

720530

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO 40
FACULTAD DE QUIMICA 33

**ESTUDIO DE SOLUCIONES DE GLUCOSA EN
DOSIMETRIA DE RADIACION GAMMA DEL Co-60**

ENRIQUETA CASTREJON RODRIGUEZ

QUIMICO FARMACEUTICO BIOLOGO

1 9 7 9



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

JURADO

Presidente	Prof. MANUEL NAVARRETE TEJERO
Vocal	Prof. LUIS GALVEZ CRUZ
Secretario	Prof. LUIS CABRERA MOSQUEDA
1er. Suplente	Prof. JUAN LARTIGUE GORDILLO
2º. Suplente	Prof. GUILLERMINA BURILLO DE VELAZQUEZ.

Sitio en donde se desarrolló el tema:

CENTRO DE ESTUDIOS NUCLEARES DE LA UNAM.

Sustentante:	ENRIQUETA CASTREJON RODRIGUEZ
Asesor del tema:	M. en C. LUIS CABRERA MOSQUEDA
Asesor técnico:	M. en C. LUIS GALVEZ CRUZ

Con cariño y respeto

a mis padres:

SIMONA y JUAN.

A mis suegros:

VICTORIA y MANUEL.

A mi esposo:

JOAQUIN

Por su cariño y

comprensión.

Con amor a mis hijos:

JUAN MANUEL y LAURA.

Con afecto a mis

Hermanos y Cuñados.

A mis maestros y compañeros.

Deseo agradecer al Dr:

MARCOS ROSENBAUM PITLUK

por haberme permitido
elaborar esta tesis en
el Centro de Estudios
Nucleares durante su
digno cargo.

Expreso mi sincero agra
decimiento al M. en C.

LUIS CABRERA MOSQUEDA

por la dirección de la
tesis, por su paciencia
en enseñarme el manejo
de los equipos y aparatos
empleados en la par
te experimental de ésta.

Agradezco también al M. en C.

LUIS GALVEZ CRUZ

su valiosa asesoría en la prepa
ración y revisión de esta tesis.

Al Honorable Jurado.

C O N T E N I D O

	Pág.
Lista de cuadros	F
Lista de ilustraciones	G

C A P I T U L O I

DOSIMETRIA

1.1.- Unidades y términos comunes.....	3
1.2.- Equivalencia entre unidades de dosis de <u>ex</u> posición y unidades de actividad.....	14
1.3.- Equivalencia entre actividades en Curios de.. una fuente gamma y Kw en generadores.....	15
1.4.- Dosímetros comunes.....	16
1.5.- Conversión del valor de dosis absorbida de - un medio a otro.....	33

C A P I T U L O 2

DOSIMETROS A BASE DE AZUCARES

2.1.- Radiólisis de agua y soluciones acuosas.....	37
2.2.- Dosímetro de D (+) Maltosa.....	41
2.3.- Dosímetro de Sucrosa	44
2.4.- Dosímetro de Fructosa.....	45
2.5.- Dosímetro de Arabinosa.....	46
2.6.- Dosímetro de D (+) Glucosa.....	47

C A P I T U L O 3

MATERIALES Y METODOS

M A T E R I A L E S

EQUIPO:

3.1.- Fuentes radiactivas.....	54
3.2.- Polarímetro.....	57
3.3.- Densitómetro.....	59

REACTIVOS :

3.4.- Dosímetro de referencia.....	61
3.5.- Soluciones dosimétricas.....	62

M E T O D O S

3.6.- Irradiación	64
3.7.- Técnicas analíticas:	65
3.7.a.- Determinación polarimétrica.....	65
3.7.b.- Determinación densitométrica.....	65
3.7.c.- Determinación de pH.....	65
3.8.- Curvas de calibración y cálculo de dosis.....	65

C A P I T U L O 4

DISCUSION, RESULTADOS, CONCLUSIONES.

4.1.- Discusión.....	69
4.2.- Resultados.....	70
4.3.- Conclusiones.....	70

C A P I T U L O 5

BIBLIOGRAFIA.....	81
-------------------	----

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro No. 1.- Decaimiento del Co -60.....	72
Cuadro No. 2.- Irradiación central en el Gamma- beam 650.....	73
Cuadro No. 3.- Irradiación panorámica en el Gamma- beam 650.....	75
Cuadro No. 4.- Irradiación en el Gammacell 200.....	76
Cuadro No. 5.- Cálculo de la pendiente de la curva- de calibración para el dosímetro de- D(+) Glucosa por el método de los - mínimos cuadros.....	77
Cuadro No. 6.- Prueba de reproducibilidad de resul- tados.....	79

LISTA DE ILUSTRACIONES

	Pág.
Figura No. 1.- Efecto Fotoeléctrico.....	10
Figura No. 2.- Efecto Compton.....	11
Figura No. 3.- Producción de pares.....	12
Figura No. 4.- Radiólisis de glucosa en presencia- de oxígeno.....	53
Figura No. 5.- Gammabeam 650	55
Figura No. 6.- Consola de mandos del Gammabeam 650	55
Figura No. 7.- Gammacell 200	58
Figura No. 8.- Polarímetro modelo SR-5.....	58
Figura No. 9.- Densitómetro, AECL.....	60
Figura No.10.- Curva de calibración para el dosíme- tro de acrílico rojo.....	67
Figura No.11.- Potenciómetro Hitachi modelo LNX....	66
Figura No.12.- Curva de calibración para el dosíme- metro de D(+) Glucosa.....	68

INTRODUCCION

La dosimetría química se lleva a cabo, con el fin de determinar la dosis absorbida por un material irradiado. Cualquier sistema en el cual se observe un cambio químico medible y el cual sea atribuible a la radiación, puede en principio emplearse como dosímetro químico de la radiación y utilizarse como tal.

Se emplean como dosímetros químicos; sistemas sólidos, líquidos o gaseosos. Como ejemplo de dosímetros sólidos están: Los de película-plástico, sistemas con colorantes orgánicos incorporados, compuestos sólidos y películas fotográficas.

La mayor parte de los dosímetros líquidos, se basan en soluciones acuosas de diferentes compuestos. Los más conocidos son: El dosímetro de Fricke, el ferroso-cúprico, el de sulfato cérico y el de ácido oxálico.

El uso de sistemas gaseosos está limitado generalmente a algunas investigaciones.

La disponibilidad de un dosímetro aprobado por The American Society for testing Materials (ASTM), permite actualmente contar con un procedimiento el cual podría ser de utilidad en la preparación de otro dosímetro particular, aunque es necesario adquirir información adicional para obtener resultados satisfactorios. Tal información consistiría idealmente en:

- 1.- Establecer los criterios de selección de un dosímetro para una aplicación determinada.

2.- Preparación del dosímetro.

3.- Factores de interés, que influyen en la magnitud de la dosis absorbida por el dosímetro y que afectan la reacción radiolítica en el proceso de irradiación.

4.- El método analítico.

5.- El cálculo de la dosis.

En este trabajo se da la información anterior, con el objeto de tener disponible un dosímetro químico para las fuentes de Cobalto-60 del Centro de Estudios Nucleares de la Universidad Nacional Autónoma de México.

CAPITULO 1

DOSIMETRIA

1.1 Unidades y términos comunes .

En este capítulo se definirán los términos y unidades de uso común en el estudio de la medición de las radiaciones.

a) Dosis de exposición.-

Tiene como unidad el Roentgen (R) que es la unidad de dosis de exposición a la radiación electromagnética & ó X, tal que la emisión corpuscular asociada a 0.001293 g (que es el peso de 1 cm³ de aire en condiciones normales de presión y temperatura), produce en él iones de cualquier signo que transportan una unidad electrostática de carga. (4,11)

Se tienen unidades múltiplos y submúltiplos derivados del Roentgen como son:

Múltiplos	Submúltiplos
Megaroentgen = 10 ⁶ R	deciroentgen = 10 ⁻¹ R
Kiloroentgen = 10 ⁴ R	centiroentgen = 10 ⁻² R
Hectoroentgen = 10 ² R	miliroentgen = 10 ⁻³ R
Decaroentgen = 10 R	microroentgen = 10 ⁻⁶ R
	nanoroentgen = 10 ⁻⁹ R
	picoroentgen = 10 ⁻¹² R

Las equivalencias del Roentgen son:

$$R = 2.58 \times 10^{-4} \text{ Coulomb/kg}$$

$$\begin{aligned}
 R &= 2.0 \times 10^{-6} \text{ Cal/g} \\
 &= 87.0 \text{ erg/g} \\
 &= 5.44 \times 10^7 \text{ Mev/g} \\
 &= 7.03 \times 10^4 \text{ Mev/cm}^3 \\
 &= 1.61 \times 10^{12} \text{ par iones/g (aire)} \\
 &= 2.082 \times 10^9 \text{ par iones /cm}^3 \text{ (aire)}
 \end{aligned}$$

El índice o razón de exposición está dado en Roentgen por unidad de tiempo como: R/h, R/min, R/seg (8)

Dosis absorbida.-

Es la energía absorbida ΔE por unidad de masa Δm en un lugar específico del material.

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

Tiene como unidad el rad, que se define como la medida de la energía impartida a la materia por radiación ionizante por unidad de masa (g), de material irradiado y que equivale a una absorción de energía de 100 ergios por gramo. (4,8)

Se tienen también múltiplos y submúltiplos derivados del rad como en el caso del Roentgen.

La razón de dosis absorbida se da en rad por unidad de tiempo como: rad/h, rad/min, etc.

Dosis equivalente-hombre.-

Es la unidad empleada para expresar la dosis biológica en

el hombre es el rem (Roentgen equivalente en el hombre) que es, la dosis de cualquier tipo de radiación ionizante que aplicada al hombre es biológicamente equivalente a la exposición de un Roentgen de radiación X ó γ . Por lo tanto:

$$\text{Dosis en rem} = \text{Dosis en rad} \times \text{Factor de calidad}$$

Equivalente físico.-

Rep (equivalente físico del Roentgen). Se emplea para expresar la exposición a la radiación corpuscular y se define como la exposición a cualquier radiación ionizante que produce una absorción de energía de 93 a 97 ergios por gramo de tejido.-

(8)

El rep sólo es válido cuando se habla de tejido blando y de radiación electromagnética de energía media; esto es, entre 0.3 y 3.0 Mev. Aunque esta unidad es aún empleada en estudios sobre irradiación de alimentos, esta puede ser reemplazada por la unidad rad.

Factor de Calidad (F.C.).-

Es el factor resultante de la relación de dosis absorbida de rayos γ de energía específica necesaria para producir un determinado efecto biológico, con la dosis absorbida de otro tipo de radiaciones (en rad) necesaria para producir el mismo efecto.

$$\text{F.C} = \frac{\text{Dosis absorbida de energía específica (rads)}}{\text{Dosis absorbida de cualquier radiación (rads)}}$$

Es un factor dependiente del valor LET por el cual, de la dosis absorbida se puede obtener la dosis equivalente.

Equivalencias:

Para rayos γ únicamente:

$$1 \text{ rem} = 1 \text{ rad} = 1 \text{ rep} = 1 \text{ Roentgen}$$

Para cualquier otra radiación:

$$1 \text{ rem} = 1 \text{ rad} \times \text{F.C.}$$

Valores del F.C. para algunas radiaciones.-

Radiación	F.C.
X, γ	1
β^- , e^- $>$ 0.03 MeV	1
$\frac{1}{1}\text{H}$, $\frac{1}{0}\text{n}$ rápidos $>$ 2 MeV	10
$\frac{1}{0}\text{n}$ lentos (0.025 eV)	5

Actividad.-

La actividad de una cantidad dada de un radionúclido, es el cociente del número de transformaciones nucleares espontáneas que ocurren en un determinado intervalo de tiempo. (4)

$$A = \frac{dN}{dt}$$

Las unidades de actividad se dan en desintegraciones por unidad de tiempo. Una de ellas es el Curio, que se define como:

La cantidad de material radiactivo en el que se desintegran

3.7×10^{10} átomos por segundo.

Los submúltiplos del Curio (Ci ó C) de uso común son:

milicurio (mC) = 3.7×10^7 desintegraciones/seg.

= 2.22×10^9 desintegraciones /min.

microcurio (μ C) = 3.7×10^4 desintegraciones /seg.

= 2.22×10^6 desintegraciones /min.

picocurio (p C) = 3.7×10^{-2} desintegraciones/seg.

= 2.22 desintegraciones/min.

Equivalencias del Curio:

Ci = 2.22×10^{12} desintegraciones/min.

= 10^3 milicurios

= 10^6 microcurios

= 10^{-3} Kilocurios

= 10^{-6} Megacurios

Interacción radiación-materia.-

Se consideran esenciales algunos conocimientos de los procesos por los cuales la radiación interacciona con la materia para mejor entendimiento del fenómeno de la Química de Radiaciones, ya que los efectos químicos son consecuencia directa de la absorción de energía de la radiación. (3,4)

Interacción con partículas cargadas.-

Al interaccionar un haz de partículas cargadas con la materia, se pueden provocar dos fenómenos: Ya sea Ionización o Exi

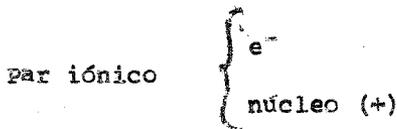
tación.

Ionización.-

Cuando una partícula cargada pasa cerca de un átomo pueden actuar fuerzas electrostáticas entre ellas y los electrones orbitales externos; como consecuencia, dichos electrones son atraídos o repelidos por la partícula cargada según el signo de su carga, recibiendo en ambos casos cierta cantidad de energía. La energía recibida por un electrón en particular puede ser tan elevada que supere a la energía que lo mantiene ligado al átomo en su órbita electrónica en cuyo caso dicho electrón escapará, a este fenómeno se le conoce con el nombre de ionización. Y la intensidad de ionización causada por las partículas está expresada por la ionización específica, que se define como el número de pares iónicos formados por unidad de longitud de trayectoria. (4,6)

Par iónico.-

Cuando escapa el electrón de su órbita, deja cargado positivamente al núcleo y se dice que se ha formado un par iónico.



Excitación.-

Cuando la energía recibida por el electrón es insuficiente

para que escape del átomo, tiene lugar el fenómeno de excitación; el electrón adquiere entonces dentro del átomo un nivel superior de energía, pasando a una órbita más alejada del núcleo y al caer nuevamente a su estado inicial, el átomo emite la diferencia de energía entre ambos estados en forma de un fotón de longitud de onda característica.

Cuando se trata de partículas de energía muy baja, predomina la excitación sobre la ionización. (4,11)

Interacción Gamma-materia.-

La interacción de los rayos γ con la materia es muy diferente a la interacción de las partículas cargadas y los neutrones. La diferencia estriba en su mayor penetración y en sus leyes de absorción, la cual es exponencial y no tiene un límite definido como en el caso de partículas cargadas. (11,17)

Existen tres procesos principales, los cuales son responsables de la absorción de rayos γ : Efecto Fotoeléctrico, Dispersión Compton y Producción de pares.

Efecto Fotoeléctrico.

Se considera como una interacción con un electrón orbital de un átomo completo y no con el simple electrón arrancado, este proceso no se lleva a cabo con electrones libres.

En esta interacción la radiación electromagnética o fotón se absorbe totalmente, y como resultado de esta absorción se emite un electrón llamado fotoelectrón. El fotoelectrón a su vez,

pierde su energía produciendo pares iónicos.

El hueco dejado por el fotoelectrón, se llena con un electrón de un nivel mas alto acompañando a este paso, la emisión de un rayo X con una energía igual a la diferencia de energías de enlace de los dos niveles electrónicos. El rayo X de esta manera formado, puede a su vez interaccionar con otro electrón del mismo átomo expulsándolo al exterior. Este efecto se lleva a cabo con energías muy bajas del orden de 0.1 MeV (100 eV) y el balance de energía es como sigue:

$$E_{\gamma} = E_{\gamma'} + E_{4e} \quad (17)$$

Donde:

E_{γ} = Energía del fotón o rayo γ incidente.

$E_{\gamma'}$ = Energía del fotón absorbido

E_{4e} = Energía de amarre del electrón. (17)

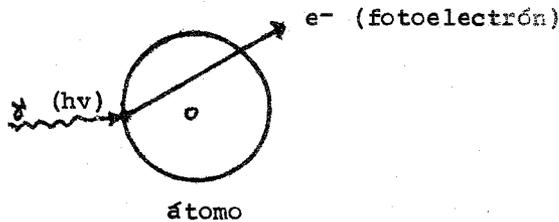


Fig. 1 Efecto Fotoeléctrico.

Efecto Compton (Dispersión Compton).-

Consiste en la colisión elástica de un fotón con un electrón libre o bien con un electrón atómico periférico, cuya energía de amarre sea tan pequeña que pueda considerarse prácticamente libre.

En este caso, la energía del fotón provocará la emisión

del electrón pero no será completamente absorbida y continuará su trayectoria con menor energía que la inicial después de la interacción desviándose en un ángulo θ .

La radiación gamma para este efecto requiere de energías de 0.6 a 5.0 MeV, la cual puede interaccionar varias veces antes de ser absorbida totalmente. El fotón debilitado, finalmente se absorbe como en el efecto fotoeléctrico produciendo además ionización secundaria. En este caso, el balance de energía es:

$$E_{\gamma_1} = E_{\gamma_2} + E_{\Delta e}$$

donde:

E_{γ_1} = Energía del rayo γ incidente.

E_{γ_2} = Energía del rayo γ dispersado.

$E_{\Delta e}$ = Energía de amarre del electrón. (3, 17)

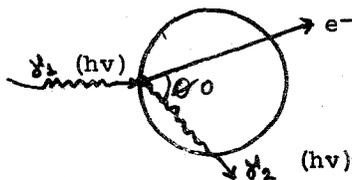


Fig. 2 Efecto Compton.

Producción de pares.-

Este es el efecto menos frecuente de los tres, debido a que el fotón incidente debe tener una energía de 1.02 MeV como mínimo.

En este caso ocurre la completa absorción del fotón en las cercanías del núcleo atómico y en su lugar aparece un electrón (e^-) y un positrón (e^+).

El e^- produce un par iónico secundario, mientras que el e^+

no tarda en chocar (por su carga positiva en un ambiente de carga negativa) con un electrón orbital y por aniquilación de cargas, se producen un par de rayos γ con energía de 0.51 MeV cada uno, los cuales salen con direcciones opuestas.

Cuando la energía del fotón incidente es mayor de 1.02 MeV, el exceso es energía cinética que comparten los dos electrones (e^- y e^+) en forma equitativa. (3,17)

La energía involucrada en este proceso es la siguiente:

$$E_{\gamma} = 0.51 \text{ MeV} \times 2 = 1.02 \text{ MeV}$$

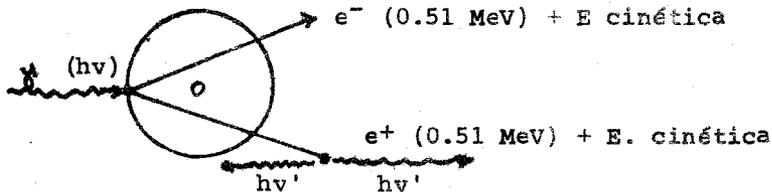


Fig. 3 Producción de pares.

Es conveniente además, hacer notar otros términos empleados en la dosimetría de radiaciones como son:

Trasferencia lineal de energía (LET).

Se define como la relación que existe entre la energía localmente transferida al medio por una partícula cargada de cierta energía, en su paso a través de una distancia de longitud dada.

$$LET = \frac{dE}{dx}$$

Las unidades en las cuales se expresan los valores de LET son usualmente: Kilo electrón volt por micrón (Kev/μ). (7.18)

Rendimiento radioquímico "G".

Es el rendimiento químico provocado por las radiaciones ionizantes. Se define como el número de moléculas formadas o descompuestas por cada 100 eV de energía absorbida. (4)

Este valor es independiente de la dosis o razón de dosis y de la naturaleza de la radiación, de tal modo que:

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

donde:

N= Número de moléculas, iones o radicales producidos o transformados en un volumen dado.

D= Energía absorbida por ese volumen.

Electrón volt (eV).

Es una unidad de energía, equivalente a la cantidad de energía que adquiere un electrón cuando se acelera a través de una diferencia de potencial de un volt. (18).

Se usan con frecuencia unidades múltiplos del eV como son:

KeV (Kiloelectrón volt) = 10^3 eV

MeV (Megaelectrón volt) = 10^6 eV

Equivalencias:

Se tiene que: $e^- = 1.6 \times 10^{-19}$ Coulomb

1 eV = 1.6×10^{-19} Coulomb X volt

= 1.6×10^{-19} Joule

y además: 1 joule = 1×10^7 erg

entonces: $1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-12} \text{ erg}$

$1 \text{ KeV} = 1.6 \times 10^{-9} \text{ erg}$

$1 \text{ MeV} = 1.6 \times 10^{-6} \text{ erg}$

Otras equivalencias son:

$1 \text{ erg} = 6.24 \times 10^{11} \text{ eV}$

$1 \text{ eV} = 10^{-6} \text{ MeV}$

Equilibrio electrónico.

Se denomina también equilibrio de partículas cargadas y se considera la condición existente en un punto dentro de un medio bajo irradiación, cuando por cada partícula cargada que sale del volumen del elemento circundante, entra otra partícula cargada de la misma naturaleza y energía.

1.2 Equivalencia entre unidades de dosis de exposición y unidades de actividad.

La intensidad gamma (I_γ) la encontramos de la siguiente forma:

$$I_\gamma = 0.156 \times 10^5 \times n \times E \times \mu_a \times \text{mCi} = \text{mr/h}$$

Donde:

I_γ = Índice de exposición a un metro de distancia.

n = Número de fotones por desintegración.

E = Energía de radiación gamma en MeV.

μ_a = Coeficiente de absorción lineal en el aire (en cm^{-1})

mCi = Actividad en milicurios.

1.3 Equivalencia entre actividades en Curios de una fuente gamma y Kw en generadores.

La equivalencia entre actividades en curios de fuentes de C_{s137} y C_{o60} con generadores de electrones, se encuentra con la siguiente fórmula empírica:

$$5.92 \times E_k \times 10^{-6} = \frac{Kw}{Ci}$$

En donde:

E_k = Energía cinética del fotón.

Kw = Kilowatt

Ci = Curio

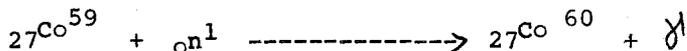
Por ejemplo:

1 Kw de potencia de un acelerador linear, de un generador de rayos X o de un generador Van der Graff equivale a:

1 Kw ----- 67,567 Ci de Co-60

Cobalto -60

El Co-60 es un isótopo radiactivo, que se produce en reactores nucleares por bombardeo de neutrones al Co-59 el cual es inerte.



El Co-60 tiene una vida media radiactiva de 5.25 años, es un emisor β^- , γ y decae a ${}_{28}^{60}\text{Ni}$ inerte. (Cuadro número 1)

β^- : 1.48 MeV Máxima

γ : 1.17 MeV

1.13 MeV

1.4 Dosímetros comunes.

La Dosimetría es la parte de la Química de Radiaciones, que trata de determinar la magnitud de la energía absorbida por un material. (12)

Los métodos para medir la dosis de energía absorbida se dividen en absolutos o primarios y secundarios.

Métodos absolutos.

Los métodos absolutos, involucran la determinación directa de la dosis de exposición o de la dosis absorbida (por Calorimetría), la ionización producida por un gas o la carga transportada por un haz de partículas cargadas de energía conocida.

Calorimetría.

Los métodos calorimétricos, se basan principalmente en la medición del incremento en la temperatura de un material expuesto en un haz de radiación. El material puede ser tal, que toda la energía absorbida se convierta en calor; también es necesario que este material sea buen conductor del calor (como el grafito, que es de los más empleados). (11,12)

Ahora bien; si el material es de tamaño suficiente para absorber completamente la radiación, la magnitud del incremento de

la temperatura se relaciona directamente a la densidad del flujo de energía o intensidad del haz. La cantidad de calor generada en el material es extremadamente pequeña, por lo cual el método calorimétrico no es propio para uso rutinario, sin embargo puesto que los resultados se obtienen en unidades absolutas de energía, el método calorimétrico da una importante comparación con otros métodos no absolutos. La dosis absorbida en cualquier punto en el material, se puede calcular de la medida de la intensidad de la radiación, o bien puede ser medida calorimétricamente, aunque como ya se anotó es más difícil.

Medidas por ionización.

Básicamente una cámara de ionización consiste de 2 electrodos separados por un gas, en el cual la radiación incidente produce una ionización. Si se aplica una diferencia de potencial entre los electrodos para atraer los iones hacia ellos, se genera una corriente o descarga de los electrodos que se mide por medio de dispositivos adecuados. La cantidad medida de este modo, es la exposición de la cual se puede calcular la dosis absorbida, la composición del medio y la energía o el espectro de energía de la radiación.

Métodos secundarios.

En los métodos secundarios, la respuesta a la radiación es

es conocida por comparación con los dosímetros primarios. (12)

Entre los dosímetros secundarios se tienen los dosímetros de estado sólido y los dosímetros químicos.

Dosímetros de estado sólido.

La característica principal de este grupo de dosímetros es su estado físico que es el sólido. Este tipo de dosímetros pueden ser calibrados por un dosímetro absoluto, o bien con el dosímetro secundario de Fricke.

Son ejemplo de este tipo de dosímetros:

- Sales de LiF, CaSO₄, Li₂Ba₄O₇ por termoluminiscencia.
- Sales de fosfato de plata. Fluorescencia a la luz ultra violeta.
- Halogenuros de plata. En película fotográfica.
- Cristales de ácido oxálico. Espectrofotometría o Volumetría.
- Sales de antraceno-P-Terfenilo. Luminiscencia.
- Plástico (perpex). Densitometría o Espectrofotometría.
- Vidrio de coblato. Densitometría o Espectrofotometría.
- etc.

Dosímetros químicos.

En dosimetría química, la dosis de radiación se determina del cambio químico que se produce en un sustrato adecuado. Se

emplean por su gran versatilidad, pues se usan para medir dosis o límites de dosis relativamente altas las cuales son superiores al límite de las dosis medibles por los dosímetros primarios, además que pueden ser convertidas a la dosis absorbida por otros materiales.

Para facilitar esta conversión y reducir errores, generalmente se elige un sistema dosimétrico que tenga la misma composición atómica y densidad de la muestra a irradiar, o lo más cerca posible. (11,12)

Debido a que existe un gran número de dosímetros químicos, es conveniente hacer notar algunas características deseables en ellos como son:

1.- La respuesta del dosímetro deberá ser principalmente:

a) Proporcional a la dosis de radiación en un amplio límite de dosis. El límite de interés es aproximadamente de 10^{-10} rad.

b) Independiente a la energía y LET de la radiación.

c) Independiente de la temperatura antes y después de la irradiación.

d) Independiente a la razón de dosis.

e) Reproducible. Para la mayoría de los propósitos, es aceptable una precisión de $\pm 5\%$.

2.- El dosímetro deberá ser estable bajo condiciones normales, como exposición a la luz y aire, antes y después de ser-

irradiado.

3.- Simple de usar.

4.- Fácil de preparar desde el punto de vista de reactivos y solventes. El sistema deberá ser insensible a pequeñas cantidades de impurezas.

5.- La respuesta del dosímetro debe ser independiente de mínimos cambios en la composición como por ejemplo pequeñas variaciones en la concentración de los reactivos empleados.

6.- Fácil de calcular.

En general, un dosímetro líquido o gaseoso consiste de dos partes: Un contenedor denominado celda de irradiación y una sustancia o solución química dentro de ella. (5)

El principio de los dosímetros líquidos es el siguiente:

El dosímetro contiene una sustancia química disuelta, la cual puede reaccionar con una o varias especies de los productos radiolíticos primarios del agua, aún cuando sus concentraciones sean bajas; la medida de los productos finales así formados o del cambio en la concentración de la sustancia inicial o bien de alguna de sus propiedades, proporciona la información necesaria para la obtención de los valores de la dosis deseada.

Entre los dosímetros químicos líquidos más comunes se tienen los siguientes:

DOSIMETRO DE FRICKE.

Es el sistema dosimétrico de mayor aceptación como estan-

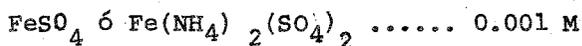
dar en Química de Radiaciones y debido a su exactitud y reproducibilidad se emplea para calibrar otros sistemas dosimétricos.-

(12)

Se basa principalmente en la oxidación de una solución ácida de sulfato ferroso a sal férrica en presencia de oxígeno y bajo la influencia de la radiación.



Composición química:



Estas sustancias se disuelven en agua tridestilada.

Límites de aplicación: El límite usual de este sistema es de 4×10^3 a 4×10^4 rad.

Razón de dosis: Para irradiaciones con rayos X se ha visto que el dosímetro estandar es independiente de la razón de dosis entre 0.1 — 4×10^3 rad/segundo (3.6×10^{-4} -- 14.4 Mrad/h).

Medición de la dosis.- La determinación de la concentración del ión férrico puede llevarse a cabo por medio de una titulación potenciométrica con dicromato de potasio o sulfato cérico; pero un método más conveniente, es medir directamente en un espectrofotómetro a una longitud de onda de alrededor de 302

nm.

Cálculo de la dosis.- La dosis absoluta se calcula de la ecuación:

$$D = \frac{N \times \Delta OD \times 100}{\epsilon \times \rho \times 10^3 \times G \text{ (Fe}^{3+})} \text{ eV/g}$$

En donde:

N= Número de Avogadro (6.024×10^{23} moléculas/mol).

ΔOD = Diferencia en la densidad óptica entre la muestra irradiada y la muestra sin irradiar (blanco).

ϵ = Coeficiente de extinción molar ($2197 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ a 25°C).

ρ = Densidad específica de la solución dosimétrica.

G(Fe³⁺) = Número de iones ferrosos oxidados por 100 eV de energía absorbida (para este caso igual a 15.6).

Estabilidad.- El sistema es estable antes y después de ser irradiado. Se recomienda refrigerarla.

Una variación a este sistema, es el sistema dosimétrico denominado "Super Fricke"; cuya base es la misma que la del Fricke estandar y que tiene la siguiente composición química.

FeSO₄ ó Fe(NH₄)₂ (SO₄)₂ 0.01M

H₂SO₄ 0.8N

O₂ saturado..... (1.1. mM O₂)

Reactivos disueltos en agua tridestilada.

Con este dosímetro pueden medirse límites de dosis absor-

absorbida de 2×10^3 — 10^5 rad (mayor que el estandar). El sistema es independiente de una razón de dosis de 10^4 rads/pulso.

La dosis se determina espectrofotométricamente. Presenta un valor $G(\text{Fe}^{3+}) = 16.1$

DOSIMETRO FERROSO-CUPRICO (FRICKE MODIFICADO).

Este sistema dosimétrico es una variación del Fricke estandar y se basa en la oxidación del ión ferroso en una solución acuosa de ácido sulfúrico, conteniendo sulfato cúprico. (12,22).



El sistema aplicado, es una solución saturada de oxígeno que contiene sulfato ferroso (o sulfato ferroso amoniacal), sulfato cúprico y agua tridestilada. Las concentraciones son:

Fe^{2+}	0.001 M
Cu^{2+}	0.010 M
H_2SO_4	0.005 N

Límite de aplicación.- El límite de la dosis absorbida es usualmente de 5×10^4 — 10^6 rad.

Razón de dosis.- La influencia de la razón de dosis para irradiación con electrones con pulso de 1.1 seg es insignificante para 100 rad/pulso.

Determinación de la dosis.- Esta se lleva a cabo midiendo la concentración de iones férrico por medio de un espectrofotó-

metro a una longitud de onda de alrededor de 302 nm.

Cálculo de la dosis.- Ya que el valor de $G(\text{Fe}^{3+})$ del dosímetro decrece fuertemente con el incremento de la dosis, se puede trazar una curva de calibración (por ejemplo tomando como estandar el dosímetro de Fricke). La solución saturada de oxígeno tiene un valor $G(\text{Fe}^{3+})$ inicial de 0.72.

El sistema es independiente de la temperatura de irradiación. Es importante la concentración de ácido sulfúrico y del oxígeno, pues el valor de $G(\text{Fe}^{3+})$ depende de ésto. La precisión de este dosímetro es de $\pm 2\%$.

DOSIMETRO DE SULFATO CERICO.

El proceso empleado para la determinación de la dosis absorbida es la reducción de iones céricos a cerosos. (12,22)



Composición química: El sistema usado, está compuesto de una solución de sulfato cérico y sulfato ceroso en ácido sulfúrico 0.8N. La concentración inicial del sulfato ceroso es igual a la del sulfato cérico.

Límites de aplicación.- El límite de dosis de absorción es de 10^4 ——— 2×10^7 rads.

Razón de dosis.- Para la irradiación con electrones, la influencia de la razón de dosis es insignificante para 100 rads /pulso.

Determinación de la dosis.- Se lleva a cabo midiendo la concentración de iones céricos mediante un espectrofotómetro a una longitud de onda de alrededor de 302 nm.

Cálculo de la dosis.- El valor de G para la reducción de los iones cérico varía con la concentración inicial del sulfato cérico como se representa en el siguiente cuadro:

Conc. inicial de Ce (SO ₄) ₂ mM	Variación en el valor G(Ce ⁴⁺)
0.2	2.34
1.5	2.32
10.0	2.26
50.0	2.04

Basándose en los valores de G, la dosis puede calcularse de la ecuación:

$$\text{Dosis} = \frac{\Delta\text{OD} \times d}{G} \times 1.67 \times 10^5 \text{ rads}$$

donde:

d = factor de dilución

ΔOD = Cambio en la densidad óptica.

Estabilidad.- Este sistema es altamente sensible a la luz. Para protegerlo es suficiente con envasarlo en recipientes que lo protejan de los rayos ultravioleta. Es estable antes y después de la irradiación. El rendimiento radiolítico es constante con temperaturas entre 7° y 35°C.

La precisión de este sistema es de $\pm 2\%$.

DOSIMETRO DE ACIDO OXALICO.

Este sistema se basa en la descomposición radiolítica del ácido oxálico en solución acuosa. (4,12)

Composición química.- El sistema empleado, es una solución acuosa en un límite de concentración de 25 a 600 mM de ácido oxálico.

Límites de aplicación.- Los límites de dosis medida son usualmente de 0.5 — 100 Mrads dependiendo de la concentración del ácido oxálico, como se observa en el siguiente cuadro:

Acido oxálico concentración en mM	Límites de aplicación Mrads
25	0.5 - 5
50	1.0 - 10
100	2.0 - 20
200	4.0 - 35
600	10.0 - 100

Razón de dosis.- La influencia de la razón de dosis es in-significante en la región de 10^2 — 10^{10} rad/segundo (0.36×10^6 Mrad/h).

Determinación de la dosis.- La forma de determinar la dosis absorbida es por medio de una titulación con NaOH o permanganato de potasio de la muestra antes y después de ser irradiada.

do. Puede determinarse además por método espectrofotométrico.

Cálculo de la dosis.- La dosis absorbida se calcula de la expresión:

$$D \text{ (eV/ml)} = a C_0 \log \left(\frac{C_0}{C} \right)$$

En donde:

a = Factor de proporcionalidad obtenido por calibración en el sistema.

C₀ = Concentración inicial del ácido oxálico en moléculas /ml de la solución sin irradiar.

C = Concentración de ácido oxálico en moléculas/ml de la solución irradiada.

Además C y C₀ se calculan de:

$$C = \frac{T_n \times 10^{-3} \times 6.02 \times 10^{23} \times \rho}{X \times 2}$$

$$C_0 = \frac{T_0 \times 10^{-3} \times 6.02 \times 10^{23} \times \rho}{X_0 \times 2}$$

donde:

X = Peso de la muestra en gramos de la solución irradiada.

X₀ = Peso de la muestra en g. de la solución sin irradiar.

T = Número de ml de base empleados en la titulación de los gramos de solución irradiada.

T₀ = Número de ml de base empleados en la titula-

ción de los gramos de solución sin irradiar.

n = Normalidad de la solución de NaOH empleada.

ρ = Densidad de la solución dosimétrica en g/ml.

El valor para la degradación del ácido oxálico es:

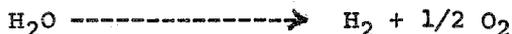
$$G(-\text{HOOC}-\text{COOH}) = 4.9 \pm 0.4$$

Estabilidad.- El sistema es estable por meses. No es sensible a pequeñas cantidades de impurezas.

Reproducibilidad.- Para este sistema es de $\pm 3\%$.

DOSIMETRO A BASE DE AGUA.

Este dosímetro, se basa en la descomposición catalizada del agua. La reacción neta es:



Composición del sistema.- El sistema se compone de ioduro de potasio 0.0001 M en agua tridestilada saturada de aire.

Límites de aplicación.- Se necesitan cerca de 5 Mrads para iniciar la saturación del agua con el oxígeno.

Razón de dosis.- Esta se puede determinar por la evolución de hidrógeno y oxígeno.

Determinación de la dosis.- La dosis se determina midiendo la razón de evolución de gas que se forma en la reacción, mediante un aparato especial. (12)

Cálculo de la dosis.- La dosis se calcula de la ecuación:

$$D \text{ (rads)} = \frac{\Delta M \times 9.64 \times 10^8}{G \text{ (H}_2 + 1/2 \text{ O}_2) \rho} = \frac{\Delta v \times 4.30 \times 10^7}{G \text{ (H}_2 + 1/2 \text{ O}_2) \times v}$$

donde:

ΔM = Moles de gas.

Δv = cm³ de gas colectado bajo condiciones estandar

ρ = Densidad del agua (1 g/ml).

v = Volumen irradiado.

$G(\text{H}_2 + \text{O}_2) = 0.575$ (para rayos gamma de Co-60).

Condiciones.- La solución debe ser neutra. El dosímetro opera bajo condiciones donde la solución es saturada con H₂ y O₂; se encuentran además presente H₂O₂.

El rendimiento radiolítico es independiente de la temperatura en el límite de 8°— 90°C. Además, se puede operar a temperatura ambiente pero a temperaturas muy altas el agua puede condensarse, por lo cual no es recomendable trabajar con estos límites de temperatura.

DOSIMETRO DE BENCENO.- AGUA.

Este sistema dosimétrico está basado en la oxidación del benceno en solución acuosa neutra, a fenol y otros compuestos.-

(12)

Composición.- El sistema dosimétrico, consiste de una solución neutra de agua saturada con benceno y aire. La concentración del benceno en la fase acuosa saturada es de 0.021 moles/l a 20°C.

Límites de aplicación.- El límite de dosis que puede ser conveniente y exactamente medible es de 5×10^3 — 7×10^4 rad para agua saturada de aire a 20°C.

Razón de dosis.- El límite de la razón de dosis es de 1 a 100 rad/segundo (3.6×10^{-3} -- 0.36 Mrad/h), el cual no tiene influencia en el rendimiento.

Determinación de la dosis.- La dosis absorbida se determina por análisis espectrofotométrico a una longitud de onda de alrededor de 290 nm; pero como se forman muchos compuestos en la irradiación, la respuesta en el proceso analítico no puede ser atribuible únicamente al fenol, el cual es el producto principal.

Cálculo de la dosis.- La dosis absorbida de radiación gamma por este dosímetro se puede calcular con la ecuación:

$$D = (F/P\rho) \left\{ [(OD)_{AS} - (OD)_{NS}] - [(OD)_{AB} - (OD)_{NB}] \right\} (0.1630 \times 10^6)$$

En donde:

D = Dosis en rads.

F = Factor de dilución.

$$F = \frac{\text{Volumen total de la muestra diluida}}{\text{Volumen de la muestra sin diluir}}$$

P = Largo de la celda espectrofotométrica en cm.

- = Densidad de la solución dosimétrica en g/cm^3 .
- $(\text{OD})_{\text{AS}}$ = Densidad óptica de la muestra alcalina irradiada.
- $(\text{OD})_{\text{NS}}$ = " " " " " neutra irradiada.
- $(\text{OD})_{\text{AB}}$ = " " " " " alcalina no irradiada.
- $(\text{OD})_{\text{NB}}$ = " " " " " neutra no irradiada.

El rendimiento aparente para el fenol es de 2.35 moléculas/100eV. La respuesta del procedimiento analítico se calcula con el dosímetro de Fricke.

Estabilidad.- El sistema dosimétrico benceno-agua es relativamente insensible a pequeñas cantidades de impurezas. Es estable antes y después de ser irradiado. No es corrosivo.

Es importante la presencia de oxígeno en la solución, pues este toma parte en la reacción. El rendimiento radiolítico es independiente en un límite de temperaturas de 15° — 90°C ; a temperaturas mayores, se incrementa el rendimiento de fenol. (11)

DOSIMETRO DE ETANOL - CLOROBENCENO.

El uso de este sistema en Dosimetría, se basa en la formación de ácido clorhídrico como resultado de la disociación del

clorobenceno (principalmente por la captura del electrón disociado). (9,12)



La precisión de este sistema es de $\pm 1\%$ y la exactitud es de $\pm 3\%$.

Composición.- El sistema químico está integrado de la siguiente forma:

Un litro de solución contiene:

Clorobenceno	100 ml.
Agua	40 ml.
Acetona	0.4 ml.
Etanol absoluto ... c.b.p....	1000 ml.

Límites de aplicación.- El límite inferior establecido analíticamente es de cerca de 40 Kilorads. El límite superior depende de la razón de dosis, como se observa en el siguiente cuadro (para condiciones aereadas):

Razón de dosis rads/seg	4.5	13	22	30	115	400	2250
Límite de dosis rad x 10 ⁶	0.2	1.0	1.5	2	6	76	76

Cálculo de la dosis.- En base al valor $G(\text{HCl}) = 4.5 \pm 0.1$

que es el rendimiento experimentalmente determinado para el sistema empleando ampollitas abiertas, la dosis absorbida por el

dosímetro se calcula de la ecuación:

$$D = \frac{C \times 1.54 \times 10^9}{G} \text{ rads}$$

donde:

D = Dosis en rads

C = Concentración de HCl en la muestra irradiada en moles/
litro.

G = Valores G para la formación de HCl en moléculas por -
100 eV de dosis absorbida.

Para ampolletas cerradas se recomienda un valor $G(\text{HCl}) =$
4.75

Método para medir la dosis.- La determinación de la dosis se lleva a cabo midiendo la concentración del ión hidrógeno por medio de una titulación alcalimétrica con bromofenol como indicador, o bien midiendo la concentración del ión cloruro por titulación mercurimétrica con difenilcarbazona como indicador. Se recomienda hacer ambas para obtener una exactitud máxima.

Estabilidad.- El sistema es estable antes y después de irradiarse conservándose en frascos ambar. No es dependiente de la temperatura de irradiación.

1.5. Conversión del valor de dosis absorbida de un medio a otro

El objeto de la Dosimetría es determinar la dosis absorbida por un material bajo estudio; esto se cumple reemplazando el

material o muestra, por el dosímetro y midiendo la dosis absorbida en éste. Un problema que con frecuencia se presenta, es la de terminación de la dosis absorbida por una muestra, de la dosis absorbida por un dosímetro irradiado bajo las mismas condiciones.

(5,12)

Si el dosímetro y la muestra son homogéneos, del mismo tamaño, tienen la misma densidad y composición atómica, la dosis absorbida sería la misma para ambos; esta condición es ideal si el dosímetro y la muestra son por ejemplo: Soluciones acuosas diluidas y si son irradiadas en el mismo contenedor y en la misma posición en el campo de radiación. Sin embargo, frecuentemente el dosímetro y la muestra difieren, en este caso la dosis absorbida en la muestra se puede obtener por cálculos.

Para radiación electromagnética.

Cuando el dosímetro y la muestra se exponen al mismo campo de radiación y están en equilibrio electrónico con sus alrededores, las dosis absorbidas se relacionan por la ecuación:

$$D_M = D_D \times \frac{(\mu_{en/\rho})_M}{(\mu_{en/\rho})_D} = \text{rads ó eV/g} \quad (22)$$

En donde:

D_M = Dosis absorbida por la muestra.

D_D = Dosis absorbida por el dosímetro.

$(\mu_{en}/\rho)_M$ = Coeficiente de absorción másico para la muestra.
 $(\mu_{en}/\rho)_D$ = " " " " para el dosímetro.

Para radiación de partículas cargadas.

Si la radiación incidente es un haz de partículas cargadas (electrones, protones, etc.) y las muestras son de espesor relativamente grande, la radiación incidente puede absorberse completamente por la muestra y el dosímetro, así que la energía total absorbida será esencialmente la misma en cada sistema. Las pequeñas diferencias en la energía absorbida, van aumentando si la energía perdida debido al fenómeno de retrodispersión de partículas cargadas y al Bremsstrahlung no son iguales para cada sistema, aunque estas diferencias pueden reducirse empleando un dosímetro de composición atómica semejante a la de la muestra atómica semejante a la de la muestra.

Cuando las muestras son comparadas en la escala de las partículas incidentes, la dosis absorbida por el dosímetro y la muestra se relacionan por la ecuación:

$$D_M = D_D \times \frac{(S/\rho)_{col.M}}{(S/\rho)_{col.D}} = \text{rads ó ev/g} \quad (5)$$

Donde:

D_M = Dosis absorbida por la muestra.

D_D = Dosis absorbida por el dosímetro.

$(S/\rho)_{col.M}$ = Poder de frenado másico de colisión de la muestra

$(S/\rho)_{col.D}$ = " " " " " " del dosímetro.

CAPITULO 2

DOSIMETROS A BASE DE AZUCARES

La dosimetría de radiaciones gamma en el orden de Mrads, ha tenido una importancia creciente con la aplicación de fuentes de alta radiación en la Industria y Medicina. Debido a que el dosímetro estandar mas empleado que es el Fricke, tiene una región limitada de aplicación de 4 a 40 Krads, se han publicado otros metodos de medida de dosis en el orden de Mrads, entre ellos se encuentran los basados en el cambio de rotación óptica específica de sistemas de azúcares bajo irradiación.

Cuando ciertos compuestos orgánicos químicamente puros son expuestos a radiaciones gamma, su rotación óptica emite luz polarizada debido a los átomos de carbono asimétricos en su estructura molecular. Ya que la cantidad de rotación depende de la intensidad de radiación a la cual se exponen los compuestos, los cambios en la actividad óptica de las soluciones químicas pueden dar una medida de la dosis absorbida.

Usando esto en la Teoría de la Dosimetría de Rotación Óptica, se han desarrollado nuevos procedimientos de dosimetría para rayos gamma del Co-60. (10)

Investigando un gran número de compuestos, se estableció que soluciones acuosas de mono y disacáridos presentan grandes cambios en la rotación óptica al ser irradiados, por lo cual se han estudiado para su uso como soluciones dosimétricas, encontrándose

que responden linealmente a dosis muy altas (Mrads) por lo cual, - se ve en estos métodos una posibilidad de medir niveles de dosis - más altas que con el método de Fricke. Además que son procedimientos menos complicados de seguir. (24)

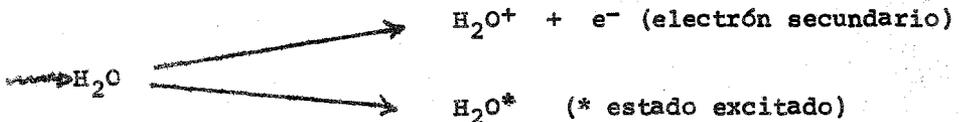
2.1 Radiólisis de agua y soluciones acuosas.

Radiólisis del agua.

Este proceso se lleva a cabo cuando se hace incidir radiación sobre el agua y se realiza en tres etapas que son:

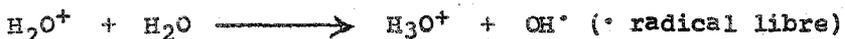
I. Etapa Física.

En un tiempo aproximado de 10^{-17} segundos, una partícula -- con energía muy alta (MeV) atraviesa una molécula de agua. En 10^{-16} seg. aproximadamente, la energía se transfiere; hay interacción de la radiación con las moléculas produciendo preferentemente ionización en las moléculas adyacentes y excitación en las no adyacentes, se producen por lo tanto moléculas excitadas e iones. (1,6).

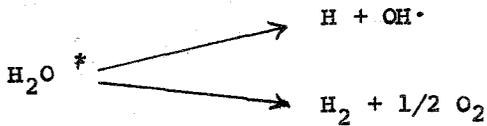


II. Etapa Fisicoquímica.

En 10^{-14} segundos se efectúan reacciones ión-molécula. El agua iónica reacciona con una molécula de agua dando un radical -- libre.



En este período, parte de la energía electrónica se transforma en vibracional. La molécula de agua excitada se disocia, ya sea dando origen a una radical libre o bien perdiendo su energía.



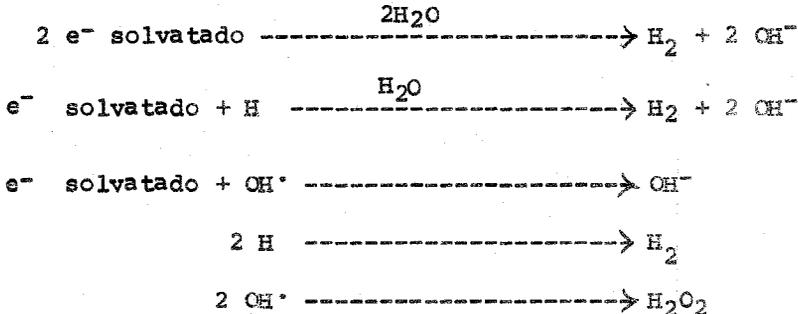
Los electrones secundarios (e^-) pierden su energía cinética en exceso muy rápidamente y se reducen a electrones termales. En aproximadamente 10^{-11} segundos, se lleva a cabo la formación del electrón solvatado (hidratado) como resultado de la reacción del electrón secundario:



III. Etapa Química.

En un período de tiempo entre 10^{-7} - 10^{-10} segundos, existe una competencia entre los radicales para combinarse y formar moléculas, las cuales se difunden dentro de la trayectoria.

Las reacciones son:



Existe además un proceso de recombinación del agua:



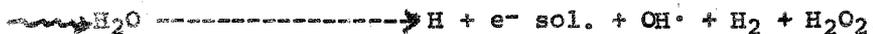
El agua irradiada en presencia de aire contiene oxígeno, el cual influye poderosamente en los cambios químicos que se llevan a cabo. El poder reductor del átomo de hidrógeno reacciona con gran eficiencia formando el radical peroxi, el cual es relativamente inerte.



Para radiaciones con bajos valores de LET tales como electrones de alta energía y rayos gamma, cuando las trayectorias son separadas, se experimenta un rendimiento de radicales mayor que el rendimiento de productos moleculares; para radiaciones con altos valores de LET como partículas alfa, sucede lo contrario o sea existe mayor rendimiento de productos moleculares que de radicales (1, 6, 21)

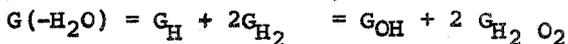
Basándose en lo anterior, las reacciones completas de la radiólisis del agua se pueden expresar también como sigue:

Para el caso de radiaciones con bajos valores de LET se forman en el agua los siguientes productos primarios:

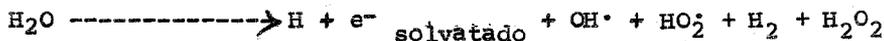


La radiólisis del agua puede expresarse mediante una ecuación estequiométrica que relaciona el valor $G(-\text{H}_2\text{O})$ de las moléculas radiolisadas con el número de las moléculas de los productos

formados durante la radiólisis. De aquí que la representación final será;



En el caso de las radiaciones con altos valores de LET, la reacción será:



Y la reacción estequiométrica es:



Radiólisis de soluciones acuosas.

Cuando se irradian soluciones acuosas diluidas, prácticamente toda la energía absorbida se deposita en las moléculas de agua y los cambios químicos observados se llevan a cabo casi indirectamente por vía molecular y principalmente con los radicales producidos. La acción debida a la energía depositada directamente en el soluto es generalmente de poca importancia en soluciones muy diluidas (concentración del soluto de cerca de 0.1M).

En los sistemas acuosos, sucede principalmente una oxidación o una reducción causada por las especies primarias producidas durante la radiólisis del agua. Estas especies van reaccionando con el soluto a lo largo de la irradiación del sistema. En soluciones fuertemente ácidas, los electrones hidratados se convier-

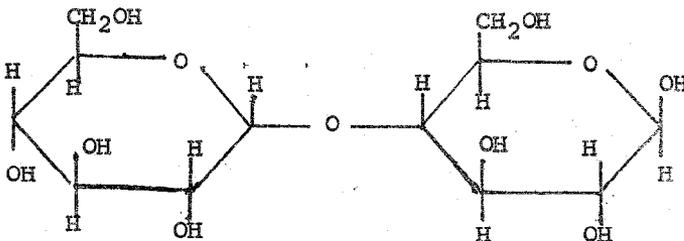
ten en átomos de hidrógeno y reaccionan como tales con el soluto; en soluciones débilmente ácidas, neutras o alcalinas, el electrón hidratado reacciona como tal. En este caso, se llevan a cabo reacciones del soluto con los radicales y los productos moleculares en un tiempo aproximado de 10^{-3} segundos. (1, 21)

En los sistemas dosimétricos, el soluto reacciona en forma diferente con los radicales que con los productos moleculares, además causan cambios en el rendimiento del dosímetro químico; grandes cambios de LET, o en el límite de dosis y la concentración del soluto.

2.2 Dosímetro de D(+)-Maltosa.

El estudio realizado sobre este dosímetro, se basa en la disminución en la rotación óptica inicial que presentan las soluciones acuosas de D(+)-Maltosa al ser irradiadas, la cual se asocia con la dosis absorbida de radiación. (10)

Formula: $C_{12}H_{22}O_{11} \cdot H_2O$ (23)



Peso molecular = 360.31

Presenta mutarrotación.

Rotación específica: $\left[\alpha \right]_D^{20} = +66.30^\circ$ a $+66.80^\circ$

Parte experimental.

Para este trabajo se emplean soluciones acuosas de D(+) Maltosa al 10%, preparadas de la siguiente forma: Se toman 10g de D(+) Maltosa pura, secada previamente a peso constante y se disuelven en un pequeño volumen de agua destilada, se le adicionan 2 ml de una solución al 10% de hidróxido de amonio, se completa el volumen de la solución a 100 ml llevando al aforo con agua destilada.

Irradiación.

De la solución dosimétrica, se preparan varios tubos (de 7 pulgadas de largo por 0.5 pulgadas de diámetro) con aproximadamente 12 ml de ésta, los cuales se exponen a la fuente de Co-60; a la vez se irradian tubos conteniendo solución de hidróxido de amonio al 0.02%, que servirá como solución testigo.

Para evaluar el procedimiento y a la vez ratificarlo a intensidades altas, se exponen tubos en irradiación central y se utiliza como sistema de comparación y referencia al dosímetro de Fricke este dosímetro se puede emplear además en irradiación periférrica.

Determinación de la dosis absorbida.

La manera de determinar la dosis absorbida, es por medio de un método polarimétrico; midiendo la actividad óptica de las soluciones antes y después de ser irradiadas, para lo cual se em -

plea un polarímetro con lámpara de sodio. Estas determinaciones se hacen a 20°C.

Cálculo de la dosis.

De los datos obtenidos por las lecturas polarimétricas, se traza una curva de calibración corregida por el método de los mínimos cuadrados, la cual se construye con las diferencias de la rotación óptica de las muestras sin irradiar como una función de la dosis total de exposición.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Para establecer un valor "G" para la reacción se investiga la química involucrada en estas irradiaciones, se ha encontrado que el mecanismo de reacción en el método de rotación óptica, es análogo al que se lleva a cabo en la dosimetría de Fricke.

Por análisis químicos e infrarrojo, se determina que se forman como productos principales de la irradiación de las soluciones de maltosa; el ácido glucónico y el ácido glucurónico, además de otros productos secundarios como ácidos orgánicos de menor número de átomos de carbono y dióxido de carbono lo cual hace ver, que obtener un valor -"G" sería muy difícil (aunque no imposible) puesto que los productos de irradiación son muchos y algunos de ellos también exhiben actividad óptica.

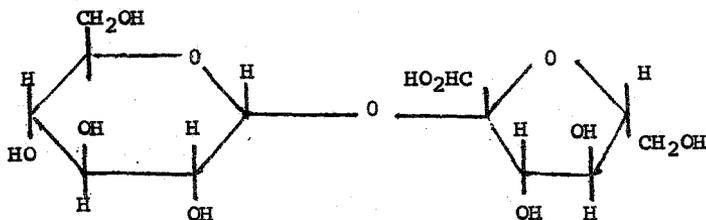
Puesto que la maltosa y sus derivados de irradiación no son corrosivos, se pueden emplear envases de metal, plástico o vidrio para contenerlos.

2.3 Dosímetro de Sucrosa.

El estudio de este tipo de dosimetría, se basa en la determinación del malonaldehído (MA) formado bajo irradiación de sucrosa sólida y en solución. (24)

Fórmula: $C_{12}H_{22}O_{11}$

Peso molecular: 342.30



Parte Experimental.

Se emplean en este trabajo, acuosas de sucrosa al 1%, 5% y 10%, además de soluciones de sucrosa al 1% conteniendo KI 0.003 y KI 0.03 M y una solución al 1% saturada con N_2O , también sucrosa-sólida. Se preparan una curva de calibración de malonaldehído Vs-dosis de radiación absorbida.

Irradiación.

Como fuentes de irradiación gamma de Co-60, se emplean --- fuentes cuyas razones de dosis en el centro de las mismas sean -- de 0.41 Mrad/h a 0.12 Mrad/h, puede emplearse además un irradiador de Cs^{137} . Se irradian las soluciones preparadas a diferentes niveles de dosis de radiación.

Determinación de malonaldehído.

A las soluciones irradiadas se les adiciona una solución - de ácido 2-tiobarbitúrico (TBA) al 0.72%, se dejan en baño María durante media hora. Después de enfriada a temperatura ambiente, - la coloración rosa debida a la formación del complejo MA-TBA se - mide en un espectrofotómetro a una longitud de onda de alrededor-

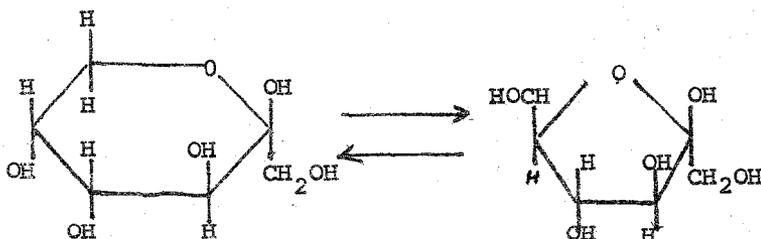
de 540 nm. Las lecturas obtenidas se llevan a la curva de calibración de MA ya trazada y se obtienen las concentraciones de malonaldehído respectivas.

2.4 Dosímetro de Fructosa.

El estudio de este tipo de dosímetro, se basa en la determinación de la formación de malonaldehído (MA) como producto de la irradiación de soluciones acuosas de fructosa. (10)

Fórmula: $C_6 H_{12} O_6$

Peso molecular= 180.16



Parte experimental.

Solución dosimétrica.- Se emplean soluciones acuosas de fructosa al 1 y 4%.

Se prepara una curva de calibración de MA de la forma como se indicó en el dosímetro de sucrosa.

Irradiación.

Como fuentes de irradiación de rayos de cobalto 60 se emplean un Gammacell 200, un Gammacell 220 u otro similar. Se procede a irradiar las soluciones acuosas de fructosa al 1% y 4% a di-

ferentes dosis.

Determinación de malonaldehído.

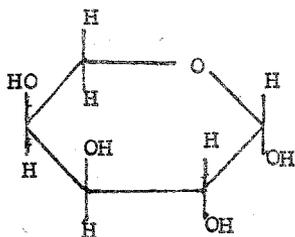
El rendimiento de MA se determina espectrofotométricamente, después de formar el complejo colorido MA-TBA a una longitud de onda de alrededor de 540 nm. Las lecturas obtenidas se comparan en la curva de calibración de MA ya trazada y se obtienen así directamente las concentraciones de malonaldehído respectivas.

2.5 Dosímetro de Arabinosa.

El estudio de este tipo de dosímetro, está basado en el rendimiento de malonaldehído (MA) que se produce al irradiar soluciones acuosas de arabinosa. (10)

Fórmula: $C_5H_{10O_5}$

Peso molecular= 150.13



parte experimental.

Solución dosimétrica.- Se prepara una solución de arabinosa al 5% de la siguiente manera: Se pesan 5 g de arabinosa y se disuelven en un pequeño volumen de agua haciendo un volumen final de 100 ml. Se prepara además una curva de calibración de MA como ya se anotó anteriormente (2.3).

Irradiación.

Se emplea como fuentes de irradiación un Gammacell 200 o un Gammacell 220 o bien otra fuente semejante; en las cuales se procede a irradiar la solución preparada a diferentes dosis de radiación.

Determinación de malonaldehído.

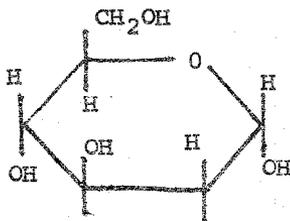
La concentración de MA, se estima espectrofotométricamente después de complejada con el ácido 2-tiobarbitúrico en un espectrofotómetro a una longitud de onda de alrededor de 540 nm.

Las lecturas obtenidas, se llevan a la curva de calibración de malonaldehído trazada, obteniéndose las concentraciones de MA respectivas.

2.6 Dosímetro de D(+) Glucosa

El estudio de este dosímetro para rayos gamma ha sido reportado por algunos investigadores, el cual se basa en lo siguiente: Se cree que es posible medir los cambios que experimenta la rotación óptica de soluciones acuosas de D(+) Glucosa cuando se irradian, y que este cambio tenga alguna relación con la dosis absorbida. (1, 20)

Fórmula $C_6H_{12}O_6$



Peso molecular = 180.16

Rotación óptica: $[\alpha]_D^{25} = 52.5^\circ - 53^\circ (23)$

parte experimental.

Solución dosimétrica.- Se prepara una solución acuosa de D(+) Glucosa Analar al 10% empleando como solvente agua tridestilada, esta solución se deja reposar durante dos días antes de usarla. Se prepara además el dosímetro de Fricke, el cual se emplea como dosímetro de comparación.

Irradiación.

Para llevar a cabo la irradiación, se emplea cualquier fuente radiactiva de Co-60 como las mencionadas anteriormente.

Las soluciones se irradian en celdas cilíndricas pyrex de 11 ml de capacidad y 1.7 cm de diámetro tapadas con tapón esmerilado, a diferentes dosis de radiación y a temperaturas de 25° a 80°C.

Determinación de la dosis.

Se procede primero a medir la rotación óptica de las soluciones sin irradiar (blanco) y enseguida se mide la de las soluciones ya irradiadas, empleando para este fin un polarímetro Bellingham o un polarímetro Stanley modelo A y empleando como fuente de luz monocromática, una lámpara de sodio.

Con las lecturas obtenidas se traza una curva de calibración.

Conclusiones.

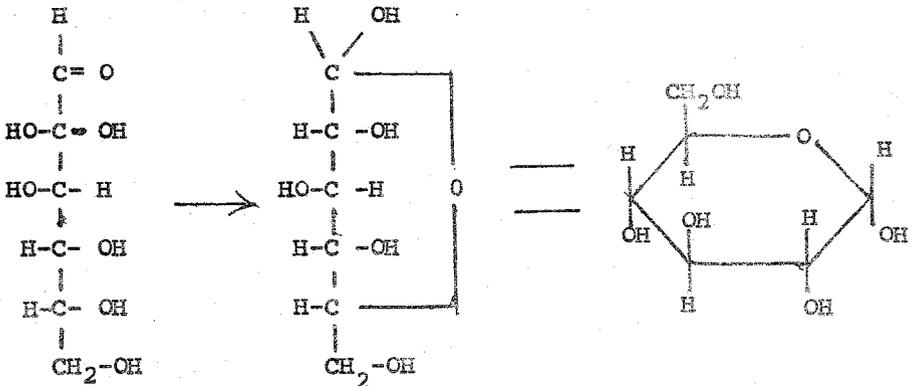
La escala de dosis cubierta por el método es amplia y se ha encontrado linealidad hasta 250 Mrad, además se ha determinado que es insensible a límites de dosis entre 0.065 y 16 Mrad/h con $\pm 2\%$ de error.

El método es una muy útil adición al número de dosímetros disponibles, es particularmente fácil de usar y no requiere precauciones especiales en los casos de preparación y medida.

Realizando los experimentos razonablemente y con cuidado, se obtienen resultados satisfactorios con $\pm 2\%$ de error.

Radiólisis de D(+). Glucosa.

Fórmula: $C_6 H_{12} O_6$



D(+). Glucosa

D(+). Glucosa

Forma enólica

Forma oxidica o cetónica

Peso molecular= 180.16

Punto de Fusión: 83°C

Rotación específica: $[\alpha]_D^{25} = +52.5^\circ - +53.0^\circ$

La radiólisis de soluciones de monosacáridos simples, sirve para ilustrar más las reacciones presentadas por los carbohidratos poliméricos.

Cuando se irradian soluciones acuosas de D(+) Glucosa, prácticamente toda la energía absorbida se deposita en las moléculas de agua sucediéndose primero la radiólisis de ésta, de la cual se tienen presentes los radicales primarios: e^- hidratado, H^\bullet y OH^\bullet .

(22)

La D(+) Glucosa es representativa del azúcar simple y reacciona con los radicales primarios con las siguientes constantes:

e^- hidratado: $3 \times 10^5 \text{ M}^{-1} \text{ seg}^{-1}$

H^\bullet : $4 \times 10^7 \text{ M}^{-1} \text{ seg}^{-1}$

OH^\bullet : $1.9 \times 10^9 \text{ M}^{-1} \text{ seg}^{-1}$

La razón de la baja reacción con el electrón hidratado, es consistente con el hecho de que el azúcar está predominantemente en la forma de hemiacetal cíclico que en forma de aldehído; además, el electrón hidratado reacciona más rápidamente con los grupos carbonilo que con los grupos alcohol o éter. En soluciones que contienen disuelto aire u oxígeno, el electrón hidratado forma O_2 y los radicales hexosa de la glucosa a su vez reaccionan rápidamente con el oxígeno para formar radicales peroxi.

Las reacciones para los radicales H^\bullet y OH^\bullet con glucosa, se piensa son similares en su reacción con alcoholes, denominada abs-

tracción de hidrógeno formando grupos C-H predominantemente.

Cuando la irradiación de la glucosa se hace en presencia de oxígeno, los radicales reaccionan con éste; encontrándose como productos de la oxidación de varios grupos en la molécula de glucosa, el ácido glucónico y el ácido glucurónico. (21 ,22)

El número de productos identificados hace notar que el radical que ataca no se limita a un solo punto en la molécula y que, con posible excepción del carbono 5, este ataque puede ocurrir en grado variable para cada átomo de carbono presente. Por ejemplo, la D(+) Glucosona y el ácido glucurónico, son el resultado del ataque a los carbonos 1, 2 y 6 respectivamente y pueden formarse además fragmentos de 3 carbonos siguiendo el ataque del radical a los carbono 3 ó 4.

En síntesis, los productos que se han encontrado como resultado de la irradiación de soluciones acuosas de D(+) Glucosa en condiciones aerreadas son:

Acido glucónico, ácido D-glucurónico, D-glucosona como productos mayores y glioxal, D-eritrosa, D-arabinosa, dihidroxiacetona, ácido sacarínico y formaldehído como productos menores.

La reacción incluye además productos gaseosos como hidrógeno y CO₂.

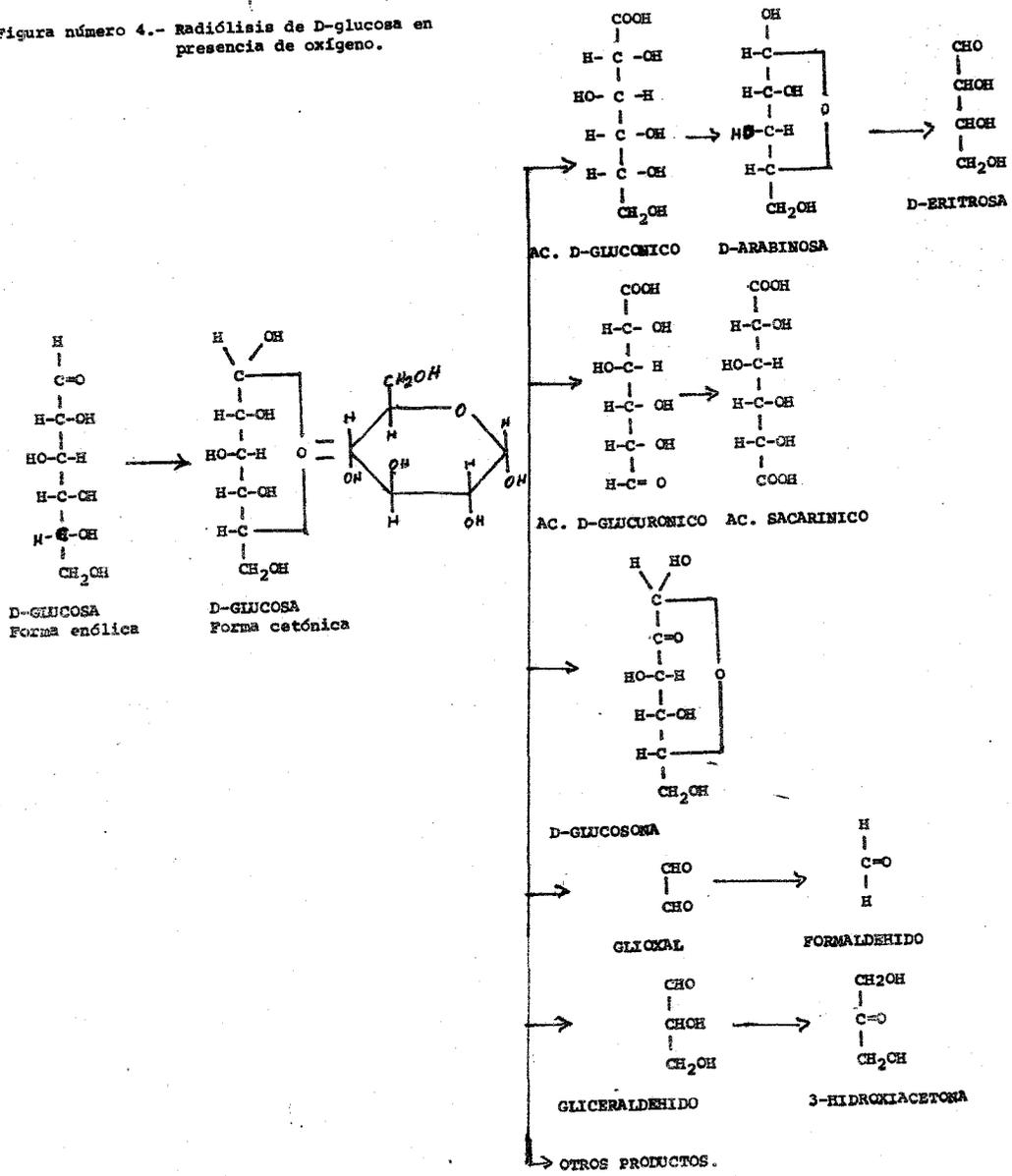
Estos productos se han identificado por varios métodos como son: espectrometría de masas, cromatografía en papel y el uso de trazadores radiactivos.

Si la radiólisis de soluciones acuosas de glucosa se lleva a cabo libre de oxígeno, (más exactamente, en una atmósfera de N_2O , el cual convierte los electrones hidratados en radicales OH^\bullet) es importante observar la formación de un polímero ácido debido quizá a una secuencia de reacciones en las cuales los radicales se combinan para formar moléculas largas las cuales son atacadas después por los radicales H^\bullet y OH^\bullet para dar radicales mayores, los que continúan el proceso. (1,7)

Se forman también productos de oxidación de la glucosa, incluyendo ácido glucónico y compuestos en los cuales supuestamente el átomo del carbono 2 se oxida a carbonil, llamado 2-oxo-(arabino) aldohexosa; pero no se forma el ácido glucurónico. Se han identificado además dioxicompuestos como ácido 2-dioxiglucónico, 2-dioxiribosa, así como 3- y 4-cetoglucosa. También se ha observado la presencia de otros productos no identificados, los que presumiblemente tienen más de 6 carbonos (probablemente 12), los cuales son difícilmente identificados por cromatografía de gases. (7,21)

Además de la presencia de oxígeno, otro parámetro que influye la formación de productos es el pH del medio. (7)

Figura número 4.- Radiólisis de D-glucosa en presencia de oxígeno.



CAPITULO 3

PARTE EXPERIMENTAL

MATERIALES.

3.1 Fuentes radiactivas.

3.1.1 Gammabeam-650, irradiador tipo LR31.

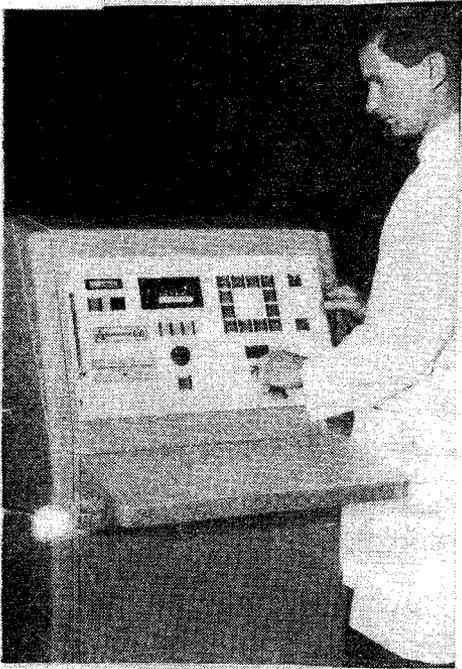
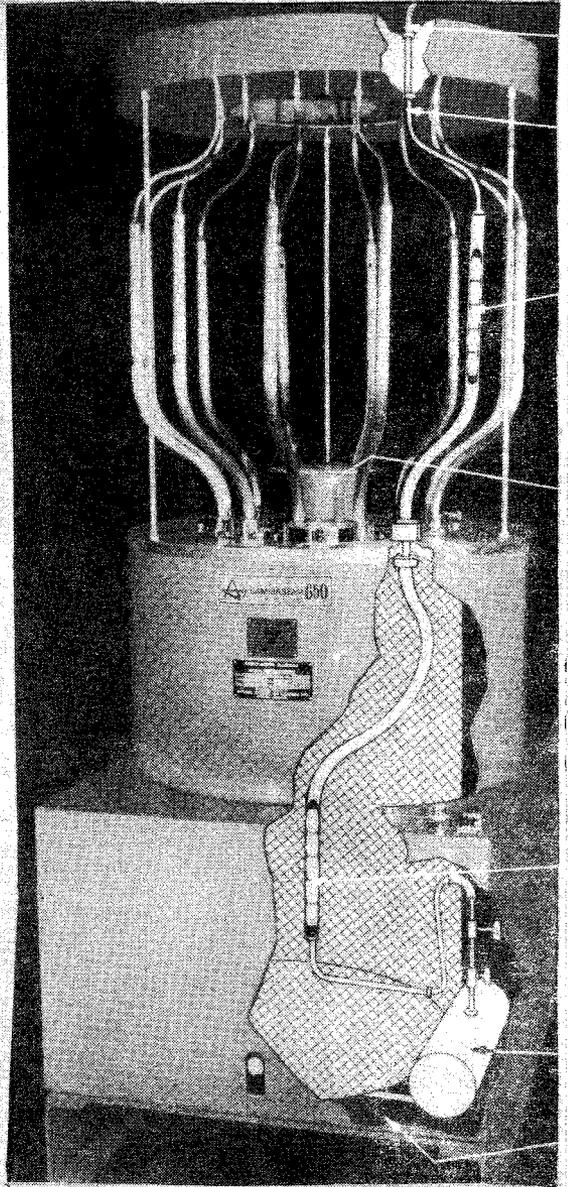
Fuente de irradiación de Co-60 manufacturada por la Atomic Energy of Canada Ltd., localizada en el Centro de Estudios Nucleares de la UNAM, colocada dentro de un cuarto completamente blindado y cuya actividad durante su utilización fué de alrededor de 22,000 -21,000 Ci. Esta unidad es útil tanto como irradiador central como irradiador panorámico.

Consiste básicamente de un cilindro de acero que contiene plomo en su interior. El material radiactivo está formado por 60 pequeñas cápsulas de 1 mm de diámetro por 1 mm de largo, colocadas en grupos de 5 dentro de 12 tubos cilíndricos verticales separados entre si que surgen de la parte inferior de la unidad y los cuales son ajustados radialmente a un diámetro mínimo de 11.43 cm hasta un diámetro máximo de 82.55 cm con respecto al centro, por la forma en que estan colocados se considera que la fuente es puntual, o sea que emite uniformemente la radiación en todas direcciones. (Fig. 5).

Cuando se va a utilizar el material radiactivo, éste asciende por dentro de los tubos hasta quedar fuera del blindaje lo que se realiza por acción neumática controlada desde la consola de mandos que se encuentra fuera el sitio en donde se encuentra la unidad;

Figura No. 5

Gammabeam 650

Fig. No. 6 Consola de mandos del
Gammabeam 650.

con esta consola se puede seleccionar la variación de las dosis en la cavidad de las fuentes seleccionando el diámetro de la abertura de éstas, o bien seleccionando los tubos de exposición representados por 12 botones numerados. El tiempo de exposición puede señalarse mediante un medidor de tiempo expresado en horas o minutos en forma automática o un interruptor para hacerlo en forma manual. (Fig. 6).

El equipo contiene además un sistema de seguridad, en el cual una alarma indica si puede tenerse acceso o no al sitio en donde se encuentra la unidad. (15)

3.1.2 Gammacell-200

Es una unidad de irradiación de Co-60 manufacturada por la Atomic Energy of Canada Ltd., con una actividad de alrededor de 94 Ci durante su utilización, y que consiste básicamente de las siguientes:

Una fuente anular colocada dentro de un contenedor de plomo.

Un collar de protección.

Un émbolo con una cavidad para irradiación, el cual se desliza verticalmente a través de la unidad.

Tablero de control. (16)

El Co-60 se encuentra en forma de pequeños cilindros dobles encapsulados en tubos de acero inoxidable denominados "lápices" los cuales se montan dentro de la fuente anular localizada en el interior del contenedor de plomo.

El material por irradiar se coloca en la cavidad que tiene el émbolo el cual al accionarlo por un mecanismo electromecánico baja hasta colocar la cavidad a la misma altura donde está la fuente anular, llevándose a cabo la irradiación.

En la unidad se encuentra además el tablero de control, que contiene varios interruptores de seguridad, un control de tiempo y un control que permite subir el émbolo en un tiempo determinado.

La variación de dosis se puede realizar seleccionando el tiempo de irradiación. (Fig. 7)

3.2 Polarímetro.

Polarímetro, modelo SR-5 manufacturado por la Polyscience Corporation. (Fig. 8)

Es un aparato de precisión, empleado para medir la cantidad de rotación óptica, la cual se mide directamente en grados con una exactitud de 0.05° y cuyas partes principales son: Una lámpara de sodio como fuente de luz monocromática con un filtro color naranja (589 nm), lo que permite medidas muy exactas en altos grados de rotación; una escala circular dividida en grados, de 0° -- 90° con un vernier que permite lecturas de 0.05° a 0.1° .

Celda polarimétrica.- Este modelo sólo requiere de una celda de prueba de largo estandar (100 mm) y diferentes tapas de medidas intercambiables con un prisma conductor de luz de diferentes longitudes. (14)

Para su uso, la muestra dentro de la celda polarimétrica se

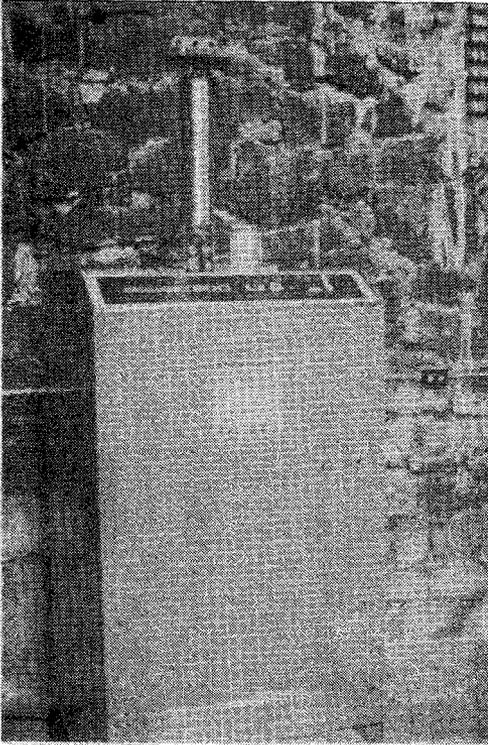
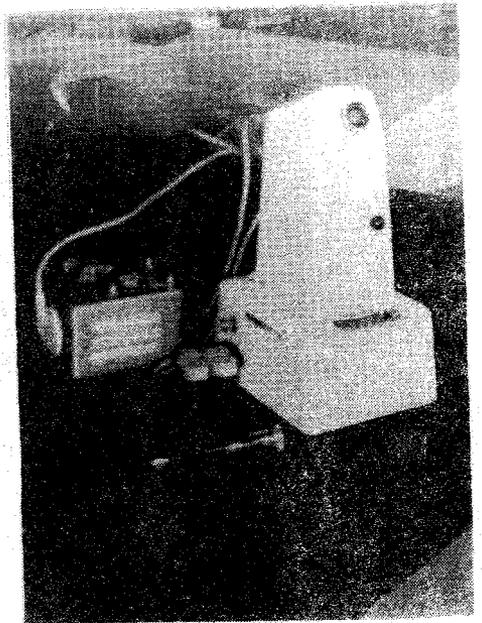


Figura No. 7 Gammacell 200

Figura No. 8 Polarimetrico modelo
SR-5.



coloca entre la fuente de luz y el analizador. Moviendo la escala circular graduada y observada por el ocular, se aprecia fácilmente el campo de medida en el cual se observan 2 medios círculos; las lecturas se hacen cuando se encuentra el punto en el cual ambos medios círculos tienen la misma intensidad de brillo. La dirección de la rotación aparece inmediatamente según hacia donde gire la escala circular, si es hacia la derecha la rotación será positiva o dextro y si es a la izquierda, está será negativa o levo. Estas lecturas se hacen como mínimo 3 veces para cada muestra y se toma el valor promedio.

3.3 Densitómetro.

Es un aparato fabricado por la Atomic Energy of Canada Ltd. y que se emplea para la medición del oscurecimiento del dosímetro de acrílico rojo AECL No. L107. Este aparato presenta las siguientes características:

El AECL Reader type BC-2 se designa para uso exclusivo del dosímetro de acrílico rojo que puede ser irradiado bajo las siguientes condiciones:

- a.- Razón de dosis promedio entre 0.05 y 1.0 Mrad/h
- b.- Dosis total entre 0.5 y 4.0 Mrad.
- c.- Temperatura del dosímetro durante la irradiación entre 10° y 32°C (13)

La reproducibilidad de las lecturas de los dosímetros es de

$\pm 2\%$ (error estandar) bajo irradiación y condiciones de lectura

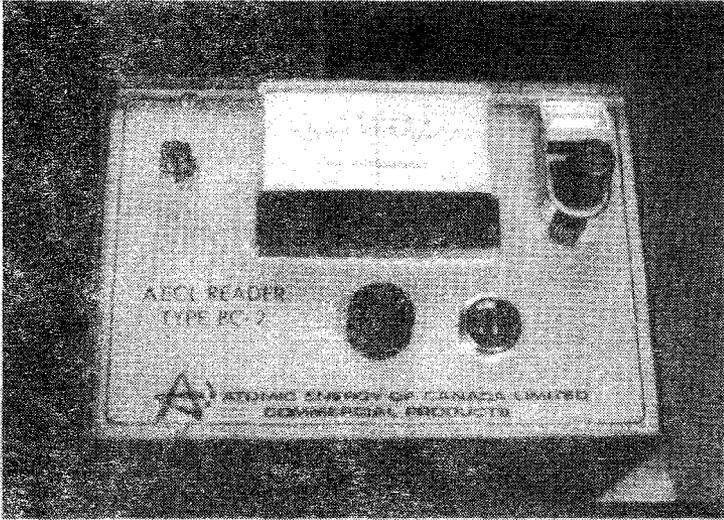


Figura No. 9 Densitómetro.

constantes. (Fig. 9)

Las lecturas obtenidas se transfieren a la curva de calibración anexa (la cual se construyó, tomando las lecturas inmediatamente después de la irradiación a una razón de dosis fija y en la que se obtiene una lectura directa de la dosis de radiación). (Fig 10)

REACTIVOS.

3.4 Dosímetro de referencia.

Se empleó como dosímetro de referencia el dosímetro de acrílico rojo (perpex rojo), el cual tiene como características principales las siguientes: El uso de este dosímetro se basa en los cambios de coloración que presenta al ser irradiado. En general el material se oscurece y este oscurecimiento puede ser medido en términos de densidad óptica o de coeficiente de absorción empleando un aparato especial como el mencionado anteriormente (3.3) dependiendo de la forma que presente el dosímetro (hojas o cilindros). Con las lecturas obtenidas se traza una curva de calibración de lecturas contra dosis.

El límite de dosis total para este tipo de dosímetros es de 1×10^5 a 1×10^7 rads. El límite de razón de dosis aprovechable es de 1×10^7 rad/segundo. (12)

Los factores que inducen errores son:

- La longitud de onda en la cual se mide el oscurecimiento de los dosímetros, que es aproximadamente de 630-640 nm.

- La temperatura a la cual se irradian, que debe ser entre 10° y 32°C.

La reproducibilidad de la lectura de los dosímetros bajo irradiación y condiciones de lecturas constantes es de \pm 2%.

Los dosímetros de acrílico rojo que se emplearon como referencia para este trabajo tienen las siguientes características:

Forma: Cilindros.

Dimensiones: Diámetro: 1 cm, altura: 1 cm.

3.5 Soluciones dosimétricas.

3.5.1 Contenedores para irradiación.

Se utilizaron como contenedores, frascos de vidrio pyrex de 4.5 cm de altura por 2.5 cm de diámetro y paredes de 0.1 cm de espesor, los cuales se lavan y se les aplica enseguida un tratamiento especial con una mezcla de ácido clorhídrico y ácido sulfúrico, para evitar la materia orgánica, se enjuagan con agua destilada primero y después con agua tridestilada y se secan en estufa.

3.5.2 Equipo de laboratorio:

Se empleó además material común de laboratorio como: Pipetas volumétricas, probetas, matraces aforados, agitadores, vasos de precipitados, embudos, etc.

3.5.3 Soluciones dosimétricas:

Soluciones acuosas de D(+)*Glucosa* $C_6H_{12}O_6$. Reactivo J.T. -

Baker No. 1916 Lote M-28548.

3.5.4 Solvente:

Agua tridestilada. Sigma de México S.A. Lote 478R.

MÉTODOS

Se prepara la solución dosimétrica disolviendo 10 g de D(+ Glucosa en agua tridestilada y llevando la solución a un volumen final de 100 ml. Esta solución se deja en reposo durante 2 días antes de su uso. En caso de que se desee usarla inmediatamente después de su preparación, basta hervirla durante unos minutos, enfriarla y recuperar el volumen evaporado añadiendo agua; o bien agregar una gota de hidróxido de amonio. El procedimiento anterior es con el fin de estabilizar el poder de rotación óptica de la solución.

3.6 Irradiación.

Volúmenes de 10 ml de la solución dosimétrica en las celdas pyrex, se irradian en las fuentes de Co-60. En el Gammabeam-650 se hizo irradiación central a una razón de dosis de 3.26 Mrad/h y un límite de dosis total entre 1-200 Mrad para una solución al 10% y hasta de 400 Mrad para una solución al 20%; a un diámetro interno de las fuentes de 11.4 cm. Se hizo también irradiación panorámica tomando diferentes diámetros de abertura de las fuentes en un límite de razón de dosis de 0.1 - 3.26 Mrad/h y dosis total entre 0.1 y 30 Mrad.

Ambos tipos de irradiación se hicieron en varios períodos de tiempo y dentro de un límite de temperaturas de 18°- 42°C, tomando como dosímetro de referencia al dosímetro de acrílico rojo

En el Gammacell-200 se irradió durante varios períodos de tiempo hasta una dosis total de 50 Mrad y a una razón de dosis fija de 0.15 Mrad/h. (~ 41.7 rad/seg).

3.7 Técnicas analíticas.

3.7.a Determinación polarimétrica.

La medición de la rotación óptica se hizo en un polarímetro. Se midió la rotación óptica de cada muestra 3 veces y se tomó en cuenta la lectura promedio; se determinó además la lectura del aparato usando la celda sin solución, así como el "blanco" de la solución sin irradiar para tener solamente el valor de la rotación óptica, atribuible a la dosis absorbida por la solución irradiada.

3.7.b Determinación densitométrica.

Se llevó a cabo la medición de los dosímetros de acrílico rojo empleados como dosímetro de referencia en un densitómetro AE-CL reader tipo BC-2 y las lecturas se trasladaron a la curva de calibración respectiva para encontrar la dosis absorbida (Fig. No. 10).

3.7.c Determinación de pH.

Se tomó el pH de las soluciones antes y después de ser irradiadas, en un potenciómetro marca Hitachi modelo LNX. (Fig. 11)

3.8 Curvas de calibración y cálculo de dosis.

Se construyó una curva de calibración para el dosímetro de

D(+)
 Glucosa, en papel milimétrico colocando en la escala de las abscisas la dosis absorbida (Mrad) y en la escala de las coordenadas el valor $-\ln \alpha_0/\alpha$, en donde: α_0 es el valor de la rotación óptica debida al "blanco" o solución sin irradiar, y α los valores de la rotación óptica debida a la solución irradiada. (Fig. - 12)

La pendiente de la curva se calculó por el método de los mínimos cuadrados. (2,18)

La dosis se calcula obteniendo el cociente de $-\ln \alpha_0/\alpha$ vs dosis en la gráfica, trabajando en las mismas condiciones indicadas en el capítulo 3.

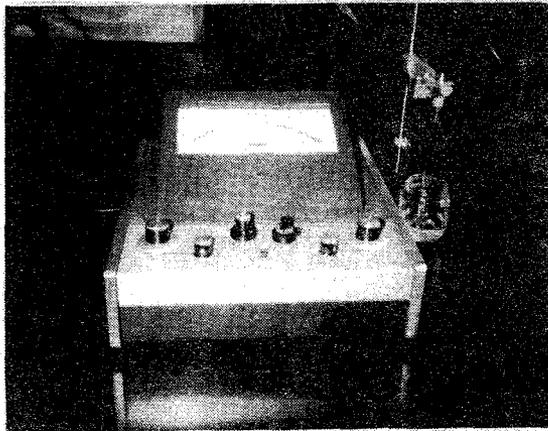


Figura No. 11 Potenciómetro Hitachi modelo LNX

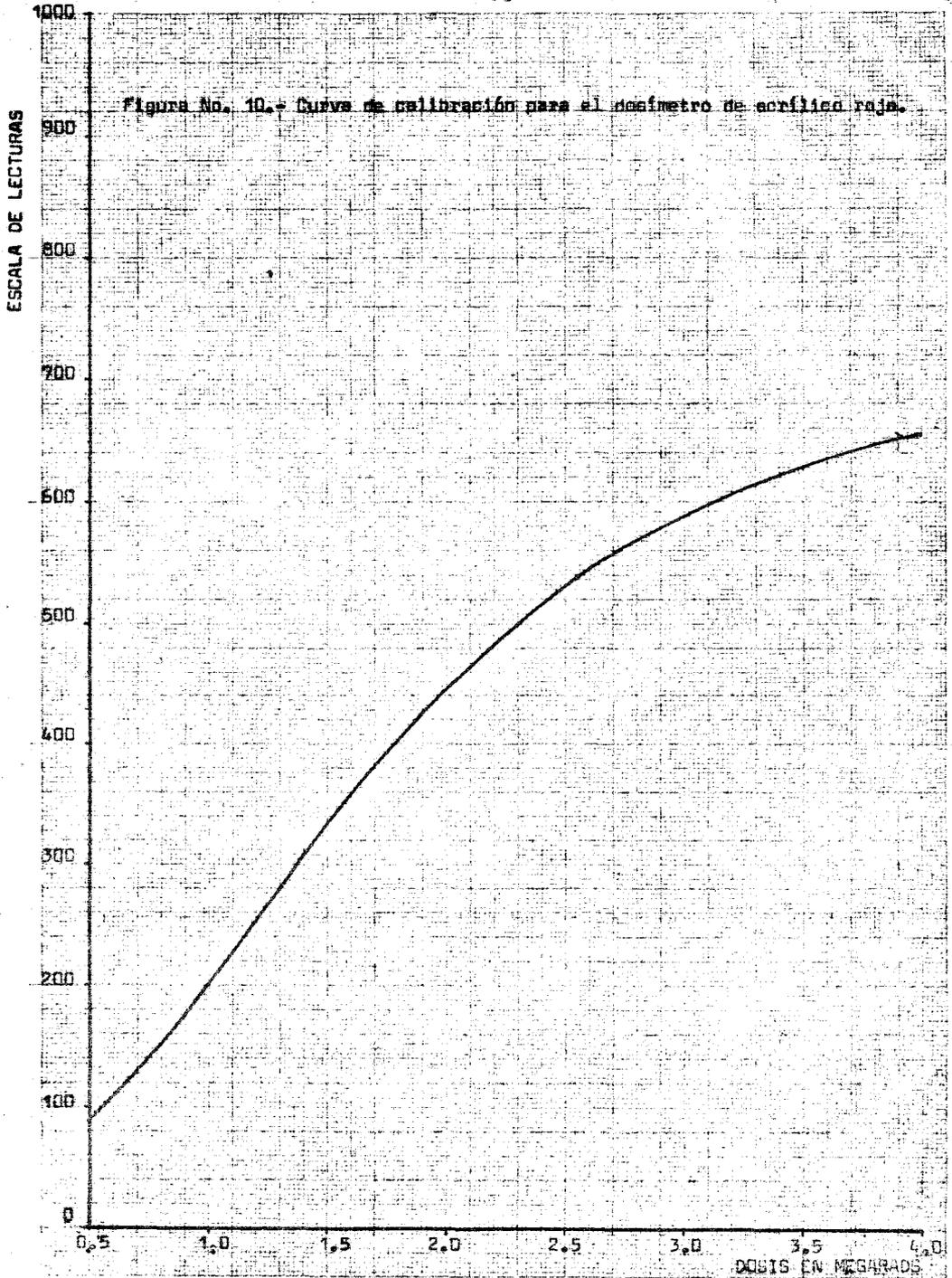
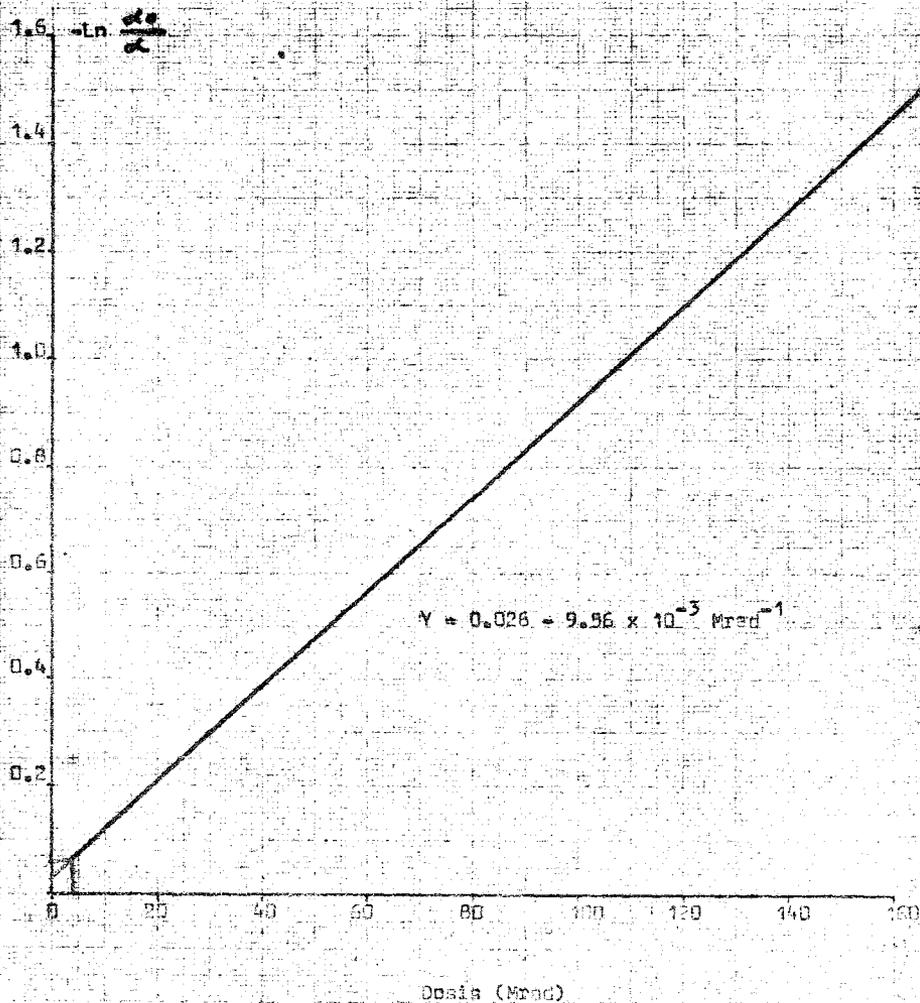


Figura No. 12.- Curva de calibración para el dosímetro de D(+)-Glucosa.



CAPITULO 4

DISCUSION, RESULTADOS, CONCLUSIONES

4.1 DISCUSION.

4.1.1 El límite de dosis empleado fué de hasta 200 Mrad con solución dosimétrica al 10% y hasta de 400 Mrad con solución al 20%, encontrándose linealidad en ambos casos.

4.1.2 La razón de dosis (Mrad/h) se determinó con el dosímetro de acrílico rojo. Con esta información se irradiaron las muestras el tiempo suficiente para tener hasta 150 Mrad en el Gammabea-650 (46 horas) y 43 Mrad en el Gammacell-200 (286 horas seguidas). En este último aparato, no se consideró práctico obtener dosis totales entre 50-400 Mrad por su baja razón de dosis, lo cual significaría tiempos de irradiación entre 333-2,667 horas continuas.

4.1.3 En este método no se determina el valor "G" por tratarse de un método empírico de utilidad práctica, además de que por ser un dosímetro químico-orgánico-acuoso, se tendrá la formación de los radicales propios de la radiólisis del agua, así como los radicales también propios de la descomposición de la glucosa. (Fig. 12)

4.1.4 Se observó la posibilidad de que las soluciones irradiadas presentaran efectos post irradiación, pero con excepción a una coloración amarilla persistente en las soluciones; los resultados obtenidos inmediatamente después de la irradiación, permanece constantes aún después de cuatro días.

4.1.5 Finalmente, se observó que conforme aumenta la dosis de radiación, disminuye el pH de las soluciones.

4.2 RESULTADOS.

4.2.1 Los resultados de la irradiación central en el Gamma-beam-650 con diámetro fijo, se muestran en el cuadro número 2.

4.2.2 Los resultados de la irradiación panorámica en el Gammabeam 650 con distancias variables, se muestra en el cuadro número 3.

4.2.3 Los resultados de la irradiación el Gammacell 200 se muestran en el cuadro número 4.

4.2.4 La curva de calibración para el dosímetro de D. (+) Glucosa, se muestra en la figura número 12

4.2.5 El cálculo de la pendiente de la curva de calibración por el método de los mínimos cuadrados, se muestra en el cuadro número 5.

4.2.6 La prueba de reproducibilidad de resultados en el Gammabeam 650 para irradiación central y a una dosis total de 32.6 Mrad, se muestra en el cuadro número 6.

4.3 CONCLUSIONES.

El método puede ser una útil adición al número de dosímetros químicos-acuosos disponibles en el límite de 1 a 400 Mrad por las razones siguientes:

4.3.1 Respuesta lineal con la dosis empleada 1-150 Mrad,

pudiendo ampliar el límite hasta 400 Mrad utilizando la solución de D(+) Glucosa más concentrada.

4.3.2 Independiente de la razón de dosis empleada 0.14 - 3.26 Mrad/h (3.88×10^{-5} - 9.05×10^{-4} Mrad/seg). Con otras fuentes, podrían buscarse otros límites de utilidad.

4.3.3 Respuesta lineal e independiente de las condiciones de irradiación empleadas.

4.3.4 Estable químicamente antes y después de la irradiación.

4.3.5 Es medible con precisión en un instrumento de alta sensibilidad con la técnica adecuada.

4.3.6 Económico y fácil de obtener.

4.3.7 Sencillo y seguro en su manipulación.

4.3.8 Reproducible con 2.94% de error.

4.3.9 Las medidas de la rotación óptica son reproducibles en ± 0.01 con una desviación estandar de $\pm 1\%$.

Cuadro número 1.- Decaimiento del Co-60.

Co-60 Vida media: 5.24 años.

Intervalo de cálculo: 15 días.

Días	0.0	15.0	30.0	45.0	60.0	75.0	90.0	105.0	120.0	135.0
0.0	1.0000	.9945	.9891	.9838	.9784	.9731	.9679	.9626	.9574	.9522
150.0	.9470	.9419	.9368	.9317	.9267	.9216	.9166	.9117	.9067	.9018
300.0	.8969	.8921	.8872	.8824	.8776	.8729	.8681	.8634	.8588	.8541
450.0	.8495	.8449	.8403	.8357	.8312	.8267	.8222	.8177	.8133	.8089
600.0	.8045	.8002	.7958	.7915	.7872	.7829	.7787	.7745	.7703	.7661
750.0	.7620	.7578	.7537	.7496	.7456	.7415	.7375	.7335	.7295	.7256
900.0	.7216	.7177	.7138	.7100	.7061	.7023	.6985	.6947	.6909	.6872
1050.0	.6834	.6797	.6761	.6724	.6687	.6651	.6615	.6579	.6544	.6508
1200.0	.6473	.6438	.6403	.6368	.6334	.6299	.6265	.6231	.6197	.6164
1350.0	.6130	.6097	.6064	.6031	.5998	.5966	.5934	.5901	.5869	.5838
1500.0	.5806	.5774	.5743	.5712	.5681	.5650	.5620	.5589	.5559	.5529
1650.0	.5499	.5469	.5439	.5410	.5380	.5351	.5322	.5293	.5265	.5236
1800.0	.5208	.5180	.5151	.5124	.5096	.5068	.5041	.5013	.4986	.4959
1950.0	.4932	.4905	.4879	.4852	.4826	.4800	.4774	.4748	.4722	.4697
2100.0	.4671	.4646	.4621	.4596	.4571	.4546	.4521	.4497	.4472	.4448
2250.0	.4424	.4400	.4376	.4352	.4329	.4305	.4282	.4259	.4236	.4213
2400.0	.4190	.4167	.4145	.4122	.4100	.4078	.4055	.4033	.4012	.3990
2550.0	.3968	.3947	.3925	.3904	.3883	.3862	.3841	.3820	.3799	.3779
2700.0	.3758	.3738	.3718	.3697	.3677	.3657	.3638	.3618	.3598	.3579
2850.0	.3559	.3540	.3521	.3502	.3483	.3464	.3445	.3426	.3408	.3389
3000.0	.3371	.3353	.3335	.3316	.3298	.3281	.3263	.3245	.3228	.3210
3150.0	.3193	.3175	.3158	.3141	.3124	.3107	.3090	.3073	.3057	.3040
3300.0	.3024	.3007	.2991	.2975	.2959	.2943	.2927	.2911	.2895	.2879
3450.0	.2864	.2848	.2833	.2817	.2802	.2787	.2772	.2757	.2742	.2727
3600.0	.2712	.2697	.2683	.2668	.2654	.2639	.2625	.2611	.2597	.2583
3750.0	.2569	.2555	.2541	.2527	.2513	.2500	.2486	.2473	.2459	.2446
3900.0	.2433	.2419	.2406	.2393	.2380	.2367	.2355	.2342	.2329	.2316
4050.0	.2304	.2291	.2279	.2267	.2254	.2242	.2230	.2218	.2206	.2194
4200.0	.2182	.2170	.2158	.2147	.2135	.2123	.2112	.2101	.2089	.2078
4350.0	.2067	.2055	.2044	.2033	.2022	.2011	.2000	.1989	.1979	.1968
4500.0	.1957	.1947	.1936	.1925	.1915	.1905	.1894	.1884	.1874	.1864
4650.0	.1854	.1844	.1834	.1824	.1814	.1804	.1794	.1784	.1775	.1765
4800.0	.1755	.1746	.1736	.1727	.1718	.1708	.1699	.1690	.1681	.1672
4950.0	.1663	.1654	.1645	.1636	.1627	.1618	.1609	.1600	.1592	.1583
5100.0	.1575	.1566	.1558	.1549	.1541	.1532	.1524	.1516	.1508	.1499
5250.0	.1491	.1483	.1475	.1467	.1459	.1451	.1443	.1436	.1428	.1420
5400.0	.1412	.1405	.1397	.1389	.1382	.1374	.1367	.1360	.1352	.1345
5550.0	.1338	.1330	.1323	.1316	.1309	.1302	.1295	.1288	.1281	.1274
5700.0	.1267	.1260	.1253	.1246	.1240	.1233	.1226	.1219	.1213	.1206
6000.0	.1136	.1130	.1124	.1118	.1112	.1106	.1100	.1094	.1088	.1082

Cuadro Número 2.- Irradiación central en el Gammabeam 650 con diámetro fijo de 11.4 cm.*

Fco. No.	Tiempo de Irrad. (h)	Razón de dosis Mrad/h	Dosis Tot. Mrad	Rotación Blanco (α_0)	Óptica Muestra (α)	$-\ln \frac{\alpha_0}{\alpha}$	pH
1	0.50	3.26	1.63	5.15	5.05	0.018	3.23
2	1.00	"	3.26	"	5.03	0.024	3.03
3	1.66	"	5.41	"	5.00	0.029	2.89
4	2.50	"	8.15	"	4.82	0.066	2.69
5	3.00	"	9.78	"	4.92	0.048	2.71
6	4.00	"	13.04	"	4.80	0.070	2.58
7	6.00	"	19.56	"	4.65	0.102	2.50
8	8.00	3.25	26.00	5.25	4.10	0.247	2.37
9	10.00	3.26	32.60	5.22	4.07	0.250	2.36
10	11.00	"	35.86	5.15	3.75	0.317	2.35
11	15.00	"	48.90	"	3.55	0.371	2.31
12	17.50	"	57.05	"	3.02	0.533	2.29
13	20.00	"	65.60	"	2.85	0.587	2.23
14	22.50	"	73.35	"	2.48	0.727	2.20
15	28.00	"	91.28	"	2.37	0.776	2.13
16	32.25	3.25	104.65	5.60	2.00	1.030	2.10
17	36.00	3.26	117.36	5.15	1.63	1.148	2.05
18	41.00	"	133.66	"	1.47	1.253	2.03
19	46.00	"	149.96	"	1.27	1.398	2.01

Continuación del Cuadro Número 2.

Fco. No.	Tiempo de Irrad. (h)	Razón de dosis Mrad/h	Dosis Tot. Mrad	Rotación Óptica Blanco (α_0)	Muestra (α)	$-\ln \frac{\alpha}{\alpha_0}$	pH
blanco	-	-	-	-	-	-	5.30

* Se utilizó solución acuosa de D(+) Glucosa al 10% (P/V). Pueden aumentarse los límites hasta 400 Mrad empleando solución acuosa al 20% (P/V).

Cada resultado es el promedio de 3 lecturas.

Cuadro Número 3.- Irradiación panorámica con distancias periféricas variables. Gammabeam 650*

No.	Irrad. (h)	cm.	Razón de dosis Mrad/h	Dosis Tot. Mrad	Rotación Óptica Blanco	Muestra	$-\ln \frac{d_0}{d}$
1	10	1	2.54	25.4	4.67	3.98	0.160
2	10	5	1.76	17.6	"	4.23	0.099
3	10	10	1.10	11.0	"	4.41	0.057
4	10	15	0.48	4.8	"	4.47	0.044
5	10	20	0.28	2.8	"	4.54	0.028
6	10	25	0.18	1.8	"	4.56	0.024
7	10	30	0.14	1.4	"	4.58	0.019

* Se empleó solución de D(+) Glucosa al 10% (P/V)

Cada resultado es el promedio de 3 lecturas.

Cuadro Número 4.- Irradiación en el Gammacell-200*

No.	Tiempo de Irrad. (h)	Razón de dosis Mrad/h	Dosis tot. Mrad	Rotación Blanco (°)	Rotación óptica Muestra (°)	$\frac{-\alpha}{\alpha}$
1	238.366	0.15	35.75	6.57	5.50	0.178
2	238.366	0.15	35.75	6.57	5.49	0.185
3	238.366	0.15	35.75	6.57	5.50	0.178
4	261.916	0.15	39.29	6.57	5.30	0.215
5	261.916	0.15	39.29	6.57	5.30	0.215
6	261.916	0.15	39.29	6.57	5.29	0.216
7	261.916	0.15	39.29	6.57	5.30	0.215
8	285.916	0.15	42.89	6.57	5.25	0.224
9	285.916	0.15	42.89	6.57	5.23	0.228
10	285.916	0.15	42.89	6.57	5.25	0.224

* No se consideró práctico obtener dosis totales entre 50-400 Mrads en este irradiador, por su baja razón de dosis.

Se empleó solución acuosa de D(+) Glucosa al 10% (P/V).

Cuadro No. 5 Cálculo de la pendiente de la curva de calibración para el dosímetro de D(+) Glucosa por el método de los mínimos cuadrados. (2,18)

Prueba No. N	Dosis (Mrads) X	$-\ln \frac{a_0}{X}$ Y	XY	X ²
1	8.15	-0.0658	-0.5363	66.4225
2	19.56	-0.1755	-3.4328	382.5936
3	35.86	-0.3167	-11.3569	1285.9396
4	48.90	-0.3719	-18.1859	2391.2100
5	57.05	-0.5376	-30.6701	3254.7025
6	57.05	-0.5327	-30.3905	3254.7025
7	65.60	-0.5872	-38.5203	4303.3600
8	73.35	-0.7273	-53.3475	5380.2225
9	91.28	-0.7756	-70.7968	8332.0384
10	117.36	-1.1479	-134.7175	13773.3700
11	133.66	-1.2526	-167.4225	17864.9960
12	149.96	-1.3984	-209.7041	22488.0020

$\Sigma N = 12$ $\Sigma(X) = 857.78$ $\Sigma(Y) = -7.8892$ $\Sigma(XY) = -769.081$ $\Sigma(X^2) = 82777.56$

I) $(Y) = Na + b \Sigma(X)$

II) $(XY) = a \Sigma(X) + b \Sigma(X^2)$

Sustituyendo valores:

I) $-7.8892 = 12a + b(857.78)$

II) $-769.081 = a(857.78) + b(82777.56)$

De Donde:

$$a = 0.0259$$

y

$$b = -0.00956$$

Como:

$$y = a + bX; \quad y = 0.0259 - 0.00956X$$

$$y = 0.026 - 9.56 \times 10^{-3} X$$

Cuadro Número 6.- Prueba de reproducibilidad de resultados.

Solución acuosa de D(+) Glucosa al 10%

Fuente radiactiva: Gammabeam 650

Abertura de las fuentes: 11.4 cm Irradiación centr

Razón de dosis: 3.26 Mrad/h

Dosis Total: 32.6Mrad.



Muestra No.	Rotación óptica medida		$(\alpha - \bar{\alpha})$	$(\alpha - \bar{\alpha})^2$
	α	α_0		
blanco		5.22		
1	4.10	5.22	0.02	0.0004
2	4.10	5.22	0.02	0.0004
3	4.10	5.22	0.02	0.0004
4	4.10	5.22	0.02	0.0004
5	4.10	5.22	0.02	0.0004
6	4.10	5.22	0.02	0.0004
7	4.10	5.22	0.02	0.0004
8	4.10	5.22	0.02	0.0004
9	4.10	5.22	0.02	0.0004
10	4.05	5.22	-0.03	0.0009
11	4.05	5.22	-0.08	0.0009
12	4.00	5.22	-0.03	0.0016
13	4.05	5.22	-0.03	0.0009
14	4.05	5.22	-0.03	0.0009

Continuación del Cuadro Número 6.-

Muestra No.	Rotación Óptica Medida			
	α	α_0	$(\alpha - \bar{\alpha})$	$(\alpha - \bar{\alpha})^2$
15	4.10	5.22	0.02	0.0004
	$\Sigma(\alpha) = 61.20$		$\Sigma = 0.40$	$\Sigma = 0.0140$
	$\bar{\alpha}$			

$$\bar{\alpha} = 4.08 \pm 0.12$$

$$\bar{\alpha} = 4.08 \pm 2.94\%$$

$$\sigma^2 = 0.0140$$

$$\sigma = 0.0140$$

$$\sigma = 0.12$$

CAPITULO 5

BIBLIOGRAFIA

- 1.- ALLEN, Agustine O. The Radiation Chemistry of water and aqueous solutions. D. Van Nostrand Company Ltd. N.J. (1961).
- 2.- ARKIN, H; COTTON, R, Statistical Methods. Barnes and Noble - Inc. (1958).
- 3.- ARYA, Atam P. Fundamentals of Nuclear Physics. Allyn and Bacon, Inc. (1968).
- 4.- ATIX, Frank H. Radiation Dosimetry Vol. I Academic Press N. Y. (1968).
- 5.- ATIX, Frank H. Radiation Dosimetry Vol. II Academic Press - N.Y. (1968).
- 6.- CLARK, G.L. The Encyclopedia of X rays and Gamma rays. Reinhold Publishing Corporation (1963).
- 7.- DIEHL, J.F., Adam, S.; Delincée, H. and Jakubick, V. Radiolysis of Carbohydrates and of Carbohydrates-Containing Foodstuffs. Journal of Agricultural and Food Chemistry 26, 15-20 American Chemical Society (1978).
- 8.- Chemical Dosimetry Course. A Laboratory Aid. Institute of isotopes of the Hungarian Academy of Sciences. Budapest (1971)
- 9.- Food Irradiation Newsletter. Joint FAO/IAEA Division of Atomic Energy in Food Agriculture. Vol. I No. 3 Viena Austria, Nov. (1977).
- 10.- GLAS, A.L. Optical-Rotation Dosimetry for Co-60 Gamma facilities Nucleonics 20, No. 12, 66 (1962).
- 11.- HINE, G.L. and Brownell, G.L. Radiation Dosimetry. Academic Press N.Y. (1958).
- 12.- HOLM, N. and Berry, R.J. Manual on Radiation Dosimetry. Marcel Deckker Inc. N.Y. (1970).
- 13.- Instruction Manual for the A.E.C.L. Dosimeter Reader System - Type BC-2 Atomic Energy of Canada Ltd.
- 14.- Instruction Manual for Model SR-5 Polarimeter. Polyscience Corporation.

- 15.- Instruction Manual Gammabeam 650 Cobalt-60 irradiation unit. - Atomic Energy of Canada Ltd.
- 16.- Instruction Manual Gammacell 200 Cobalt-60 irradiation unit. - Atomic Energy of Canada Ltd.
- 17.- KAPLAN, I. Nuclear Physics. Addison-Wesley Publishing Company, Inc. (1964).
- 18.- OSTLE, Bernard. Estadística Aplicada. Limusa Wiley S. A. (1970).
- 19.- Radiological Health Handbook. U.S. Department of Health, Education and Welfare. (1970).
- 20.- RUSELL, R.D. Use of Glucose solutions in Cobalt-60 Gamma rays-Dosimetry. The international Journal of Applied Radiation and Isotopes Vol. 21, No. 3, 143-146 Pergamon Press (1970).
- 21.- SHUNRO, K.; Yukio, K. and Mitsuo, N. Radiolysis of D-glucose in aerated, aqueous solution. Carbohydrate Research, 39, 263-269. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, (1975).
- 22.- SPINKS, J.T. and Woods, R.S. An Introduction to Radiation Chemistry, John Wiley and Sons Inc. N.Y. (1976).
- 23.- The Merck Index. An Encyclopedia of Chemicals and Drugs. 8a. edición Merck and Company Rahwal N.J. (1968).
- 24.- VENKATARAMANI, R.; Sudershan, K.M. and Soman, S.D. Gamma Radiation Dosimetry in Megarad range using sugar solution. Radiation Effects, 30, 81-83, Golden and Breach Science P. Ltd. -- (1976).