calibración para ser convertida a grados centígrados.

- b) termómetros de resistencia: éstos termómetros tienen su fundamento en el cambio de resistencia de un cuerpo resistor como función de la temperatura.

Son dos los tipos de termómetros de resistencia comunmente empleados:

- 1) resistores de hilo metálico (Pt, Cu, etc.) con un cambio de resistividad del orden de  $0.4^{\circ}\text{C}$ .
- 2) termistores que pueden producirse con materiales semiconductores; con un cambio de resistividad del orden del  $4^{\circ}\text{C}$ .

- Control de la temperatura.

Dos tipos de control de temperatura son empleados en calorimetría: el primer tipo se usa para mantener la temperatura de la camisa constante en dosimetría de flujo de calor y el segundo, para igualar la temperatura del cuerpo y la camisa en calorimetría adiabática y semiadiabática.

- Calibración.

Si deseamos calcular la dosis ó razón de dosis, necesitamos conocer el factor de proporcionalidad entre el efecto de la temperatura medida y la energía de entrada. Dicho factor de proporcionalidad depende del método empleado y de los detalles de construcción del calorímetro.

En el método adiabático es fácil conocer la capacidad calorífica del cuerpo, consultando la literatura.

Con el método de flujo de calor, el valor del factor de proporcionalidad, K, puede calcularse, pero no con la misma precisión.

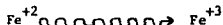
Puede calcularse el factor de calibración experimentalmente por la medición de la temperatura contra el tiempo, por un procedimiento de calibración.

A un calentador eléctrico de resistencia conocida montada en el cuerpo, se le hace pasar una corriente eléctrica conocida. Así, el cambio de temperatura se sigue como función del tiempo y el factor K de calibración puede determinarse.

c) Dosímetro de Fricke.

Este sistema pertenece a la categoría de los dosímetros químicos, sin embargo, debido a su alta precisión y confiabilidad, se considera como dosímetro de referencia y se utiliza frecuentemente en la calibración de otros dosímetros.

Este dosímetro, desarrollado por Fricke y Morse, tiene su fundamento en el proceso de oxidación de los iones ferrosos, de una solución ácida de sulfato ferroso, a iones férricos por efecto de la radiación.



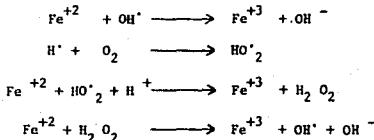
La precisión que presenta el dosímetro es de 1 - 2% para la medición de dosis absoluta.

La dosis se deriva de la concentración de iones férricos en solución después de la irradiación.

El límite de éste sistema es de 3 - 40 Krad. (30 - 400 Gy.).

Mecanismo:

Dicha oxidación sigue el siguiente mecanismo:





donde cada radical hidroxilo oxida un ión ferroso; cada radical hidropéroxilo oxida tres iones ferrosos y cada molécula de peróxido de hidrógeno oxida dos iones ferrosos.

Composición química:

FeSO <sub>4</sub>	-----	0.01 M.
NaCl	-----	0.01 M.
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	-----	0.8 N.

Rango de dosis:

El dosímetro de Fricke tiene un rango de dosis absorbida de 4000 a 40000 rad. Es posible medir dosis mayores a la antes mencionada si empleamos el dosímetro denominado " super Fricke ", el cual contiene 10 veces más concentración de sulfato ferroso y oxígeno a saturación.

Precisión:

Cabe esperar límites de precisión entre  $\pm 1\%$  tomando las precauciones típicas de limpieza, tanto en el material, como en las soluciones y sustancias empleadas.

Estabilidad:

La solución de sulfato ferroso se oxida fácil pero lentamente al contacto con el aire y durante su almacenamiento. Es conveniente, por tanto, almacenar la solución en ausencia de luz y en material desecado, aparte de mantenerla en refrigeración. Es recomendable preparar una nueva solución si es que su utilización se hace solo ocasionalmente, aún cuando la oxidación pueda corregirse por blancos de la misma solución.

Una autooxidación de pocos  $\mu$  M por día, indica la presencia de impurezas orgánicas presentes en la solución.

d) Dosímetro de super Fricke.

Este dosímetro puede medir límites de dosis absorbida entre  $2 \times 10^3$  y  $2 \times 10^5$  rad.

Es una variación del dosímetro Fricke y su fundamento es el mismo, solo que el " super Fricke " presenta la siguiente composición:

FeSO <sub>4</sub>	-----	0.01 M.
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	-----	0.8 N.
O <sub>2</sub> sat.	-----	1.1 mM.

La determinación de la dosis se efectúa midiendo la concentración de los iones férricos por medio de un espectrofotómetro a una longitud de onda de 302.5 nm.

e) Dosímetro de Fricke modificado.

Es también una modificación del dosímetro de Fricke estándar. Tiene su fundamento en la oxidación del ión ferroso en una solución acuosa de ácido sulfúrico conteniendo sulfato cúprico. El principal problema que se presenta con este dosímetro es su inestabilidad antes y después de la irradiación.

El sistema consiste en una solución saturada de oxígeno, la cual contiene sulfato ferroso, sulfato cúprico y agua tridestilada y su composición química es:

Fe <sup>+2</sup>	-----	0.001 M.
Cu <sup>+2</sup>	-----	0.010 M.
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	-----	0.010 N.

El dosímetro de Fricke modificado se utiliza para medir dosis aún mayores que las que determina el " super Fricke " ó, aún más, que las del Fricke estándar.

El rango medible va de  $2 \times 10^5$  a  $8 \times 10^5$  rad. (2 - 8 KGy.). Si la dosis es de varios megarad, entonces es necesario aumentar la concentración de las sales férricas y cuprosas seis veces más y diluirlas después de la irradiación.

#### IV.3. Dosímetros de rutina.

La principal característica de los dosímetros de rutina y secundarios es que su calibración se realiza a través de un dosímetro primario ó absoluto. En los métodos dosimétricos de rutina se utilizan sistemas químicos y físicos y la energía absorbida por éstos se determina cuantitativamente por algún cambio producido en el sistema empleado como dosímetro; esto permite una respuesta reproducible de la radiación, la cual es lo suficientemente estable como para conocer la dosis en varias ó sucesivas determinaciones aún después de la irradiación.

Una característica de bastantes dosímetros de rutina es el ser líquidos. El principio de éstos dosímetros es que contienen una sustancia química disuelta, de características conocidas, la cual puede reaccionar con una ó varias de las especies de los productos radiolíticos primarios del líquido. La medida de los productos finales formados ó el cambio de concentración de la sustancia inicial ó el cambio en alguna de sus propiedades, es información suficiente para obtener el tamaño ó magnitud de la dosis absorbida. Es importante considerar los siguientes factores para garantizar una buena selección de un dosímetro:

- a) diseño del equipo y proceso de la irradiación.
- b) selección de la materia prima necesaria y su preparación.

- c) tipo y características de la radiación empleada (gamma, electrones, partículas alfa, etc.).
- d) tipo y características del material absorbente seleccionado (gas, sólido, líquido).

#### IV.3.1 Algunos dosímetros de rutina.

##### a) Emulsiones fotográficas.

Las emulsiones fotográficas son muy solicitadas para la dosimetría de radiaciones gamma ó X y tienen gran demanda en monitoreo personal y seguridad radiológica.

Estan formadas por una película plástica incolora cubierta por ambos lados por capas delgadas de emulsión de halogenuro de plata (AgCl ó AgI).

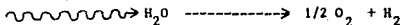
Estos dosímetros presentan impresiones relativamente estables y la respuesta dada es independiente a la razón de dosis, excepto para pulsos muy cortos de alta intensidad.

Las lecturas registradas, para la radiación gamma, están en el rango de 1 - 100 mR.

La reproducibilidad de éste sistema es de  $\pm 5\%$ .

##### b) Dosímetro de agua.

Tiene como fundamento la descomposición catalizada del agua. La representación de tal aseveración viene dada por la siguiente expresión:



La solución dosimétrica se compone de una solución de yoduro de potasio  $1 \times 10^{-4}$  M. en agua tridestilada saturada de aire. La dosis se deriva de la medición de gas liberado a presión constante; es necesario contar

con alrededor de 5 Mrad. (50 KGy.) para lograr la saturación de oxígeno en la solución inicial. Así, la razón de dosis puede determinarse gracias a la evolución de  $H_2 + 1/2 O_2$ .

1 Mrad., libera  $13.4 \text{ cm}^3$  de gas por litro de solución dosimétrica.

Como posibles factores involucrados en la certeza de los resultados, podemos mencionar los siguientes: pureza del reactivo (grado reactivo analítico), el pH de la solución dosimétrica debe ser neutro.

c) Dosímetro a base de azúcares.

Se ha considerado, teórica y prácticamente, el aprovechar la disminución de la rotación óptica como función lineal de la dosis absorbida, ya que la intensidad de radiación a la que se exponen las soluciones acuosas de mono y disacáridos dan la medida de la dosis total absorbida.

Bajo este método, los dosímetros dan una respuesta lineal a dosis muy altas (Mrad.), proporcionando así mediciones de dosis más altas que con el método de Fricke.

Entre los dosímetros hechos a base de azúcares podemos nombrar al de D (+) maltosa, sucrosa, malonaldehído, arabinosa, etc.

La forma de determinar la dosis absorbida es utilizando el método polarimétrico, midiendo la rotación óptica de las soluciones antes y después de ser irradiadas a una temperatura de  $20^\circ\text{C}$ .

d) Dosímetro de benceno-agua.

Este método determina la magnitud de la dosis absorbida en base a la oxidación del benceno a fenol y a otros compuestos en solución acuosa neutra y se efectúa por el método espectrofotométrico a 290 nm. El fenol y el difenilo son los principales productos de la radiólisis, por tanto, la respues

ta del método analítico no puede atribuirse únicamente al fenol. La dosis absorbida puede medirse en un rango de  $5 \times 10^3$  a  $7 \times 10^4$  rad. El límite inferior está en base al método analítico y el límite superior lo impone el consumo de oxígeno en el sistema.

Algunas de las ventajas que presenta este sistema es la de ser relativamente insensible a impurezas y mostrar estabilidad antes y después de la irradiación; se puede almacenar por varios meses protegiéndolo con una capa de benceno y además, no es corrosivo.

La concentración inicial de benceno en la solución dosimétrica puede ser de 60 - 100% de saturación (0.008 - 0.012 M) ya que a menor concentración el producto radiolítico disminuye.

e) Dosímetro de perspex rojo.

La precisión que puede lograrse con este dosímetro es del 3%, pero debe tenerse siempre presente que la absorbancia se ve afectada por las condiciones de irradiación.

Las medidas de la absorbancia se hacen a una longitud de onda de 640 nm.

Este dosímetro se calibra comúnmente con el dosímetro de Fricke, ya que la relación absorbancia - dosis no es lineal.

Los límites de dosis cubiertos por este dosímetro es de 0.5 a 4 Mrad.

f) Dosímetro de acetato de celulosa.

El proceso empleado para la determinación de la dosis absorbida es el cambio de absorbancia inducido por la radiación en la película de acetato de celulosa.

El rango de dosis absorbida que puede medirse es de  $5 \times 10^5$  a  $5 \times 10^7$  rad.

El dosímetro consiste en una película coloreada de acetato de celulosa em pleándose, hasta ahora, más de 60 colores.

Las medidas del cambio en la absorbancia se efectúan en un espectrofotómetro. La longitud de onda conveniente depende del color utilizado.

La dosis absorbida se determina en una curva de respuesta por la diferencia de absorbancia antes y después de la irradiación.

Las desventajas que presenta el dosímetro se muestran en las variaciones de la concentración del colorante, introduciendo con ésto, errores en las lecturas y limitando la precisión, además de que, a altas temperaturas ó razones de dosis altas, el dosímetro puede ser destruído.

g) Dosímetro de cloruro de polivinilo (P.V.C.).

El sistema está formado por un homopolímero de P.V.C. en forma de película transparente de 0.015 pulgadas de espesor. Esta, puede cortarse en placas del tamaño adecuado para colocarlas convenientemente en el contenedor del espectrofotómetro.

El límite de dosis absorbida es de 0.5 - 6.0 Mrad.

El proceso empleado es el desarrollo del color en un homopolímero de cloruro de vinilo.

El color se origina por la estructura que presenta este cromóforo, el cual en un principio es verdoso, pero gradualmente se torna café amarillento, café rojizo ó café oscuro, dependiendo de la dosis absorbida.

h) Colorantes radiocrómicos.

El fundamento de estos sistemas es la formación de una coloración intensa permanente de soluciones incoloras cuando éstas son expuestas a la radiación.

Estos precursores colorantes son, comunmente, leucotriphenilmetanos, tales como los cianuros, bases ó metóxidos de pararosanilina, fucsina, carbinoles, verde malaquita, etc.

Los colorantes radiocrómicos son sensibles a la luz ultra violeta (incluida la luz del sol) y la respuesta de algunos de ellos también puede verse afectada por altas humedades. La dosis absorbida esta en función de la medición espectrofotométrica del incremento de la absorbancia inducida por la radiación a una longitud de onda que varía de acuerdo a la materia prima empleada.

El dosímetro tiene la ventaja de:

- a) respuesta estable.
- b) independencia con la temperatura.
- c) insensibilidad a impurezas.
- d) procedimientos de lectura sencillos.
- e) larga vida de anaquel.
- f) respuestas idénticas en atmósferas distintas.
- g) independencia de la razón de dosis.
- h) buena equivalencia - producto.

Podemos clasificar éstos sistemas en dosímetros radiocrómicos líquidos y dosímetros radiocrómicos sólidos.

#### 1) Dosímetros radiocrómicos líquidos.

La respuesta de estos dosímetros es lineal para dosis de hasta  $10^6$  rad. si se usan bajo saturación de oxígeno ó en presencia de algún oxidante débil. Soluciones aereadas presentan lecturas de dosis absorbida en el rango de  $10^3$  a  $10^5$  rad. Estos sistemas pueden alterarse por la acción de la luz del sol, por lo cual, resulta conveniente almacenarlo en frascos de vidrio color ámbar y además, proteger con material absorbente las filtraciones de



la luz que se presentan en ventanas, por ejemplo.

Se hallan disponibles comercialmente en ampollitas de vidrio cerradas.

## 2) Dosímetros radiocrómicos sólidos.

Este tipo de sistemas se componen de películas incoloras ó papel blanco impregnado conteniendo hasta 10% del colorante radiocrómico.

Los dosímetros radiocrómicos sólidos son útiles para la determinación de dosis en el rango de  $10^5$  a  $10^7$  rad. ( $10^3 - 10^5$  Gy.) con límites de precisión de  $\pm 3\%$ .

Las películas se componen, por ejemplo, de nylon, acetato ó cloruro de polivinilo, celulosa, etc.

### 1) Luoluminiscencia.

El efecto de la luoluminiscencia es debida a la emisión de luz de ciertas sustancias ó materiales cuando éstos se disuelven en agua, ésto luego de la irradiación.

La respuesta de dosis es casi lineal hasta que ocurre la saturación alrededor de 150 rad.; dosis mayores causan una disminución de la emisión de la luz, aunque, algunos materiales pueden aportar lecturas de dosis hasta de 500 rad. Así, la medida de la luz emitida es proporcional a la cantidad de dosis absorbida.

### j) Termoluminiscencia.

Diversos materiales cristalinos inorgánicos almacenan energía en forma de electrones atrapados, los cuales son liberados luego que dicho material recibe una dosis de algún tipo de radiación; nuevamente los electrones que dan atrapados en algún otro sitio dejando así huecos cargados positivamente. El fluoruro de litio y el fluoruro de calcio, como materiales termoluminiscentes, presentan ventajas y desventajas: si a ambos se les hace acti

var con manganeso, muestran mayor dependencia con respecto a la energía de radiación del borato de litio.

Si después de la irradiación se aplica un tratamiento térmico, los electrones son nuevamente liberados y se recombinan en las cavidades antes mencionadas, emitiendo luz durante el proceso. Así, se produce una proporcionalidad entre la cantidad de luz emitida y el número de electrones liberados durante dicho calentamiento.

Con este sistema pueden determinarse dosis de entre  $10^{-4}$  rad. ( $10^{-2}$  Gy.) con buena reproducibilidad.

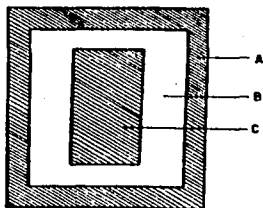
Los materiales termoluminiscentes pueden emplearse como polvo suelto, encapsulados o en bulbos de vidrio sellado.

#### IV.4. Sistemas dosimétricos.

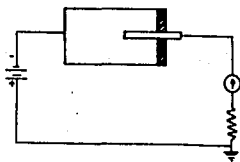
Podemos caracterizar a los sistemas dosimétricos por el rango que presentan de la dosis absorbida de la siguiente manera:

nivel		rango
bajo	-----	1 - 500 Krad.
medio	-----	0,5 - 5 Mrad.
alto	-----	5 - 100 Mrad.

Esta caracterización es esencial en la selección de sistemas confiables de medida de acuerdo al nivel de dosis administrada en un proceso de irradiación.



Elementos de un calorímetro: (A) cuerpo absorbente, (B) medio circundante, y (C) sonda.



Dibujo esquemático de una cámara de Joule.

OTROS SISTEMAS DOSIMÉTRICOS

Sistema	Efecto de la radiación	Lectura	Rango de Dosis
Vidrios y Cristales	Desarrollo de color	Densitometría Espectrofotometría	$10^4 - 10^8$ rad $10^2 - 10^6$ Gy
	Fotoluminiscencia	Fluorimetría	$1 - 1.5 \times 10^4$ rad $10^{-2} - 1.5 \times 10^2$ Gy
Aminoácidos y Polímeros	Cambio en el Espectro RPE	RPE	$10^1 - 10^3$ rad $10 - 10^2$ Gy
Polímeros	Degradación en el peso molecular. Pérdida e incremento de viscosidad.	Viscosimetría	$10^4 - 10^7$ rad $10^2 - 10^5$ Gy
Reducción o Activación de quelatos metálicos ( $\text{Co}^{2+}$ EDTA)	Reducción a $\text{Co}^{2+}$	Espectrofotometría de U.V.	0.01 - 10 Mrad 0.1 - 100 KGy
Azúcares	Cambio en la actividad óptica	Rotación Óptica	$1 - 5 \times 10^5$ rad $10^{-2} - 5 \times 10^6$ Gy

Otras películas plásticas para dosimetría.

Tipo de película	Longitud de onda para medición del cambio de absorbancia (nm).	Rango aproximado de dosis absorbida. KGy
Policarbonato	290, 300, 325	10 - 500
Butirato acetato de celulosa	325	50 - 800
Tereftalato de polietileno	325	50 - 800
Cloruro de Tetra-solito en alcohol polivinílico	480	2 - 100
Fluoruro de polivinilo	315, 352	30 - 300
di-y triacetato celulosa	250, 290, 320	50 - 800

Otros dosímetros líquidos y sus características

Sistema	Rango de Dosis	Solución Dosimétrica	Cambio Químico y Método
Formiato Sódico	$1 \times 10^4 - 8 \times 10^7$ rad $1 \times 10^4 - 8 \times 10^5$ Gy	Soluciones de HCOONa $5 \times 10^{-2} - 0.3$ M.	Descomposición del formiato. Titula- ción con $\text{KMnO}_4$ .
Colorantes	$10 - 10^5$ rad $0.1 - 10^3$ Gy	Sols. acuosas de Azul de metileno, naranja de metilo, Indigo carmín.	Degradación del color. Espectrofotometría
Hidrocarburos que liberan HCl	$10 - 10^6$ rad $0.1 - 10^4$ Gy	Sols. acuosas de cloro- formo, tricloroetileno hidrato de cloral.	Formación de HCl Colorimetría.
Tiocianato de potasio	$10 - 10^4$ rad $0.1 - 10^2$ Gy	Sols. acuosas de $\text{KCN}$ $10^{-4}$ M saturadas con $\text{O}_2$ o $\text{N}_2\text{O}$ .	Concentración de $(\text{CN})_2$ formado. Espectrofotometría.
Ferrocianuro de potasio	$10^2 - 10^6$ rad $1.0 - 10^2$ Gy	Sols. acuosas de $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot 5 \times 10^{-3}$ M saturado con $\text{O}_2$ o $\text{N}_2\text{O}$ .	Concentración de fer- rocianuro formado. Espectrofotometría.

Tendencias Futuras en Dosimetría.

Sistema Dosimétrico	Método Recomendado	Límite de Dosis Mrad	Tipo de Radiación	Reproducibilidad % o (%)
<b>DOSÍMETROS DE REFERENCIA</b>				
Sulfato ferroso	Espectrofot.	0.004-0.04	γ	1
Sulfato Cérico	Espectrofot.	0.10 - 5.0	γ	1
Calorimetría (a)	Sensor Térmico	0.02 Mrad/min	e, γ	1
Calorimetría (l)	Sensor Térmico	0.02 Mrad/min	γ	1
<b>DOSÍMETROS DE RUTINA</b>				
Sulfato Cérico	Potenciométrico	0.10- 5.0	γ	2
Etanol-Clorobenceno	Oscilométrico	0.10- 4.0	γ	4
Sacáridos	Litoluminiscencia	$10^4 - 0.008$	γ	2 a 5
Aminoácidos	Emisión de luz	0.001 - 0.5	γ	2 a 5
Polímeros	Emisión de luz	0.2 - >4.0	γ	
Perapas rojo	Espectrofotometría	0.5 - >5.0	γ	1 a 2
Alanina	RPE	$10^4 - 10.0$	e, γ	1 a 2
Felícula Radiocrómica	Espect. o Densit.	0.1 - 10.0	e, γ	1 a 2
Celulosa	Espect. o Densit.	1 - 40.0	e, γ	10
Cristales	Espect. o Densit.	0 - $10^4$	γ	1
Borato Litio	TLD	$10^3 - 1.0$	e, γ	5
D(+)-Glucosa	Rotación Óptica	1 - 300.0	e, γ	-
$\text{Co}^{3+}$ Edta	Espectrofotometría	0.01- 10.0	γ	-

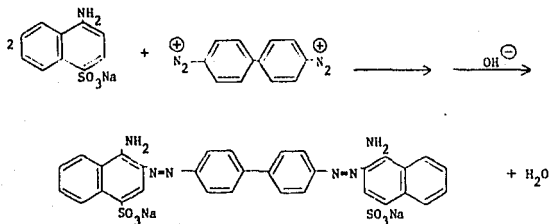
## CAPITULO V

### TRABAJO EXPERIMENTAL

#### V.1. Descripción del sistema dosimétrico.

El sistema dosimétrico consiste en una solución acuoalcohólica diluida (90%) de rojo congo envasada en ampollitas de vidrio y sellada a flama bajo condiciones atmosféricas normales. Esta solución presenta una alteración en el pH inicial por efecto de la radiación ionizante absorbida.

El rojo congo se prepara mediante el acoplamiento de bencidina tetra azoada con la sal sódica del ácido naftiónico ó 4 - amino - 1 - naftalensulfónico, mediante la siguiente reacción:



#### ROJO CONGO

Sal disódica del ácido 3,3' -4,4'-bifenilo  
bis (azo) bis (4-amino-1-naftalen) sulfónico.

Pueden obtenerse compuestos con dos enlaces azo (como el rojo congo) trans formando los dos grupos amino de la bencidina en sales de diazonio para pos

### V.3. Procedimiento,

#### a) Estudio de soluciones acuosoalcohólicas de rojo congo.

##### Espectro visible.

En la figura No.1 se muestra el espectro de absorción visible del rojo congo en agua destilada. Se puede observar claramente el único pico de absorción en la región visible a 500nm. Esta longitud de onda es la que se remite a todas las determinaciones expuestas en el trabajo experimental.

#### b) Determinación de los coeficientes de absortividad.

##### Validez de la Ley de Lambert y Beer.

Para determinar los coeficientes de absortividad molares y al mismo tiempo verificar la Ley de Lambert y Beer, se preparó una serie de disoluciones de concentración conocida y se determinó la densidad óptica (D.O.) a 500nm. Los resultados aparecen en el cuadro No. 1 y la curva de D.O. vs concentración se ilustra en la figura No. 2.

Puede observarse en dicha figura una desviación a la Ley de Lambert y Beer cuando las concentraciones aumentan.

Tomando solamente la región donde el comportamiento es lineal los coeficientes de absortividad molar (pendiente de la recta) resulta ser:

$$E = 712.5 \text{ mol/cm.} = 7125 \text{ l/mol cm.}$$

#### c) Preparación e irradiación de la solución dosimétrica.

- 1) Pesar 0.014g. de rojo congo.
- 2) Disolver en 50 ml. de alcohol etílico al 90%.
- 3) Añadir 10ml. de clorobenceno ( $C_6H_5 - Cl$ ).
- 4) Aforar a 100ml. con alcohol etílico al 90%.

tomar alícuotas de 7ml, y colocarlas en ampollitas de vidrio de 10ml. de capacidad previamente lavadas y enjuagadas.

Las ampollitas, conteniendo la solución dosimétrica, son selladas a flama gas-oxígeno y almacenadas a temperatura ambiente hasta el momento de ser irradiadas.

Todas las irradiaciones se hacen procurando conservar la misma geometría dentro del contenedor donde van a ser irradiadas.

d) Determinación potenciométrica.

Se midió el pH de cada una de las ampollitas por duplicado luego de la irradiación y se tomó en cuenta la lectura promedio; se determinó también el pH de la solución sin irradiar para así evaluar el cambio en función de la dosis absorbida por la solución dosimétrica.

e) Curvas de calibración y cálculo de dosis.

Las figuras No. 3 y No. 4 muestran las curvas de calibración D.O. vs dosis de irradiación a 500nm. y de  $\ln p_{Ho}/p_{Hi}$  vs dosis de irradiación, respectivamente, en donde  $p_{Ho}$  es el valor de la solución dosimétrica no irradiada y  $p_{Hi}$  es el valor de la solución irradiada.

Se determina también el coeficiente de correlación lineal de los datos experimentales obtenidos.

La dosis total absorbida (en Gy.) se determina obteniendo el valor de  $\ln p_{Ho}/p_{Hi}$  y leyendo directamente el correspondiente valor de dosis en la curva de calibración.

f) Estabilidad del sistema.

La figura No. 5 muestra, para 500nm., la variación de la densidad óptica con el tiempo, en ampollita cerrada a diferentes dosis de irradiación. Se



puede observar que al inicio la solución sufre una destrucción parcial, pa  
ra después llegar al equilibrio ó estabilidad, lo que permite preparar lo-  
tes de ampollitas con solución dosimétrica para ser usadas en diferentes  
ocasiones. Esto es, que la determinación de la dosis absorbida puede hacer  
se varios días después de la irradiación sin tener errores considerables.  
Podemos decir que el sistema presenta una estabilidad adecuada antes y des  
pués de la irradiación para fines dosimétricos de rutina.

#### V.4. Resultados.

En la siguiente serie de figuras y cuadros se presentan los resultados ex-  
perimentales de las dosis totales empleadas y los pHs respectivos de las  
soluciones irradiadas. Se anota también el valor del coeficiente de corre-  
lación lineal.

Valores de densidad óptica en función de la  
concentración de rojo congo en agua destilada.

CONCENTRACION (M) $\times 10^{-3}$	D.O. ( $\lambda = 500\text{nm.}$ )
0.13	0.181
0.37	0.352
0.54	0.585
0.87	0.854
1.20	1.097
1.37	1.155
1.80	1.398
2.05	1.553
2.41	1.699

CUADRO No. 1

Valores de la cantidad de radiación en función del tiempo.

MUESTRA No.	TIEMPO DE IRRAD. (min.)	DOSIS ABS. (Gy)
0	0	0
1	30	171
2	60	342
3	110	627
4	140	798
5	180	1026
6	220	1254
7	260	1482
8	300	1710
9	320	1824
10	330	1881
11	340	1938
12	360	2052

CUADRO No. 2

Datos experimentales para la curva de calibración

$\ln \frac{pH_0}{pH_1}$  vs Gy

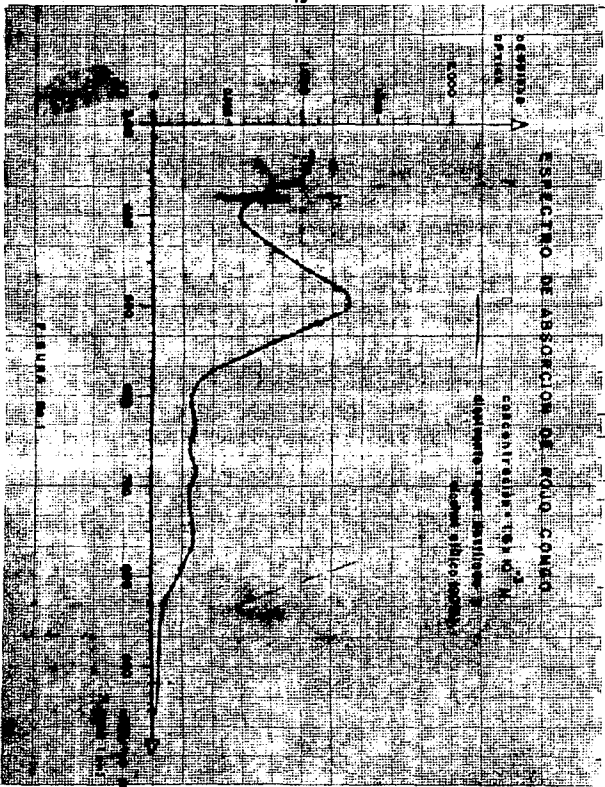
CUADRO No. 4

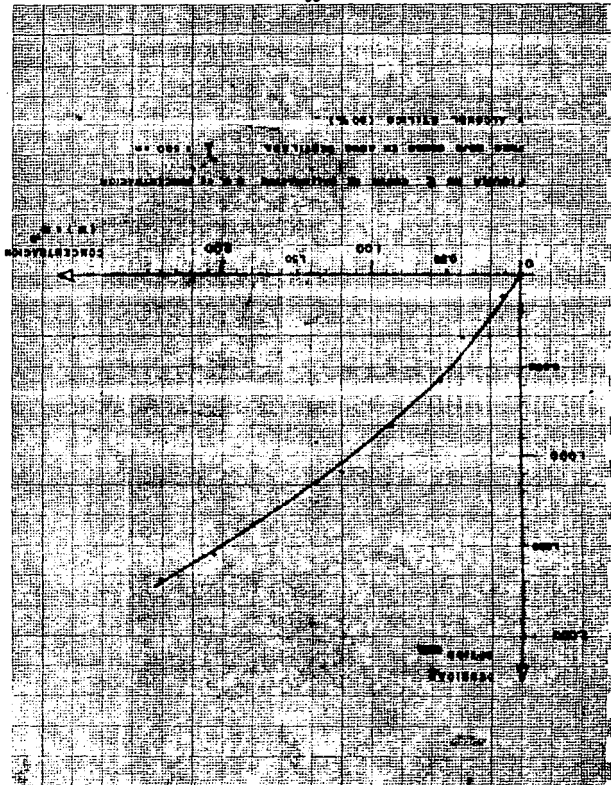
DOSIS (Gy)	pH	$\ln \frac{pH_0}{pH_1}$
0	6.60	0
171	5.70	0.14
342	5.57	0.16
627	5.35	0.20
798	5.30	0.21
1026	5.18	0.24
1254	5.11	0.25
1482	5.02	0.27
1710	4.85	0.30
1824	4.59	0.35
1881	4.37	0.41
1938	4.25	0.43
2052	4.10	0.47

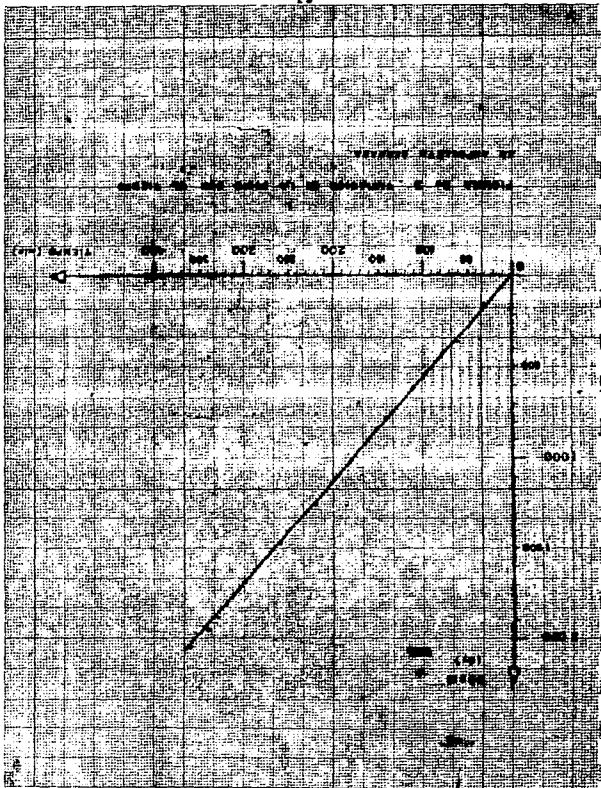
Promedio de muestras por triplicado y de lecturas por duplicado.

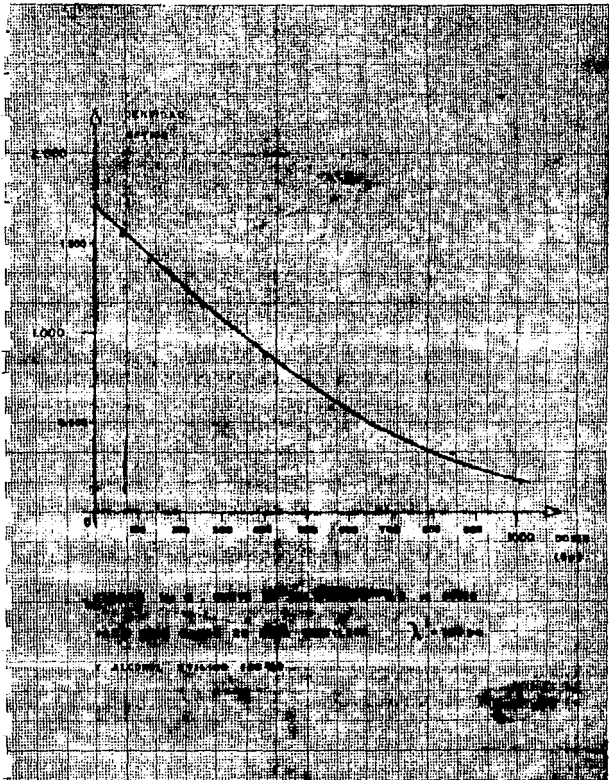
Rango de utilidad del dosímetro:

0 Gy ————— 1710 Gy  
 pero; 627 Gy ————— 1710 Gy de mayor confianza

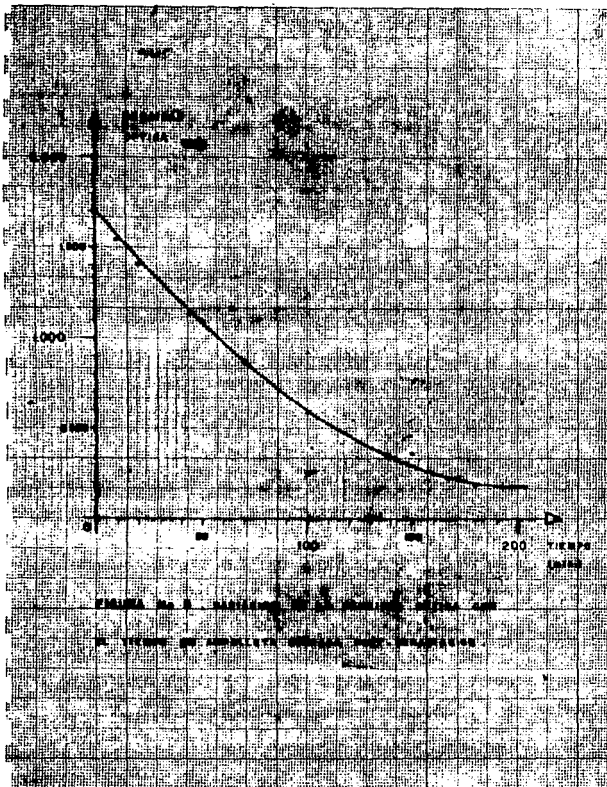


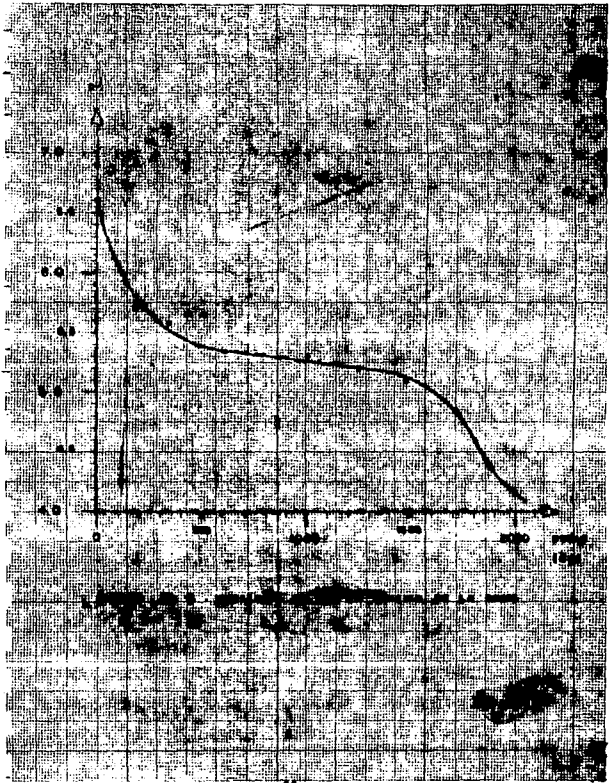












pH  
5HI

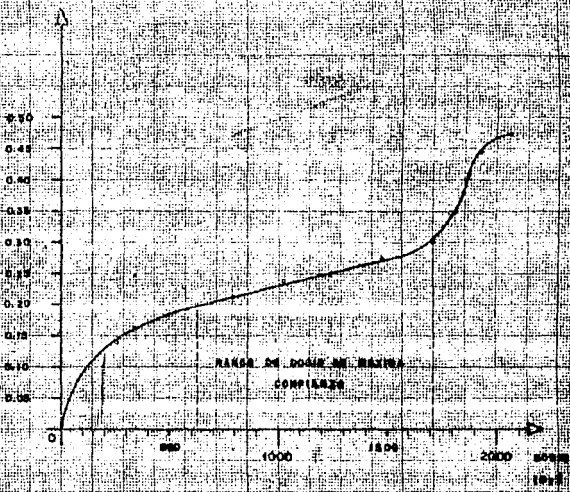


FIGURA No. 7. DETERMINACION DEL RANGO DE DOSES DE MAYOR COMPLETUD PARA EL 10% CONVO EN SOLUCION ACIDOTONICA AL 5% (V/V) EN 100 ml.

## CAPITULO VI

### DISCUSION Y CONCLUSIONES

#### VI.1. Discusión.

Influencia de factores.

Bajo la irradiación suelen producirse gases, lo cual puede provocar problemas en las ampollitas cerradas; por tanto, se recomienda dejar un volumen libre en todas las ampollitas que no exceda de la mitad del volumen total.

Una parte del lote de solución dosimétrica se utiliza para realizar la curva de calibración y la otra se emplea como dosímetro de referencia de la misma.

Es necesario tener mucho cuidado al preparar la solución dosimétrica y al utilizar los contenedores (ampollitas), así como de la correcta limpieza de todo el material de laboratorio involucrado en dicha preparación, ya que las impurezas (en especial materia orgánica) pueden traer consecuencias desagradables en los resultados. El material de vidrio puede ser tratado con una mezcla sulfonítrica, enjuagado perfectamente y secado en estufa.

No es posible determinar el número de moléculas transformadas por cada 100 eV de energía absorbidos (valor "G"), ya que, por tratarse de un dosímetro químico-acuoso orgánico de utilidad práctica, se presenta la dificultad de la determinación de radicales de vida media corta, así como de compuestos producto de la radiólisis del agua y de las posibles reacciones entre ellos. Los límites inferiores y superiores de la determinación potenciométrica los dan los pHs del dosímetro utilizado como blanco y de la solución irradiada.

## VI.2. Conclusiones.

El dosímetro en estudio cumple con las siguientes condiciones:

- a) Respuesta lineal con la dosis.
- b) Respuesta lineal e independiente con la razón de dosis.
- c) Respuesta independiente de la energía y LET de la radiación.
- d) Independiente de las condiciones de irradiación.
- e) Estabilidad química antes y después de la irradiación.
- f) Económico y accesible comercialmente.
- g) Sencillo y seguro en su manipulación.
- h) No se activa.
- i) Rango de dosis cubierto por una simple y rápida técnica.
- j) Alta precisión y baja sensibilidad.
- k) El tiempo requerido para preparar el sistema es más corto que para otro tipo de sistemas (ejem. sistema de sulfato cérico).

El dosímetro puede aplicarse con ventaja en la medición de razones de do sis, tiene un rango de dosis útil para propósitos de irradiación con fi nes de esterilización de alimentos en envases metálicos, inhibición de brotes tubér culos en raíces comestibles, desinfección de frutas y radio preservación de frutas frescas, esterilizaciones industriales, etc.

**ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

Propuestas a futuro.

- a) Posibilidad de emplear otras fuentes de irradiación gamma aparte del Co-60 como son: rayos X ó Cu-137.
- b) Posibilidad de utilizarse como dosímetro para e<sup>-</sup> acelerados en ampollitas de plástico delgado.
- c) Obtención de datos experimentales para probar su utilidad con radiación mixta ó mezclada.
- d) Posibilidad de determinar, con algún método analítico, algún compues radiolítico que tenga una respuesta lineal con la dosis absorbida.

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

- 1.- Holm, N. W., Dosimeter for industrial irradiation., Large Radiation Sources for Industrial Processing (Proc. Symp. Munich, 1969)., IAEA., Vienna; (1969), 555.
- 2.- Chadwick, K. H., Is dosimetry required in radiation processing., Dosimetry in Agriculture, Industry, Biology and Medicine (Proc. Symp, Vienna, 1972)., IAEA., Vienna, (1973).
- 3.- Holm, N. W., Zagorski, Z. P., Aqueous chemical dosimetry. Ch. 4., Manual on Radiation Dosimetry (Holm, N. W., Berry, R. J. Eds.)., Marcel Dekker, N. Y., (1970).
- 4.- Fricke, H., Hart, E. J., Chemical dosimetry., Ch. 12., Radiation dosimetry., Vol. 2. (Attix, F. H., Roesch, W. C. Eds.)., 2nd. ed., Academic Press, N. Y., (1966).
- 5.- Dvornik, I., The ethanol chlorobenzene dosimeter., Manual on Radiation Dosimetry., Ed. N. Y., Holm, N. W., Berry, R. J., Marcel Dekker Inc. N. Y., (1970), 345 - 349.
- 6.- Razem, D., Dvornik, I., Application of the ethanol chlorobenzene dosimeters to electron - beam and gamma radiation dosimetry: tissue equivalent dosimetry., Radiation Preservation of Food (Proc. Symp. Bombay, 1972)., IAEA., Vienna, (1973), 537.

- 7.- Stenger, V., Foldiak, G., Unified control methods in dosimetry for high activity irradiation facilities in Hungary., High - Dose Measurements in Industrial Radiation Processing., IAEA., Technical Report Series., Vienna, (1980), (in press).
- 8.- Razem, D., Dvornik, I., The applications of the ethanol chlorobenzene dosimeter to the electron beam and gamma radiation dosimetry - II Co - 60 gamma ray., Dosimetry in Agriculture, Industry, Biology and Medicine (Proc. Symp. Vienna, 1972)., IAEA (International Atomic Energy Agency)., (1973).
- 9.- Dvornik, I., Zec, U., Ranogajec, F., The ethanol chlorobenzene aerated sistem as a new high - level dosimeter for routine measurements., Food Irradiation., SM - 73 / 15., IAEA., Vienna, (1966), 81 - 90.
- 10.- McLaughlin, W. L., Topics in radiation dosimetry., Notas de Física., Vol. 4. No. 2., Instituto de Física UNAM., México, (1980).
- 11.- Karrer, P., Tratado de Química Orgánica., 2ed. Editora Nacional. México, (1951).
- 12.- Friedlander, G., Kennedy, J., Nuclear and Radiochemistry., John Wiley and Sons Inc. N. Y. London, (1964).
- 13.- Bernard, O., Estadística Aplicada., ed. Limusa Wiley, S.A. México, (1970).



- 14.- Goded, F. E., Serradel, V. G., Teoría de reactores y elementos de Ingeniería Nuclear., Cap. II y III., Sección de Publicaciones de la Junta de Energía Nuclear., Madrid (1975).
- 15.- Attix, F., Roesch, W., Radiation Dosimetry., Vol. I., Academic press Inc., N. Y., U.S.A., (1969).
- 16.- Willard, H. H., Merritt, L. L., Dean, J. A., Métodos instrumentales de análisis., Cap. 11., Cia. Edit. Cont. S.A. México, 333 - 382.
- 17.- Maron, S. H., Lando, J. B., Físicoquímica Fundamental., Ed. Limusa., México, 275 - 294. Cap. 6.
- 18.- Cabrera, M. L., Navarrete, T. M., Cambios en el pH de soluciones de clorobenceno como dosímetro para radiación gamma., UNAM., Dpto. de Química Nuclear, Fac. de Química.
- 19.- Ajuria, G. S., Los radioisótopos. Sus propiedades, manejo y utilización en Ingeniería Química., Tesis Profesional., Facultad de Química., U.N.A.M., México, D.F., (1962).
- 20.- Mercado, Ch. C., Dosímetro de radiaciones ionizantes con soluciones de etanol clorobenceno., Tesis Profesional., Facultad de Química., U.N.A.M., México, D.F., (1983).
- 21.- Mercado, Ch. C., Dosímetro a base de azul de metileno., Tesis Profesional (Posgrado)., Facultad de Química., U.N.A.M., México, D.F., (1986).

- 22.- Streittwieser, A., Henthcock, C. H., Química Orgánica., Nueva Edit. Interamericana., México, D.F., (1983).
- 23.- Markus, J., Diccionario de electrónica y técnica nuclear. Marcombo S.A., de Borkareu Ed., Barcelona, España. (1972).
- 24.- Castrejón, R. E., Estudio de soluciones de glucosa en dosimetría de radiaciones gamma del Co - 60., Tesis Profesional., Facultad de Química., U.N.A.M., México, D.F., (1979).
- 25.- Cabrera, M. L., Navarrete, T. M., Un colorante azoico como dosímetro para rayos gamma., U.N.A.M., Dpto. de Química Nuclear. Fac. de Química.
- 26.- White, E. H., Introducción a la Física Atómica y Nuclear. Ed Alhambra S.A., Madrid, España. (1970).
- 27.- Allen, A. O., The Radiation Chemistry of water and aqueous solutions., D. Van Nostrand Company Ltd., N. J., U.S.A. (1961).
- 28.- The Merck Index., Eighth Ed., Merck & Co. Inc., Rohway, N. J., U.S.A. (1968).
- 29.- Spinks, J. W., Woods, R. J., An introduction to Radiation Chemistry., Wiley & Sons., N. Y., (1976).
- 30.- Calculator Decisión - Making Sourcebook. Texas Instruments Inc.