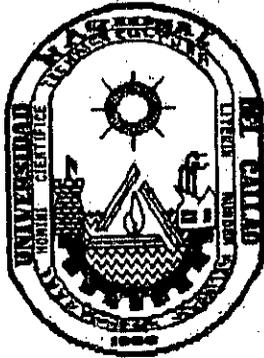


UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA



719
000064
A58

**INTERCOMPARACION DE DOSIMETROS
DE ALTAS DOSIS**

T E S I S

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO QUIMICO**

orig: 64

PRESENTADO POR

ANGELES OTAROLA JULIA ELENA



000150

ASESOR

ING° MARCO LINARES AGURRO

LIMA PERU

La presente Tesis fue Sustentada ante el JURADO DE SUSTENTACIÓN conformado por los siguientes Profesores Ordinarios:

ING° ESTANISLAO BELLODAS ARBOLEDA	:	PRESIDENTE
LIC. JOSÉ SORIANO FRANCIA	:	SECRETARIO
ING° ZENAIDA LEÓN ROMANI	:	VOCAL
ING° MARCO LINARES AGUERO	:	ASESOR

Según figura en el Folio N° 156 asentado en el Acta N° 141 del Libro de Actas de fecha QUINCE DE JULIO DE 1998, para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico en la modalidad de Titulación con Sustentación de Tesis, de acuerdo a lo normado por el Reglamento de Grados y Títulos aprobado por Resolución N° 047-92-CU de fecha 18 de Junio de 1992.

INDICE

	Página
RESUMEN.	05
I. INTRODUCCIÓN.	09
II. OBJETIVOS.	11
III. IMPORTANCIA Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	12
IV. ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS.	14
V. GENERALIDADES.	16
5.1 Conceptos básicos de estructura atómica y molecular.	16
5.1.1 El átomo.	17
5.1.2 Equivalencia entre masa y energía.	19
5.1.3 Radiación electromagnética.	20
5.1.4 Naturaleza cuántica de la radiación.	22
5.1.5 El espectro electromagnético.	22
5.2 Radiactividad.	23
5.2.1 Procesos de desintegración nuclear.	25
5.2.2 Leyes de decaimiento radiactivo.	25
5.2.3 Unidades de radiactividad.	27

	Página
5.3 Interacción de las radiaciones con la materia.	29
5.3.1 Interacción de las partículas cargadas con la materia.	29
5.3.2 Interacción de la radiación electromagnética con la materia.	30
5.4 Detección de radiaciones.	33
5.4.1 Detección por ionización.	33
5.4.2 Detección por excitación.	34
5.4.3 Detección por cambios químicos.	35
5.5 Dosimetría.	35
5.5.1 Sistema dosimétrico primario a estándar.	38
5.5.1.1 Método físico.	38
5.5.1.2 Método químico.	39
5.5.2 Sistema dosimétrico secundario ó de rutina.	41
5.5.2.1 Etanol cloro-benceno.	41
5.5.2.2 Cérico-Ceroso.	43
5.5.2.3 Ferroso cúprico.	44
5.5.2.4 Nitrato Nitrito de Potasio.	45
5.5.2.5 Perpex.	46

	Página
VI. PARTE EXPERIMENTAL.	49
6.1 Lugar de ejecución.	49
6.2 Materiales, equipos y reactivos.	49
6.2.1 Materiales.	49
6.2.2 Equipos.	49
6.2.3 Reactivos.	50
6.3 Procedimientos experimentales.	51
6.3.1 Etanol Cloro-benceno.	51
6.3.2 Cérico - Ceroso.	75
6.3.3 Ferroso Cúprico.	91
6.3.4 Nitrato Nitrito de Potasio.	99
6.3.5 Perpex.	109
VII. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.	115
7.1 Etanol Cloro Benceno.	115
7.2 Cérico-Ceroso.	122
7.3 Ferroso Cúprico.	129
7.4 Nitrato Nitrito de Potasio.	133
7.4 Perpex.	137
VIII. CONCLUSIONES.	162
IX. RECOMENDACIONES.	167
X. BIBLIOGRAFÍA.	168
XI. ANEXOS.	171

RESUMEN

Actualmente el IPEN, ha construido la Planta de Irradiación Multiusos que esta ubicada en el Distrito de Santa Anita, uno de los parámetros de control de calidad de la planta es el medir exactamente el tiempo de irradiación de un determinado producto por ello se hace necesario el tener un sistema dosimétrico de rutina que nos permita saber si el producto que esta siendo irradiado a recibido la dosis adecuada.

En este caso se consideraron cinco sistemas dosimétricos, tomando como referencia estudios realizados por instituciones a nivel Internacional, éstos son: Cérico-Ceroso, Nitrato-Nitrito de Potasio, dosímetro de Polimetalmetacrilato (Perpex), Etanol Clorobenceno (ECB) y Ferroso Cúprico; considerándose como dosímetro primario o estándar el dosímetro Fricke.

De todos ellos se tuvo que elegir a uno como sistema dosimétrico óptimo de rutina, el cual cumple con los requisitos dado para todo dosímetro por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), el cual luego será utilizado en la Planta de irradiación en Santa Anita.

La situación de los controles dosimétricos en estudio, están en función del tipo de aplicación, es decir de altas dosis de radiación (radioesterilización) y de bajas dosis (inhibición de brote en bulbos y tubérculos y retardo de maduración).

El trabajo consistió, en hacer ensayos experimentales de cada sistema dosimétrico, para obtener de esta manera la curva de calibración que sea más representativa para cada sistema, eligiéndose luego el mejor modelo estadístico, de acuerdo al coeficiente de determinación y correlación más cercano a uno. Los ensayos óptimos de cada dosímetro fueron analizados estadísticamente mediante ensayos significativos, de la justificación del modelo elegido, así como para conocer las incertidumbres mínimas y máximas de los parámetros estadísticos.

Otros de los factores que se tuvieron en cuenta para elegir al sistema dosimétrico óptimo fueron: ser estables bajo condiciones normales de almacenamiento, tales como exposición a la luz y aire, tanto antes como después de la irradiación; con respecto a la preparación, debe ser fácil de preparar y simple de usar; no debe sufrir cambios significativos con la temperatura y sobre todo que el costo sea relativamente bajo.

Por tal razón y habiendo cumplido con los requisitos antes mencionados se puede decir que el sistema dosimétrico óptimo elegido fue; el Etanol Cloro Benceno (ECB), ya que demostró en todo momento muy buena linealidad en la respuesta así como también una fácil preparación, entre otras características. Con respecto a este dosímetro se ha estandarizado la curva de dosis absorbida vs. unidades (del oscilótitrador). En este caso para la estandarización de la curva patrón se consideraron los ensayos óptimos obtenidos para el ECB.

Además, el tratamiento estadístico permitió conocer las incertidumbres de los parámetros estadísticos de ésta curva, con una confianza del 95%.

Luego de obtener ésta curva estandarizada, se procedió a realizar la lectura de la dosis absorbida en productos como: hongos deshidratado, gasa parafinada, cápsulas de uña de gato, lancetas (producto médico), todos ellos con muy buenos resultados.

Para la calibración y extrapolación se usó el dosímetro primario Fricke. Además, se realizaron ensayos para determinar el efecto post-irradiación en los productos, no alterándose ni en aire ni en los productos, por lo menos después de 4 meses.

Por lo tanto, se puede decir que se han presentado los parámetros e intervalos de trabajo obtenidos con esta técnica, para que su utilización sea la correcta. Siendo considerado el Etanol Cloro Benceno (ECB), como un dosímetro para altas dosis de radiación gamma, en el rango de 1 - 50 KGy.

I. INTRODUCCIÓN

El avance tecnológico alcanzado en el Perú con el uso de fuentes intensas de radiaciones en los últimos años, en las áreas de irradiación de alimentos y esterilización de material médico quirúrgico ha exigido el desarrollo de técnicas y procedimientos dosimétricos que permitan, tanto en la etapa de estudio y evaluación de factibilidad técnica como en la etapa de aplicación comercial, el nivel de confianza necesario para que el investigador y/o usuario, tenga la certeza de que el proceso de irradiación se ha realizado adecuadamente y, por tanto, se logren los propósitos de su aplicación.

La seguridad de que un proceso de irradiación ha sido bien realizado está basado fundamentalmente en la confianza que se pueda depositar en el estudio dosimétrico, efectuado como parte del establecimiento de los parámetros de irradiación, y en el control de la dosis absorbida durante la irradiación.

La confianza que se puede depositar en las mediciones de dosis absorbidas va a depender del uso de procedimientos adecuados y de técnicas dosimétricas que cuenten con el respaldo de normas técnicas emitidas por organizaciones o asociaciones científicas de reconocido prestigio Internacional.

En este trabajo se presenta una variedad de pruebas con diferentes sistemas dosimétricos de rutina, basados en Normas ASTM, trabajos de investigaciones realizados en diferentes Instituciones de otros países, lo cual nos permitió, utilizar uno de estos sistemas como el más adecuado, rápido de medir, económico, el cual será utilizado como un sistema de control de calidad, en la Planta de Irradiación Multiusos (PIMU), que está ubicado en Santa Anita.

II. OBJETIVOS.

- Verificar las técnicas analíticas para la intercomparación de los dosímetros de altas dosis como son: Etanol cloro-benceno, Cérico-Ceroso, Ferroso cúprico, Nitrato-Nitrito de Potasio y Perpex, y de acuerdo a los resultados estadísticos obtenidos elegir el mejor.
- Evaluar las condiciones que debe cumplir un buen dosímetro como son: estabilidad, fácil preparación, linealidad a la respuesta y reproducibilidad.
- Verificar la dosis absorbida en diversos productos utilizando el sistema óptimo elegido y constatar si el dosímetro no a sufrido cambios después de cuatro meses de haber sido irradiado.
- Realizar estudios comparativos de los resultados con el método tradicional de medición de dosis absorbidas, como es el FRICKE como dosímetro primario ó estándar.
- Evaluación de costos de cada uno de los dosímetros en estudio, para su utilización en la Planta de Santa Anita y para que de esta manera se cumpla con unos de los requisitos para ser considerado como un dosímetro de rutina.

III. IMPORTANCIA Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

3.1 IMPORTANCIA.

- *Obtener un dosímetro que sea fácilmente reproducible cuya composición química no sea alterada durante el proceso de pre y post irradiación, además de ser fácil de preparar y de usar en una planta de irradiación.*

- *La necesidad de establecer un dosímetro de rutina con el cual se sabrá si el producto que esta siendo irradiado está recibiendo la dosis adecuada.*

- *La importancia de encontrar un dosímetro económico, ya que es uno de los factores que ayudará en la elección del sistema dosimétrico.*

3.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

La segunda semana de enero de 1996 entró en funcionamiento la planta de irradiación multiusos (PIMU), la cual tiene como finalidad esterilizar productos médicos quirúrgicos, la conservación de alimentos y eliminación de la carga microbiana.

Para poder comparar si un proceso de irradiación es eficiente, estará basado fundamentalmente en la verificación que se haya hecho del sistema dosimétrico, ya que ello permitirá cuantificar la dosis que está recibiendo el producto.

En la práctica es difícil encontrar un sistema que sea preciso, reproducible, estable, equivalente, barato y fácil de manejar, por lo que la investigación de un sistema dosimétrico de rutina es de vital importancia ya que de ello dependerá el buen desenvolvimiento del proceso de irradiación en la Planta de Irradiación en Santa Anita.

IV. ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS

- El sistema dosimétrico Etanol Clorobenceno (ECB) es ampliamente utilizado en Cuba y Hungría, controla dosis del rango de 0,1-50 KGy; este método tiene la ventaja que nos permite tener un almacenamiento de datos en situ siendo ellos mismos la contramuestra después de ser usados para su lectura. Se tomó como referencia las Normas Internacionales ASTM para el ECB, (22,27).
- El sistema dosimétrico Cérico - Ceroso es ampliamente aplicado desde hace más de dos décadas en países como Canadá, Cuba, Hungría, Polonia, USA; siendo su rango de trabajo de 1 - 100 KGy. La preparación y evaluación fue según Norma Internacional ASTM, (19).
- El sistema dosimétrico Ferroso Cúprico se utiliza actualmente en Chile, controla dosis del rango de 2 a 8 KGy, es un dosímetro de fácil preparación, pero tiene la desventaja de que controla solamente dosis bajas, además de variar su composición química al cabo de 24 horas, siendo una solución inestable, según lo indica las Normas Internacionales ASTM, (3).

- El sistema Nitrato Nitrito de Potasio es utilizado rutinariamente en la planta de Irradiación Semi Industrial Centro Atómico Ezeiza, Buenos Aires -Argentina; permitiendo controlar dosis en el rango de 1 - 100 KGy, el error del método no debe ser superior al 3%. como lo indica la Norma Internacional ASTM (6).

- Dosímetros de polimetilmetacrilato (PMMA) pueden ser usados para aplicaciones industriales tales como radioesterilización de productos médicos e irradiación de alimentos.

Existen algunos tipos de polimetilmetacrilato en el mercado, conocidos como Lucite, Plexiglass, Perpex, etc. De todos ellos, el más empleado es el dosímetro Red y Ámbar Perpex, teniendo un rango de trabajo de 5 a 50 KGy y 3 a 15 KGy respectivamente (28).

- El sistema dosimétrico Fricke, fue el primero en estudiarse y se empleó para la calibración del equipo de Irradiación Gammacell 220, empleándose las técnicas recomendadas por la ASTM, (2). El rango de trabajo del dosímetro Fricke es de 0,04 - 0,4 KGy.

V. GENERALIDADES

5.1 CONCEPTOS BÁSICOS DE ESTRUCTURA ATÓMICA Y MOLECULAR.

La materia ha sido estudiada desde mucho tiempo atrás por algunos investigadores. John Dalton sugirió que la materia está compuesta de distintas partículas reales, llamadas átomos, que son las cantidades más pequeñas de los elementos. Más tarde Proust propuso que los pesos de todos los átomos eran múltiplos sencillos del peso del átomo de hidrógeno, y que ésta era la materia fundamental a partir de la cual se forman todas las demás sustancias. Faraday comprobó que la materia es de naturaleza eléctrica.

Más adelante con el descubrimiento de la radiactividad por Enrique Becquerel en 1896, y, del electrón como constituyente de la materia por J.J. Thomson en 1897, se tuvieron evidencias de que el átomo estaría constituido por partículas más pequeñas, y de que podrían transformarse unos átomos en otros.

Por otro lado, pronto se comprobó que los átomos de una sustancia pura no son necesariamente idénticos. Así el oxígeno atmosférico que es una sustancia pura, está constituido por tres tipos de átomos que difieren en sus masas respectivas.

Lo que puede decirse con certeza es que el átomo es la porción más pequeña de materia que puede obtenerse de una sustancia por procedimientos exclusivamente químicos.

5.1.1 EL ÁTOMO.

La imagen más simple que se puede dar del átomo, a la luz de las experiencias de gran número de investigadores principalmente J.J. Thomson, Rutherford, Barkla, Geiger, Moseley, Chadwick, Bohr y otros, es la que lo presenta constituido por una parte central muy pequeña cargada positivamente, en la que prácticamente está concentrada la masa del átomo, y una serie de electrones en movimiento, ubicados en capas externas del núcleo, en distintos niveles de energía.

En las capas electrónicas tienen origen distintos fenómenos: producción de rayos X, uniones químicas, fenómenos luminosos. En cambio los llamados fenómenos nucleares o radiactivos se llevan a cabo por entrada o salida en el núcleo de partículas elementales (neutrones, partículas alfa, electrones, deuterones, fotones, etc) o por reacomodación de los elementos constitutivos del mismo.

Las capas de electrones son conocidas como niveles cuánticos de energía. Debido a reglas cuánticas, el número de electrones que puede coexistir en las distintas capas está limitado y el estado energético de cada electrón en su capa está descrito completamente por cuatro números cuánticos (n , m , l , s).

El principio de exclusión de Pauli establece que dos electrones de un átomo no pueden tener números cuánticos iguales, de este modo, este principio establece un límite superior al número de electrones que puede haber en cada capa. Este límite está dado por $N=2n^2$ donde n es el número cuántico principal y puede tomar los valores 1,2,3,4,5,6,7.

Las capas de electrones suelen designarse con letras, la primera se denomina K , la segunda L , y así siguiendo hasta Q que es la séptima y la más alejada del núcleo. La fuerza que mantiene unido a los electrones se denomina energía de ligadura o energía de unión. La energía de ligadura tiene un valor que está en relación directa con el número de cargas positivas del núcleo. La energía de ligadura disminuye para los electrones que se encuentran en las capas más exteriores.

Debido al balance entre las cargas positivas del núcleo y las negativas de los electrones que lo rodean, el átomo es en su estado normal, eléctricamente neutro.

La separación de un electrón del átomo formará lo que se denomina un par iónico que consiste del electrón eyectado (-) y lo que queda del átomo (+). Estas entidades se denominan iones y el proceso de su producción se denomina ionización.

5.1.2 EQUIVALENCIA ENTRE MASA Y ENERGÍA

Alberto Einstein en 1905 y como parte de su teoría especial de la relatividad, enunció que el contenido total de energía E de un sistema de masa M está dado por la relación :

$$E = M c^2$$

siendo $c = 2,99776 \times 10^{10}$ cm/s. (velocidad de la luz).

Por lo tanto la masa de un núcleo es una medida de su contenido total de energía, la que sería liberada si se lograra la destrucción integral del mismo, esto no sucede

frecuentemente, pero es dado observar a menudo la desaparición de parte de la masa y su transformación en energía.

La energía equivalente a 1 u.m.a. sería :

$$E = 1,6598 \times 10^{-24} \text{ g } (2,99776 \times 10^{10})^2 \text{ cm}^2/\text{seg}^2$$

$$E = 1,493 \times 10^{-3} \text{ ergios.}$$

La unidad de energía más utilizada en estudios nucleares es el " electrón voltio " (ev) que es la energía que adquiere un electrón al atravesar un campo eléctrico de 1 voltio.

$$1 \text{ ev} = 1,602 \times 10^{-12} \text{ ergios } \quad \text{ó}$$

$$1 \text{ ergio} = 0,624 \times 10^{12} \text{ ev. ;}$$

$$1 \text{ Mev (Millón de electrón-volt)} = 1,602 \times 10^{-6} \text{ ergios.}$$

$$\text{De lo anterior se deduce : } 1 \text{ u.m.a.} = 931 \text{ Mev.}$$

Masa del electrón en reposo es equivalente a 0,511004 Mev (Según la tabla de Nuclídos).

5.1.3 RADIACIONES ELECTROMAGNÉTICAS

Las ondas de radio, de calor, de luz, los rayos ultravioleta, X, gamma, son todos ejemplos de radiación electromagnética. Todas se desplazan a la velocidad de la luz.

Las ondas de cualquier tipo que sean, tienen asociadas una longitud de onda y una frecuencia.

Si tenemos ν vibraciones por segundo y la longitud de onda es λ entonces en un segundo la onda recorrerá $\lambda\nu$ cm., es decir su velocidad será $\nu \lambda$. Para ondas electromagnéticas vale esta importante relación :

$$\nu \lambda \equiv c = 3,10^{10} \text{ cm/s}$$

Como las ondas electromagnéticas tienen una longitud muy corta conviene expresarlas en Angstrom (\AA).

$$1 \text{ \AA} = 10^{-8} \text{ cm.}$$

La longitud de onda de la radiación electromagnética determina sus propiedades. Una onda de 5 000 \AA tiene una frecuencia de 6×10^{14} vib/s

Esta onda puede ser vista por el ojo humano y corresponde a la luz verde, la luz roja tiene una longitud de 7 000 \AA . Si la longitud de onda es mayor de 7 000 \AA el ojo no lo podrá ver y estaremos en la zona de infrarrojo. Una menor de 4 000 \AA será radiación ultravioleta.

A medida que la longitud de onda se hace más corta, es decir la correspondiente frecuencia más grande, se hace necesario considerar la naturaleza cuántica de la radiación.

5.1.4 NATURALEZA CUÁNTICA DE LA RADIACIÓN.

Aunque para muchos propósitos se puede considerar toda la radiación electromagnética como onda, debemos pensar en ella como si fuera un paquete de ondas que viajan con velocidad "c" y que transporta una cierta cantidad de energía. Este paquete de energía se denomina cuanto o fotón.

La cantidad de energía que transporta el fotón depende de la frecuencia de la radiación, y viene dada por la siguiente ecuación:

$$E = h \cdot \nu$$

Siendo : $E =$ energía (erg.)

$h =$ const. de Plank = $6,61 \times 10^{-27}$ (erg.s)

$\nu =$ frecuencia (1/s).

De las relaciones anteriores se concluye que a medida que la longitud de onda se hace más corta la energía que transporta se hace cada vez mayor.

5.1.5 ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO.

El espectro electromagnético incluye toda la radiación electromagnética desde las ondas de radio muy largas hasta los rayos gamma penetrantes de longitud de onda extremadamente corta.

LONGITUD DE ONDA	0 nm	200 nm	380 nm	780 nm	15 μm	50 μm	30 cm
REGIÓN ESPECTRAL	UV		UV cercano	visible	Infrarrojo		Micro-Onda

Fig. N°1: ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

5.2 RADIATIVIDAD

En la naturaleza se encuentran dos grupos de átomos, estables e inestables. Es necesario que se cumplan ciertas condiciones estructurales para que los núcleos de los isótopos de los diversos elementos existan en forma estable.

Cuando estas condiciones no se cumplen más tarde o más temprano y de una manera completamente al azar, los núcleos, átomo por átomo cambiará su estructura para pasar a formar una configuración más estable. El átomo cambiará su número atómico, algunas veces su número de masa y por lo tanto su identidad química.

Este fenómeno se denomina radiactividad y el núcleo se dice que es radiactivo.

La radiactividad trata de los procesos de desintegración espontánea de los núcleos en forma gradual o transiciones de energía hasta alcanzar el estado estable.

El cambio de un núcleo (madre) a núcleo (hija) se denomina desintegración radiactiva.

Cuando el átomo se desintegra tendiendo a una situación más estable pierde una cantidad discreta de energía que será emitida como una o más partículas cargadas o cuantos de radiación.

Algunos núcleos alcanzan la estabilidad mediante una sola desintegración, otros decaen a hijas radiactivas antes de obtener la estabilidad, formando las llamadas familias radiactivas. Como la transformación de los núcleos va acompañada de emisión de radiaciones, a los núcleos inestables se los llama también núcleos radiactivos o activos.

La desintegración radiactiva no es afectada, salvo contadas excepciones, por fenómenos físicos o químicos (captura electrónica) (9).

5.2.1 PROCESO DE DESINTEGRACIÓN NUCLEAR

Los radionucleídos pueden desintegrarse por procesos diferentes, cada tipo de desintegración puede indicarse mediante un esquema de desintegración. Un esquema de desintegración es una combinación de un gráfico y un diagrama de niveles de energía; en la escala vertical se indica la energía involucrada en cada proceso, la horizontal representa los números atómicos de los nucleídos. Los estados isoméricos se indican por líneas horizontales (que dan los niveles de energía) y las transiciones, por flechas que van del estado del que parten al que llegan.

En las transiciones isoméricas las líneas son verticales pues el número atómico no cambia. Cuando en la transición el número Z se incrementa, la flecha se dirige hacia la derecha y hacia abajo (decaimiento β^-); cuando disminuye en número atómico, la flecha va dirigida hacia la izquierda y abajo (decaimiento α , β^+ , y captura electrónica) (11).

5.2.2 LEYES DE DECAIMIENTO RADIOACTIVO.

El decaimiento radiactivo obedece a las leyes de probabilidad, y es independiente de influencias exteriores como presión, gravedad, temperatura, campos eléctricos o magnéticos y tratamientos químicos de la sustancia activa.

El número de átomos de una sustancia radiactiva que se desintegran durante un pequeño intervalo de tiempo, es proporcional al número de átomos presentes en la sustancia y al intervalo de tiempo considerado.

$$- \Delta N = \lambda N \Delta t$$

Siendo :

ΔN : números de átomos que se desintegran.

N : números de átomos activos presentes en la sustancia.

Δt : intervalo de tiempo.

λ : constante de proporcionalidad, llamada constante de desintegración radiactiva y mide la probabilidad de que un átomo particular se desintegre en la unidad de tiempo, es característica de cada nucleido activo.

Si " Δt " es suficientemente pequeño, la ecuación queda:

$$- (dN / dt) = \lambda N = A$$

Al valor $(-dN/dt)$, que es la velocidad de desintegración de una fuente activa al tiempo " t ", se le conoce con el nombre de Actividad.

Integrando la expresión y dándole forma exponencial se tienen:

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

Siendo :

N : átomos que no han desintegrado al cabo del tiempo " t ".

N_0 : átomos que no han desintegrado al tiempo cero (tiempo inicial).

e : base de logaritmos naturales.

Multiplicando ambos miembros de la ecuación por λ , tenemos:

$$\lambda N = \lambda N_0 e^{-\lambda t} , \text{ es decir}$$

$$A = \lambda N_0 e^{-\lambda t}$$

Siendo :

A : actividad de la fuente al tiempo " t " .

A₀ : actividad de la fuente al tiempo inicial.

5.2.3 UNIDADES DE RADIATIVIDAD.

El curie fue redefinido en 1950 por la Comisión Internacional Conjunto de Estándares, Unidades y Constantes de Radiactividad, de manera tal que se aplica a todos los nucleídos y ya no está ligada a la actividad de un grano de Radio. El curie es una unidad de radiactividad definida como la cantidad de cualquier nucleído radiactivo en el cual el número de desintegraciones por segundo es de $3,7 \times 10^{10}$.

En 1964 el Ci fue aceptado como unidad de radiactividad por el Sistema Internacional de Unidades.

El número de desintegraciones es la suma de los valores que corresponden a todos los modos competitivos de desintegración.

Por lo tanto deben conocerse el esquema de decaimiento completo de un radionucleído antes de que cualquier muestra pueda ser expresada en curies como resultados de las mediciones de cualquier modo particular de desintegración tal como rayos beta o gamma.

Desde 1976, una nueva unidad de actividad, el becquerel (Bq), ha sido definido como una unidad derivada del S.I.

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ desintegración / s}$$

Consecuentemente :

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq.}$$

5.3 INTERACCIÓN DE LAS RADIACIONES CON LA MATERIA.

La aplicación práctica de las radiaciones nucleares en la Biología, Medicina, Química e Industria es cada vez mayor; por ello es importante conocer la forma como éstas se comportan cuando entran en contacto con la materia.

5.3.1 INTERACCIÓN DE LAS PARTÍCULAS CARGADAS CON LA MATERIA.

Las radiaciones nucleares, ya sean de partículas cargadas o radiación electromagnética cuando pasan a través de la materia interactúan con ella; decir que la radiación interactúa con la materia es decir que este conocimiento radica fundamentalmente en que :

- La medición de la actividad de una fuente radiactiva se basa siempre en alguno de los efectos producidos por la radiación en el medio sensible del equipo detector.
- Facilitará la aplicación de las sustancias radiactivas a distintos campos de la ciencia y la técnica.
- Permitirá tomar las precauciones convenientes para protegerse de los efectos nocivos que las radiaciones pueden causar en el organismo humano (20).

Existen tres tipos principales de radiación:

- Partículas pesadas con carga como: alfas, protones, deuterones, tritones.
- Partículas livianas con carga: electrones y positrones.
- Radiación electromagnética : rayos X, rayos gamma.

Las radiaciones interactúan a través de colisiones con los núcleos atómicos, los electrones orbitales, con partículas libres o con el campo que rodea al núcleo.

5.3.2 INTERACCIÓN DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA CON LA MATERIA.

En la denominación de radiación electromagnética se incluyen todo tipo de fotones independientes de su origen: rayos X continuos, rayos X característicos, radiación gamma. Su modo de interacción con la materia es independiente de su origen.

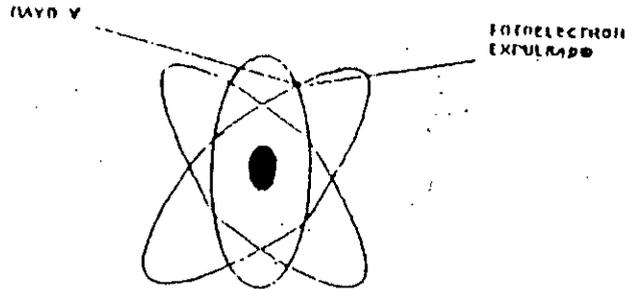
Llamaremos rayos gamma a los que se originan en el núcleo y rayos X a los que se originan fuera del núcleo. Usaremos el término fotón para referimos a ambos, rayos X y rayos gamma.

Cuando un fotón interactúan con la materia, la colisión puede ocurrir con un núcleo, un electrón o con el campo del núcleo. Las colisiones pueden ser elásticas, inelásticas, o pueden resultar en la absorción completa del fotón. La interacción más importante desde el punto de vista de la utilización de los radioisótopos son: el efecto fotoeléctrico, el efecto Compton y la producción de pares.

A. EFECTO FOTOELÉCTRICO.

En este proceso se considera que el fotón interacciona con los electrones de un átomo, transfiriendo prácticamente toda su energía a uno de ellos (con mayor probabilidad los de la capa

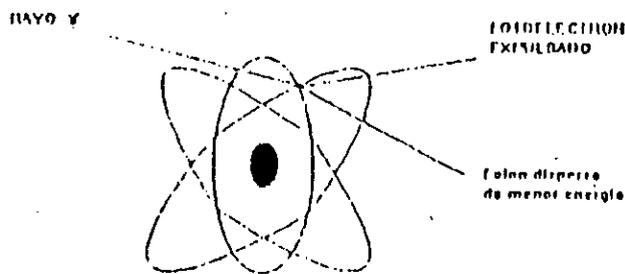
K). De esta manera el electrón es arrancado de su órbita con una energía cinética E .



Efecto Fotoeléctrico

B. EFECTO COMPTON.

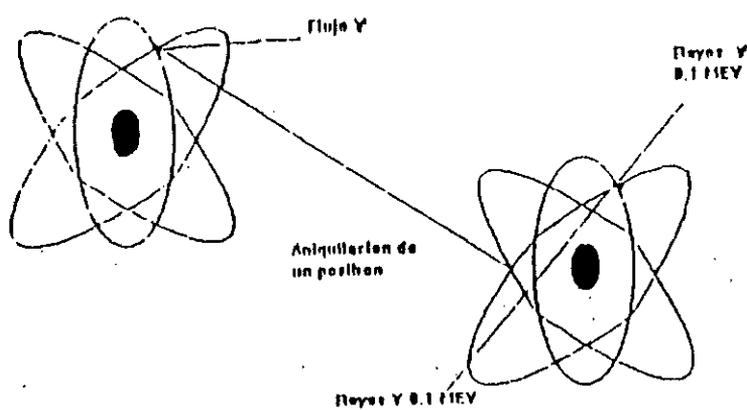
En este caso, un rayo gamma de energía E_r choca con un electrón de órbitas exteriores y le transfiere solamente parte de su energía. El rayo gamma con menor energía E' , (mayor longitud de onda) sale formando un ángulo θ con la dirección de su trayectoria inicial, y el electrón retrocede con energía cinética E , según un ángulo Γ formado con la dirección del rayo gamma incidente.



Efecto Compton

C. PRODUCCIÓN DE PARES.

Cuando el fotón incidente es superior a dos veces la masa en reposo del electrón ($2 \times 0,51 \text{ Mev.} = 1,02 \text{ Mev}$), comienza a ponerse en evidencia un tercer tipo de interacción, en el que el fotón en un campo de partículas cargadas, fundamentalmente en el campo nuclear, desaparece creándose un par electrón-positrón cuya energía total es igual a la energía del fotón incidente.



Producción de pares.

5.4 DETECCIÓN DE RADIACIONES.

5.4.1 DETECCIÓN POR IONIZACION.

Cuando partículas cargadas arriban a un electrodo, generan un pulso eléctrico, que puede ser amplificado y registrado.

Alternativamente los pulsos pueden juntarse para formar una corriente eléctrica, la cual otra vez, puede ser amplificada y medida.

El número de ionizaciones en el gas es una medida directa de la cantidad de partículas ionizantes o fotones que llegan al detector.

5.4.2 DETECCIÓN POR EXCITACIÓN.

A. CENTELLADORES SOLIDOS.

Los centelladores sólidos son particularmente usados para la detección de rayos gamma y rayos X debido al alto poder de detención del sólido.

Las características fundamentales de los detectores de centelleo consisten, en su alta eficiencia de detección y la gran rapidez de su respuesta. Por lo tanto el detector de centelleo es muy adecuado para realizar espectrometría de rayos gamma.

B. CENTELLADORES LÍQUIDOS.

El sistema centellador contiene un solvente, usualmente un compuesto orgánico, y un soluto que es realmente el centellador.

El solvente absorbe la energía y la transfiere al soluto el cual emite fotones.

A menudo un soluto secundario es añadido para incrementar la señal que es recibida en el fotomultiplicador, para luego ser medidos exteriormente .

5.4.3 DETECCIÓN POR CAMBIOS QUÍMICOS.

Las siguientes reacciones químicas pueden emplearse para la detección de las radiaciones :

- Oxidación de sales ferrosas (Fricke).
- Reducción de sales céricas a cerosas.
- Producción de ácido de hidrocarburos clorinados.
- Cambios de absorción, luminiscencia y otras propiedades de sólidos.

5.5 DOSIMETRIA

La dosimetría estudia la determinación de la energía absorbida en un medio expuesto a la radiación ionizante. Por consiguiente cualquier sistema que permita una medida cuantificable y reproducible de los efectos inducidos por las radiaciones, puede en principio ser usada para dosimetría (18).

En la práctica es difícil encontrar un sistema que sea preciso, reproducible estable, equivalente, barato y fácil de manejar.

Se ha visto que la radiación a medida que pasa por la materia deposita su energía y se atenúa. Esto significa que en la irradiación de alimentos, no podemos esperar que la cantidad de energía absorbida sea igual en todas las posiciones; por lo tanto existirá una distribución de dosis en un determinado producto, que variará desde un valor mínimo a un valor máximo.

La distribución de dosis no es de mucha importancia, pero si lo son los valores mínimos y máximos, ya que en esta aplicación tan delicada para el consumo humano, se deberá garantizar que todo el producto tratado haya recibido una dosis mayor que la mínima legal y al mismo tiempo que todo el producto no haya recibido una sobre-dosis.

DOSIMETRIA DE LA RADIACIÓN.

Se denomina dosis a la cantidad de radiación que recibe un material. Para comprender es preciso definir los siguientes términos:

- **EXPOSICIÓN (X) :**

Se denomina exposición de radiación X o gamma en un cierto punto a una medida de la radiación que se basa en la capacidad ionizante de ésta (18).

Su unidad es el Roentgen (R) que es la exposición de radiación X ó gamma.

- **DOSIS ABSORBIDA :**

Se denomina dosis absorbida o simplemente dosis, D, de cualquier radiación a la energía absorbida en la materia por unidad de masa de la misma en el punto de interés (18). La Comisión Internacional de Unidades y Medidas de Radiación define a la dosis como, la energía promedio, de, impartida por la radiación ionizante a un elemento volumétrico de materia, dividida por la masa de la materia, dm, en ese elemento de volumen. Su unidad es el Gray (Gy).

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/Kg} = 6,24 \times 10^{18} \text{ ev/Kg}$$

- **TASA DE DOSIS ABSORBIDA.**

Se denomina tasa de dosis absorbida (D), al cociente de dD por dt, donde dD es el incremento de la dosis absorbida, en el intervalo de tiempo dt.

$$D^{\circ} = dD / dt$$

$$\text{Gray/ seg} = 10^{-2} \text{ JKg}^{-1} \text{ s}^{-1}$$

$$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad.}$$

5.5.1 SISTEMA DOSIMETRICO PRIMARIO O STANDARD.

Son aquellos en los que de una medida de la respuesta se puede encontrar directamente la dosis. Se basa en mediciones directas de las energías absorbidas en un volumen determinado del material, los cuales requieren de ejemplos complejos y tiempos considerables (1).

5.5.1.1 MÉTODO FÍSICO.

Calorimetría : Tiene como principio, la degradación de la energía absorbida de las radiaciones ionizantes, en casi su totalidad, (95% o más) en calor. Calorimetría es un estándar absoluto en dosimetría, pues la energía que se absorbe de la radiación se convierte directamente en calor y así, la cantidad de energía se determina por el cambio de temperatura en el calorímetro (18).

La calorimetría se ha usado muy eficazmente en procesamiento industrial con el empleo de radiaciones ionizantes, especialmente como un método de calibración para dosis de irradiación provenientes de aceleradores de electrones (1).

La calibración de los dosímetros calorimétricos se la hace a base de la elevación de la temperatura, que es en esencia equivalente a la cantidad de energía depositada en el cuerpo del calorímetro. La elevación de temperatura observada, ΔT , es por lo tanto proporcional a la energía aplicada E :

$$E = m c \Delta T$$

Donde :

m = masa del calorímetro (absorbente).

c = calor específico del material absorbente.

Luego se convierte la cantidad de calor inducida por la irradiación, expresada en joules/kg, en dosis absorbida en el material irradiado usando la equivalencia :

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/Kg}$$

5.5.1.2 MÉTODO QUÍMICO.

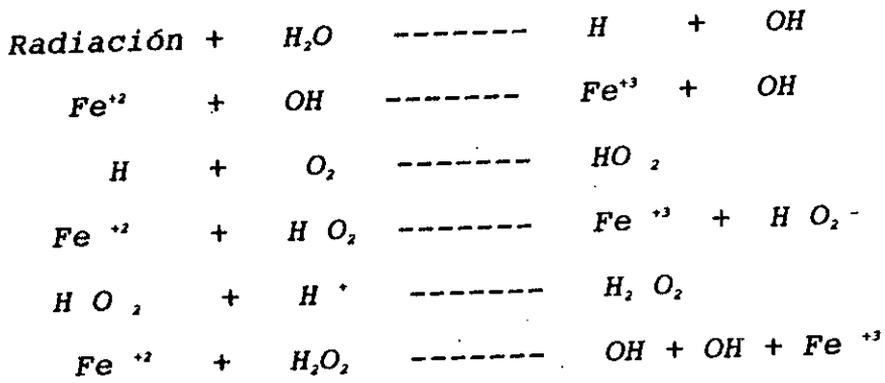
El dosímetro FRICKE es un sistema químico acuoso de uso relativamente simple. Constituye un sistema dosimétrico estándar para dosimetría, es muy reproducible y ha sido calibrado con alta precisión teniendo como referencia, dosímetros calorimétricos (1).

En operaciones de dosimetría dentro del proceso de irradiación de alimentos, el dosímetro de Fricke (o dosímetro acuoso de sulfato ferroso), se le emplea como sistema de medición de referencia para la calibración de campos de radiación y de la respuesta de dosímetros de rutina (24).

Este sistema dosimétrico estándar, fue el primero en estudiarse y se empleó para la calibración del Irradiador Gammacell-220, (4).

La dosimetría sulfato ferroso esta basado en el proceso químico de la oxidación de los iones ferrosos en solución, a iones férrico por efecto de la radiación ionizante.

Este método puede ser usado para la determinación de dosis en el rango de 0,04 - 0,4 KGy.



5.5.2 SISTEMA DOSIMETRICO SECUNDARIO O DE RUTINA.

Las funciones de un dosímetro de rutina es muy diferente de un sistema dosimétrico de referencia.

Un sistema dosimétrico de rutina debe ser fácil de emplear y debe entregar una respuesta a la radiación, directa y fácilmente analizable.

Se utilizan estos sistemas, en general en mayor número y con mucha más frecuencia que los sistemas de referencia, una vez que su respuesta haya sido adecuadamente calibrada en relación a un sistema de referencia, en términos de su capacidad de medir el efecto de la radiación, como una función de dosis absorbida en el material de interés.

5.5.2.1 ETANOL CLOROBENCENO.

El estudio y uso de este sistema dosimétrico como un dosímetro de transferencia o de rutina en los procesos de radiación gamma, data desde el año 1968 en Hungría (11).

Debido a que muchos sistemas dosimétricos son sensibles a impurezas entonces se optó por investigar este sistema ECB, usando la medición de dos parámetros : la conductividad eléctrica y la constante dieléctrica, estas dos variables medibles reciben el nombre de cálculos oscilométricos. Los cambios de conductividad pueden ser usados para determinar la concentración de soluciones (15).

En medidas de conductividad de alta frecuencia no hay contacto galvánico entre la solución y los electrodos , este proceso es preciso y rápido. Esto es una ventaja de la técnica, se elimina el fenómeno de polarización , reacciones perjudiciales entre electrodos, además de cualquier tipo de corrosión.

De acuerdo a la ley de Kohlrausch, la conductividad de la solución cambia por la alteración de la cantidad de iones presentes en la solución. Este fenómeno se aplica para medir la conductividad por oscilometría de alta frecuencia (15).

La conductividad de una solución puede ser característica directa o indirecta del sistema investigado.

La más grande ventaja de éste método es que con la ayuda de la oscilometría las medidas de conductividad pueden llevarse a cabo en un sistema completamente cerrado, como por ejemplo: ampullas (ampollas) de vidrio selladas!

Se trabajó con un oscilotitrator del tipo OK-302/2; fabricado por RADERLKIS ELECTROCHEMICAL INSTRUMENTS - HUNGRÍA.

5.5.2.2 CERICO - CEROSO.

La base de esta dosimetría es la reducción radiolítica de los iones Ce (IV) en Ce (III), en soluciones acuosas ácidas (0.8N de ácido sulfúrico) (19).

Para tener un buen control de calidad de la irradiación se debe tomar en cuenta que un buen dosímetro, depende de la facilidad de la preparación de las soluciones, de la variación del rendimiento G y de diversos parámetros como : dosis, concentración y temperatura, naturaleza y energía de las radiación, tasa de dosis, presencia y ausencia de oxígeno durante la irradiación, naturaleza de las impurezas, el método de dosaje, etc.

La reducción de los iones céricos en soluciones ácidas aireadas se incrementan linealmente con la dosis. Son usados para mediciones de dosis en el rango de 1 a 100 Kgy.

La solución de sulfato cérico en ácido sulfúrico al igual que el sistema de sulfato ferroso, ha jugado un papel importante en el estudio del comportamiento de la química de la radiación en agua y en soluciones acuosas.

El contenedor que se emplee deberá ser adecuado tal como una ampula (ampolla), de vidrio sellada con fuego. La solución indica un nivel de dosis absorbida por un cambio (disminución) en la absorbancia óptica en una longitud de onda específica en la región ultravioleta, o un cambio (aumento) en el electropotencial.

Se emplea un potenciómetro, con una celda especialmente diseñada, para determinar el cambio en el potencial en milivoltios.

5.5.2.3 FERROSO - CUPRICO

Este sistema está basado en la oxidación de los iones ferroso a férrico debido a la radiación ionizante.

El rango de trabajo es de 2 a 8 Kgy, esto puede ser usado en mediciones de dosis de hasta 0,6 Kgy, con un decremento en precisión.

El cambio de la absorbancia de una solución de sulfato Ferroso - Cúprico, es medida en un espectrofotómetro a una temperatura controlada.

La dosis absorbida en la solución es proporcional al cambio en la absorbancia (densidad óptica); esta dosis es determinada luego de multiplicar el cambio en la absorbancia por un factor de conversión.

El rango de dosis no afecta sobre la precisión de las mediciones de radiaciones absorbida.

La confiabilidad del método no es significativamente influenciada por una variación de temperatura del sistema entre 20 y 60 °C durante la irradiación y a 0 °C el valor G es aproximadamente 12% mayor que a 25 °C.

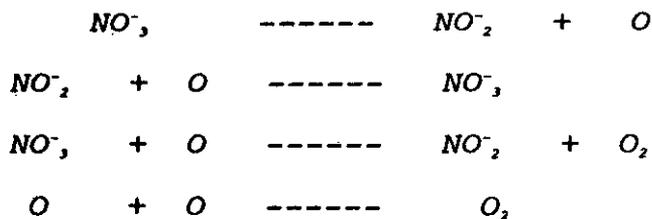
La respuesta del sistema es independiente de la energía en el rango de 0,1 a 10 Mev.

5.5.2.4 NITRATO NITRITO DE POTASIO.

Este sistema dosimétrico se utilizó por primera vez en la planta de Irradiación Semi-Industrial del Centro Atómico de Ezeiza (CAE), Argentina, para la radioesterilización de productos médicos quirúrgicos controlando dosis del rango de 10 KGy (6).

El Nitrato sufre un fenómeno de reducción radiolítico, el cual se puede relacionar con la dosis entregada.

El hecho de que los cristales de Nitrato sufren una reducción radiolítica es conocido desde 1963; Chen y Johnson por un lado y Cunningham por otro, fueron los que enunciaron una correlación entre dosis entregada al sólido y producción de Nitrato según la siguiente ecuación :



Se empleó el nitrato de potasio (KNO₃) en estado sólido, y se estudió desde el punto de vista dosimétrico para cubrir rangos que van desde 1 KGy hasta 100 KGy, mostrando muy buena linealidad.

El sistema KNO_3 - KNO_2 ofrece muy buena estabilidad en el período de post-irradiación y su respuesta es independiente de la temperatura de irradiación.

5.5.2.5 DOSIMETRIA DE POLIMEROS: DOSIMETRIA " PERPEX".

Estos dosímetros son usados para la radioesterilización de productos médicos-quirúrgico e irradiación de alimentos.

La radiación induce una banda ancha de absorción, debido a reacciones de polimerización que tienen lugar en el material. La lectura de la absorción a determinada longitud de onda, es una medida de la dosis recibida por el material.

Existen algunos tipos de polimetilmetacrilato en el mercado, conocidos como lucite, plexiglass, perpex, etc.

De todos ellos, los dosímetros perpex Red y Ámbar son los más conocidos y empleados, teniendo un rango de trabajo de 5 a 50 KGy y 3 a 15 KGy respectivamente.

- DOSIMETRO "PERPEX" :

La irradiación del "Perpex" induce una banda de absorción en la región de 640 nm en el caso del perpex-rojo y de 603 nm en

el caso del perpex-incoloro. Algunos tipos de PMMA se encuentran en el rango de absorción de 260 nm a 290 nm, y otros sobre los 320 nm (28).

VI. PARTE EXPERIMENTAL.

6.1 LUGAR DE EJECUCIÓN.

El trabajo de investigación se realizó en los laboratorios del Centro de Tecnología Pico-onda (C.T.P.O.), División de Investigación y Desarrollo del Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN).

6.2 MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS

6.2.1 MATERIALES.

1. Material de vidrio en general de laboratorio :
fiolas, pipetas, vasos, embudos, probetas,
refrigerante, etc.
2. Ampulas de vidrio con sus respectivas capuchas.
3. Dispensadores de vidrio de 5 ml.
4. Otros : piscetas, papel de filtro, gradilla, mechero
bunsen, soporte universal, etc.

6.2.2 EQUIPOS.

1. Equipo de irradiación Gammacell - 220.
2. Bidestilador y destilador de agua.
3. Estufa.
4. Potenciómetro.

5. Balanza analítica electrónica, digital STANTON.
6. Espectrofotómetro Perkin Elmer - Lambda 2 y cubetas de 1 cm de paso óptico.
7. Oscilotitrator (oscilómetro).
8. Micrómetro.
9. Campana extractora.
10. Congeladora.

6.2.3 REACTIVOS.

1. Clorobenceno (Merck), p.a.
2. Acetona (Merck), p.a.
3. Alcohol Etílico (Merck), p.a.
4. Benceno (Merck), p.a.
5. Permanganato de Potasio (Merck), p.a.
6. Dicromato de Potasio (Merck), p.a.
7. Sulfato Ferroso Amoniacal Hexahidratado,
8. Cloruro de Sodio.
9. Acido sulfúrico (Merck).
10. Sulfato Ceroso Hidratado.
11. Sulfato Cérico Hidratado.
12. Solución de Tiosulfato de Sodio pentahidratado, tritisol.

6.3 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.

Utilizando la dosimetría de referencia Fricke se podrá determinar la tasa de dosis que el Gammacel-220 está emitiendo en el centro de la cámara de irradiación.

Para la preparación y evaluación del sistema dosimétrico Fricke se da mayor información en el anexo N°02.

6.3.1 SISTEMA DOSIMETRICO ETANOL CLOROBENCENO (ECB).

- Para **BAJAS DOSIS** de 1 a 10 KGy y para **ALTAS DOSIS** de 10 a 50 KGy.

Se utilizó el sistema que contiene 24 % vol de clorobenceno, 4 % vol de agua tridestilada, 0,04 % vol de acetona y 0,04 % vol benceno y el resto alcohol etílico (5).

Para la oscilometría, se empleó ampollas farmacéuticas comerciales de 5 ml. de 1,470 - 1,475 mm de diámetro externo, para bajas dosis y de 1,465 - 1,470 mm de diámetro externo, para altas dosis. Cada dosímetro contiene 5 ml de solución dosimétrica. Luego de haber llenado las ampullas con la solución dosimétrica se procederá a sellar

cada una de éstas, para luego ser expuesto a las irradiaciones a un tiempo pre-determinado.

Los dosímetros sellados se guardaron en un lugar oscuro, de preferencia en una refrigeradora.

A continuación se explica los términos empleados en cada uno de los cuadros:

- **Dosis Nordion ó dosis teórica:** Es la tasa de dosis que el irradiador emite diariamente, esto se obtendrá apartir del estudio hecho por el fabricante del irradiador, "Atomic Energy of Canadá". A cada día le corresponderá una tasa de dosis.
- **Sensibilidad:** Con respecto a la sensibilidad del oscilotitrador se dirá que es propio del equipo y nos indica el cambio químico que ha sufrido los dosímetros irradiados a diferentes dosis con respecto a la solución patrón.
- **Espesor del ampula:** El espesor es importante en la irradiación y lectura del sistema dosimétrico Etanol Cloro Benceno, ya que se debe mantener el mismo espesor en todas las ampulas para que no exista diferencia entre estos a la hora de la lectura.

- **Tiempo de irradiación:** Para obtener el tiempo que los dosímetros van a estar expuesto a las radiaciones, se tendrá que tomar como referencia la tasa de dosis Nordion (o tasa de dosis teórica) con la dosis que se va a aplicar (rango de trabajo: de 1 a 10 KGy para bajas dosis y de 10 a 50 para altas dosis), de esta manera se obtendrá el tiempo que se necesitará para ser irradiado los dosímetros.

- **Rango de trabajo:** Se dirá que el rango de trabajo (o dosis absorbida), es el intervalo donde el sistema dosimétrico tiene mayor posibilidad de permanecer estable y mantener su linealidad. Por ejemplo: para bajas dosis se considera de 1 a 10 KGy y para altas dosis será de 10 a 50 KGy.

Los cuadros dados para altas dosis se llevan a cabo usando la fórmula de potencia :

$$Y = A \cdot X^B$$

Del cuadro N° 1 al 10 se puede observar los distintos ensayos experimentales obtenidos para bajas dosis, todos estos son resumidos en el cuadro N° 11, además en el gráfico N° I se encuentra el ensayo más representativo de todos estos.

Los resultados para altas dosis se aprecia en los cuadros N° 12 al 17, todos estos son resumidos en el cuadro N° 18. Además en el gráfico N° II se encuentra el ensayo más representativo.

En la tabla N° 01 se puede observar la comparación que hay entre la dosis obtenida de los dosímetros irradiados con ECB y la dosis obtenida con el Fricke.

CUADRO N° 01

PRIMERA IRRADIACIÓN EN AIRE

ETANOL CLORO BENCENO (BAJAS DOSIS)

DOSIS NORDION : 3,7499 KGy/h

SENSIBILIDAD : 4

ESPESOR : (1,470-1,475) mm

TIEMPO (min)	UNIDADES Y	DOSIS (KGy) X
16	11,8890	1,000
48	30,5557	3,000
80	49,2223	5,000
112	65,3333	7,000
144	79,2220	9,000
160	85,0000	10,000

ANÁLISIS DE REGRESIÓN Y CORRELACIÓN

Ordenada al origen (Constante A)	5,9560
Coefficiente de Regresión (pendiente B)	8,1570
Coefficiente de determinación (r^2)	0,99442
Números de observaciones (n)	6,00000
Grados de libertad (n-2)	4,00000

MODELO ESTADÍSTICO PARA EL ENSAYO :

$$UNIDADES = 5,9560 + 8,157 (DOSIS)$$

CUADRO N° 02

SEGUNDA IRRADIACIÓN EN AIRE

ETANOL CLORO BENCENO (BAJAS DOSIS)

DOSIS NORDION : 3,7337 KGy/h

SENSIBILIDAD : 4

ESPESOR : (1,470-1,475) mm

TIEMPO (min)	UNIDADES Y	DOSIS (KGy) X
16	11,0000	1,000
48	30,0000	3,000
80	48,1113	5,000
112	63,2223	7,000
144	77,7777	9,000
160	85,0000	10,000

ANÁLISIS DE REGRESIÓN Y CORRELACIÓN

Ordenada al origen (Constante A)	4,9607
Coefficiente de Regresión (pendiente B)	8,1530
Coefficiente de determinación (r^2)	0,99644
Números de observaciones (n)	6,00000
Grados de libertad (n-2)	4,00000

MODELO ESTADÍSTICO PARA EL ENSAYO :

$$UNIDADES = 4,9607 + 8,153 (DOSIS)$$

CUADRO N° 03

TERCERA IRRADIACIÓN EN AIRE

ETANOL CLORO BENCENO (BAJAS DOSIS)

DOSIS NORDION : 3,7256 KGy/h

SENSIBILIDAD : 4

ESPESOR : (1,470-1,475) mm

TIEMPO(min)	UNIDADES Y	DOSIS(KGy) X
16	11,6667	1,000
48	30,5554	3,000
80	49,1111	5,000
112	64,1111	7,000
144	79,3333	9,000
160	85,0000	10,000

ANÁLISIS DE REGRESIÓN Y CORRELACIÓN

Ordenada al origen (Constante A)	5.7062
Coefficiente de Regresión (pendiente B)	8.1580
Coefficiente de determinación (r^2)	0.99539
Números de observaciones (n)	6.00000
Grados de libertad (n-2)	4.00000

MODELO ESTADÍSTICO PARA EL ENSAYO :

$$\text{UNIDADES} = 5.7062 + 8.158 (\text{DOSIS})$$

CUADRO N° 04

CUARTA IRRADIACIÓN EN AIRE

ETANOL CLORO BENCENO (BAJAS DOSIS)

DOSIS NORDION : 3,7243 KGy/h

SENSIBILIDAD : 4

ESPESOR : (1,470-1,475) mm

TIEMPO(mi n)	UNIDADES Y	DOSIS(KGy) X
16	12,1111	1,000
48	30,4444	3,000
80	48,4444	5,000
112	63,4444	7,000
144	77,6667	9,000
160	85,0000	10,000

ANÁLISIS DE REGRESIÓN Y CORRELACIÓN

Ordenada al origen (Constante A)	5,9650
Coefficiente de Regresión (pendiente B)	8,0380
Coefficiente de determinación (r^2)	0,99679
Números de observaciones (n)	6,00000
Grados de libertad (n-2)	4,00000

MODELO ESTADÍSTICO PARA EL ENSAYO :

$$UNIDADES = 5,9650 + 8,0380 (DOSIS)$$

CUADRO N° 05

QUINTA IRRADIACIÓN EN AIRE
ETANOL CLORO BENCENO (BAJAS DOSIS)

DOSIS NORDION : 3,7216 KGy/h

SENSIBILIDAD : 4

ESPESOR : (1,470-1,475) mm

TIEMPO(min)	UNIDADES Y	DOSIS(KGy) X
16	10,3889	1,000
48	29,2221	3,000
80	47,7778	5,000
112	62,7778	7,000
144	77,3332	9,000
160	85,0000	10,000

ANÁLISIS DE REGRESIÓN Y CORRELACIÓN

Ordenada al origen (Constante A)	4,1887
Coefficiente de Regresión (pendiente B)	8,2110
Coefficiente de determinación (r^2)	0,99657
Números de observaciones (n)	6,00000
Grados de libertad (n-2)	4,00000

MODELO ESTADÍSTICO PARA EL ENSAYO :

$$\text{UNIDADES} = 4,1887 + 8,2110 (\text{DOSIS})$$

CUADRO N° 06

SEXTA IRRADIACIÓN EN AIRE

ETANOL CLORO BENCENO (BAJAS DOSIS)

DOSIS NORDION : 3,7163 KGy/h

SENSIBILIDAD : 4

ESPESOR : (1,470 - 1,475) mm

TIEMPO(min)	UNIDADES Y	DOSIS(KGy) X
16	11,2222	1,000
48	30,1111	3,000
80	47,8889	5,000
112	63,5556	7,000
144	77,0000	9,000
160	85,0000	10,000

ANÁLISIS DE REGRESIÓN Y CORRELACIÓN

Ordenada al origen (Constante A)	5,2192
Coefficiente de Regresión (pendiente B)	8,0990
Coefficiente de determinación (r^2)	0,99629
Números de observaciones (n)	6,00000
Grados de libertad (n-2)	4,00000

MODELO ESTADÍSTICO PARA EL ENSAYO :

$$\text{UNIDADES} = 5,2192 + 8,099 (\text{DOSIS})$$

CUADRO N° 07

SÉPTIMA IRRADIACIÓN EN AIRE

ETANOL CLORO BENCENO (BAJAS DOSIS)

DOSIS NORDION : 3,7149 KGy/h

SENSIBILIDAD : 4

ESPESOR : (1,470 - 1,475) mm

TIEMPO(min)	UNIDADES Y	DOSIS(KGy) X
16	13,0000	1,000
48	30,5556	3,000
80	48,8889	5,000
112	63,8889	7,000
144	78,7778	9,000
160	85,0000	10,000

ANÁLISIS DE REGRESIÓN Y CORRELACIÓN

Ordenada al origen (Constante A)	6,5556
Coefficiente de Regresión (pendiente B)	8,0220
Coefficiente de determinación (r^2)	0,99695
Números de observaciones (n)	6,00000
Grados de libertad (n-2)	4,00000

MODELO ESTADÍSTICO PARA EL ENSAYO :

$$\text{UNIDADES} = 6,5556 + 8,022 (\text{DOSIS})$$

CUADRO N° 08

OCTAVA IRRADIACIÓN EN AIRE

ETANOL CLORO BENCENO (BAJAS DOSIS)

DOSIS NORDION : 3,7136 KGy/h

SENSIBILIDAD : 4

ESPESOR : (1,470 - 1,475) mm

TIEMPO(min)	UNIDADES Y	DOSIS(KGy) X
16	13,7781	1,000
48	32,3333	3,000
80	50,2223	5,000
112	64,8890	7,000
144	77,7780	9,000
160	85,0000	10,000

ANÁLISIS DE REGRESIÓN Y CORRELACIÓN

Ordenada al origen (Constante A)	8,3457
Coefficiente de Regresión (pendiente B)	7,8260
Coefficiente de determinación (r^2)	0,99469
Números de observaciones (n)	6,00000
Grados de libertad (n-2)	4,00000

MODELO ESTADÍSTICO PARA EL ENSAYO :

$$UNIDADES = 8,3457 + 7,8260 (DOSIS)$$

CUADRO N° 09.

NOVENA IRRADIACIÓN EN AIRE

ETANOL CLORO BENCENO (BAJAS DOSIS)

DOSIS NORDION : 3,7122 KGy/h

SENSIBILIDAD : 4

ESPESOR : (1,470 - 1,475) mm

TIEMPO(min)	UNIDADES Y	DOSIS(KGy) X
16	12,4444	1,000
48	31,1111	3,000
80	50,2222	5,000
112	65,7778	7,000
144	80,3333	9,000
160	85,0000	10,000

ANÁLISIS DE REGRESIÓN Y CORRELACIÓN

Ordenada al origen (Constante A)	6,6682
Coefficiente de Regresión (pendiente B)	8,1390
Coefficiente de determinación (r^2)	0,99314
Números de observaciones (n)	6,00000
Grados de libertad (n-2)	4,00000

MODELO ESTADÍSTICO PARA EL ENSAYO :

$$\text{UNIDADES} = 6,6682 + 8,1390 (\text{DOSIS})$$

CUADRO N° 10

DÉCIMA IRRADIACIÓN EN AIRE

ETANOL CLORO BENCENO (BAJAS DOSIS)

DOSIS NORDION : 3,6565 KGy/h

SENSIBILIDAD : 4

ESPESOR : (1,470 - 1,475) mm

TIEMPO(min)	UNIDADES Y	DOSIS(KGy) X
16	11,3333	1,000
48	30,0000	3,000
80	46,4443	5,000
112	60,3333	7,000
144	76,8889	9,000
160	85,0000	10,000

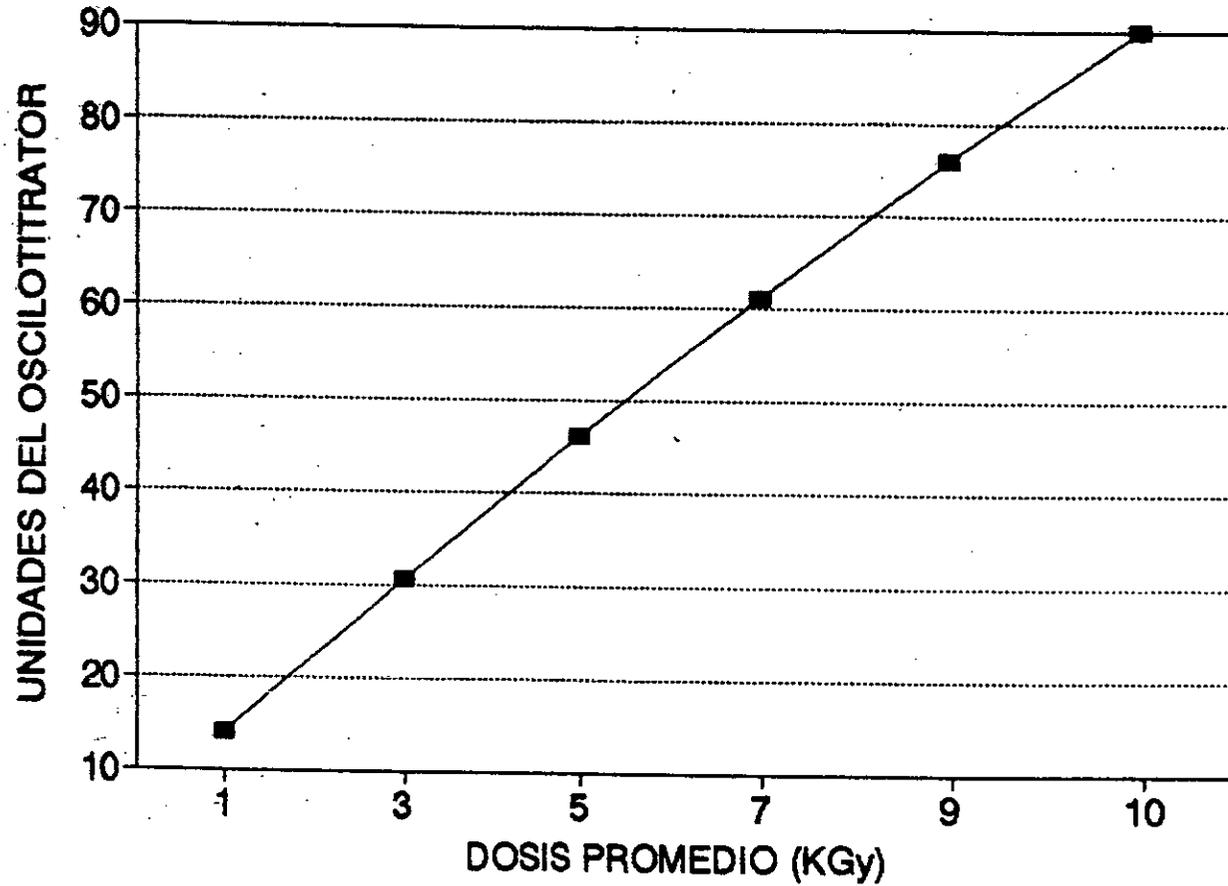
ANÁLISIS DE REGRESIÓN Y CORRELACIÓN

Ordenada al origen (Constante A)	5,5768
Coefficiente de Regresión (pendiente B)	7,7960
Coefficiente de determinación (r^2)	0,99596
Números de observaciones (n)	6,00000
Grados de libertad (n-2)	4,00000

MODELO ESTADÍSTICO PARA EL ENSAYO :

$$\text{UNIDADES} = 5,5768 + 7,7960 (\text{DOSIS})$$

GRAFICO N° DOSIMETRIA DEL ECB BAJAS DOSIS



CUADRO N° 12

PRIMERA IRRADIACIÓN EN AIRE

ETANOL CLORO BENCENO (ALTAS DOSIS)

DOSIS NORDION : 3,7431 KGy/h

SENSIBILIDAD : 2

ESPESOR : (1,465 - 1,470)mm

TIEMPO (min)	UNIDADES	DOSIS (KGy)	LOG UNIDAD Y	LOG DOSIS (KGy) X
160	35,33	10,00	1,548	1,000
240	47,22	15,00	1,674	1,176
321	58,00	20,00	1,763	1,301
481	76,00	30,00	1,881	1,477
641	89,22	40,00	1,950	1,602
801	100,00	50,00	2,000	1,699

ANÁLISIS DE REGRESIÓN Y CORRELACIÓN

Ordenada al origen (Constante A)	0,90782
Coefficiente de Regresión (pendiente B)	0,651
Coefficiente de determinación (r^2)	0,99661
Números de observaciones (n)	6,00000
Grados de libertad (n-2)	4,00000

MODELO ESTADÍSTICO PARA EL ENSAYO : $Y = A X^B$

UNIDADES = 0,90782 (DOSIS) ^{0,651}

CUADRO N° 13

SEGUNDA IRRADIACIÓN EN AIRE

ETANOL CLORO BENCENO (ALTAS DOSIS)

DOSIS NORDION : 3,7337 KGy/h

SENSIBILIDAD : 2

ESPESOR : (1,465 - 1,470)mm

TIEMPO (min)	UNIDADES	DOSIS (KGy)	LOG UNIDAD Y	LOG DOSIS (KGy) X
161	34,89	10,00	1,543	1,000
241	46,11	15,00	1,664	1,176
321	58,56	20,00	1,768	1,301
482	73,78	30,00	1,868	1,477
643	88,00	40,00	1,944	1,602
803	100,00	50,00	2,000	1,699

ANÁLISIS DE REGRESIÓN Y CORRELACIÓN

Ordenada al origen (Constante A)	0,89819
Coefficiente de Regresión (pendiente B)	0,654
Coefficiente de determinación (r^2)	0,99638
Números de observaciones (n)	6,00000
Grados de libertad (n-2)	4,00000

MODELO ESTADÍSTICO PARA EL ENSAYO : $Y = A X^B$

UNIDADES = 0,89818 (DOSIS) ^{0,654}

CUADRO N° 14

TERCERA IRRADIACIÓN EN AIRE

ETANOL CLORO BENCENO (ALTAS DOSIS)

DOSIS NORDION : 3,7566 KGy/h

SENSIBILIDAD : 2

ESPESOR : (1,465 - 1,470)

TIEMPO (min)	UNIDADES	DOSIS (KGy)	LOG UNIDAD Y	LOG DOSIS (KGy) X
160	34,78	10,00	1,541	1,000
240	47,00	15,00	1,672	1,176
319	58,00	20,00	1,763	1,301
479	74,78	30,00	1,874	1,477
439	88,56	40,00	1,947	1,602
799	100,00	50,00	2,000	1,699

ANÁLISIS DE REGRESIÓN Y CORRELACIÓN

Ordenada al origen (Constante A)	0,89858
Coefficiente de Regresión (pendiente B)	0,655
Coefficiente de determinación (r^2)	0,99663
Números de observaciones (n)	6,00000
Grados de libertad (n-2)	4,00000

MODELO ESTADÍSTICO PARA EL ENSAYO : $Y = A X^B$

UNIDADES = 0,89858 (DOSIS) ^{0,655}

CUADRO N° 15

CUARTA IRRADIACIÓN EN AIRE

ETANOL CLORO BENCENO (ALTAS DOSIS)

DOSIS NORDION : 3,7136 KGy/h

SENSIBILIDAD : 2

ESPESOR : (1,465 - 1,470) mm

TIEMPO (min)	UNIDADES	DOSIS (KGy)	LOG UNIDAD Y	LOG DOSIS (KGy) X
162	35,33	10,00	1,548	1,000
242	47,22	15,00	1,674	1,176
323	58,00	20,00	1,765	1,301
484	74,55	30,00	1,872	1,477
646	88,89	40,00	1,949	1,602
808	100,00	50,00	2,000	1,699

ANÁLISIS DE REGRESIÓN Y CORRELACIÓN

Ordenada al origen (Constante A)	0,91165
Coefficiente de Regresión (pendiente B)	0,647
Coefficiente de determinación (r^2)	0,99735
Números de observaciones (n)	6,00000
Grados de libertad (n-2)	4,00000

MODELO ESTADÍSTICO PARA EL ENSAYO : $Y = A X^B$

UNIDADES = 0,91165 (DOSIS) ^{0,647}

CUADRO N° 16

QUINTA IRRADIACIÓN EN AIRE

ETANOL CLORO BENCENO (ALTAS DOSIS)

DOSIS NORDION : 3,7149 KGy/h

SENSIBILIDAD : 2

ESPESOR : (1,465 - 1,470) mm

TIEMPO (min)	UNIDADES	DOSIS (KGy)	LOG UNIDAD Y	LOG DOSIS (KGy) X
162	34,44	10,00	1,537	1,000
242	46,33	15,00	1,666	1,176
323	57,89	20,00	1,763	1,301
484	74,22	30,00	1,871	1,477
646	87,67	40,00	1,943	1,602
807	100,00	50,00	2,000	1,699

ANÁLISIS DE REGRESIÓN Y CORRELACIÓN

Ordenada al origen (Constante A)	0,88937
Coefficiente de Regresión (pendiente B)	0,659
Coefficiente de determinación (r^2)	0,99659
Números de observaciones (n)	6,00000
Grados de libertad (n-2)	4,00000

MODELO ESTADÍSTICO PARA EL ENSAYO : $Y = A X^B$

$UNIDADES = 0,88937 (DOSIS)^{0,659}$

CUADRO N° 17

SEXTA IRRADIACIÓN EN AIRE

ETANOL CLORO BENCENO (ALTAS DOSIS)

DOSIS NORDION : 3,6710 KGy/h SENSIBILIDAD : 2

ESPESOR : (1,465 - 1,470) mm

TIEMPO (min)	UNIDADES	DOSIS (KGy)	LOG UNIDAD Y	LOG DOSIS (KGy) X
163	35,67	10,00	1,552	1,000
245	49,00	15,00	1,690	1,176
327	59,11	20,00	1,772	1,301
490	77,60	30,00	1,887	1,477
654	90,44	40,00	1,956	1,602
807	100,00	50,00	2,000	1,699

ANÁLISIS DE REGRESIÓN Y CORRELACIÓN

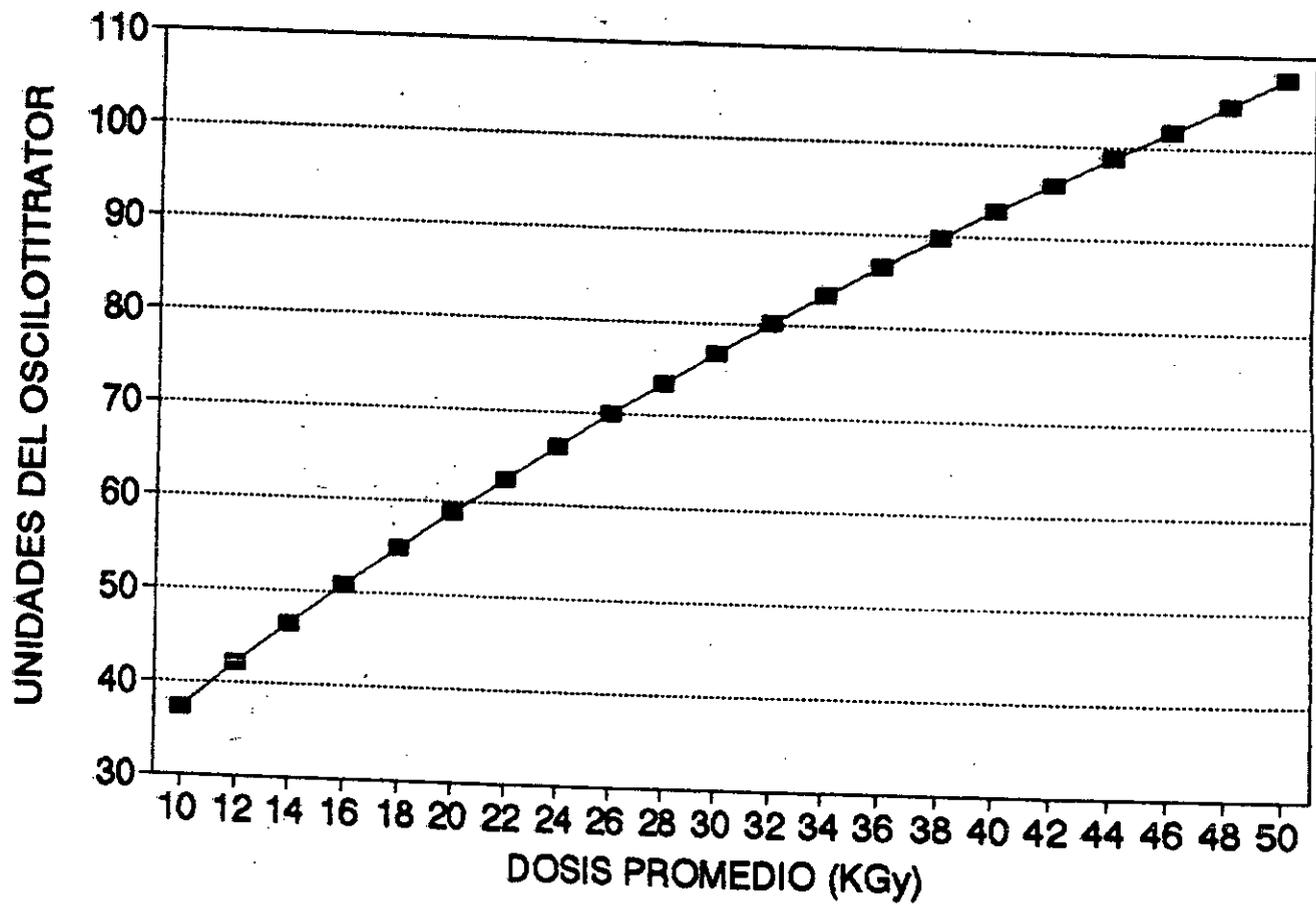
Ordenada al origen (Constante A)	0,96177
Coefficiente de Regresión (pendiente B)	0,616
Coefficiente de determinación (r^2)	0,91896
Números de observaciones (n)	6,00000
Grados de libertad (n-2)	4,00000

MODELO ESTADÍSTICO PARA EL ENSAYO : $Y = A X^B$

UNIDADES = 0,91896 (DOSIS) ^{0,616}

GRAFICO N° II

DOSIMETRIA DEL ECB ALTAS DOSIS



CUADRO N° 18

RESUMEN DE RESULTADOS DEL DOSIMETRO ECB
(ALTAS DOSIS)

IRRADIACIONES						
D Nordion	1ra.	2da.	3ra.	4ta.	5ta.	6ta.
(KGy)	U	N	I	D	A	D
10	35.3330	34.8900	34.7800	35.3330	34.4400	35.6700
15	47.2220	46.1110	47.0000	47.2220	46.3330	49.0000
20	58.0000	58.5600	58.0000	58.0000	57.8900	59.1110
30	76.0000	73.7800	74.7820	74.5550	74.2220	77.6000
40	89.2220	88.0000	88.5600	88.8900	87.6700	90.4440
50	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000
A	0.8078	0.8982	0.8986	0.9117	0.8894	0.9618
B	0.6510	0.6540	0.6550	0.6470	0.6590	0.6160
r2	0.9966	0.9964	0.9966	0.9974	0.9966	0.9190
n	6.0000	6.0000	6.0000	6.0000	6.0000	6.0000
n-2	4.0000	4.0000	4.0000	4.0000	4.0000	4.0000

TABLA N° 01

COMPARACION DEL DOSIMETRO ETANOL CLORO-BENCENO CON EL
DOSIMETRO FRICKE EN PRODUCTOS.

PRODUCTO	E.C.B. OSCILOTIT. D mín	FRICKE D mín	ERROR %
UÑA DE GATO CÁPSULAS	6,85	7,00	2,14
LANCETA I	14,84	15,00	4,04
LANCETA II	14,85	15,00	1,00
GASA I	14,69	15,00	2,07
GASA II	14,51	15,00	3,27
GASA III	14,44	15,00	3,70
UÑA DE GATO LIOFILIZ.	4,80	5,00	4,00
HONGOS DESHIDRATADO	6,80	7,00	2,86
ESTRAC. DE UÑA DE GATO	6,84	7,00	2,30
UÑA DE GATO MICROPULV.	7,78	8,00	2,75
CARMINATO DE CALCIO	5,88	6,00	2,00
CARMIN I	3,96	4,00	0,80
CARMINATO I	5,85	6,00	2,50
CARMINATO II	5,88	6,00	2,00
CARMISOL	4,95	5,00	1,00
CARMIN II	3,98	4,00	0,50

6.3.2 SISTEMA DOSIMETRICA CERICO - CEROSO

A. Las soluciones son preparadas con agua tridestilada la cual tendrá dicromato de potasio y permanganato de potasio al 0,1 % cada una.

El ácido sulfúrico a emplear será del 96,5 % de pureza en peso y tendrá una densidad del 1,84 g/ml.

B. Preparación de la solución.

SOLUCIÓN A : Tendrá la concentración de 0,05 M (para altas dosis) o 0,025 M (para bajas dosis), de Sulfato Ceroso (III), aforandolo con agua tridestilada, en una fiola de 1 litro.

SOLUCIÓN B : Los iones céricos tendrán la concentración de 0,05 M (para altas dosis) o 0,025 M (para bajas dosis), de Sulfato de Cérico (IV), aforandolo con una solución de ácido sulfúrico 0,8N en una fiola de 1 litro.

PREPARACIÓN DE SOLUCIÓN DOSIMETRICA C: (Solución patrón).

Solución A : 600 ml.

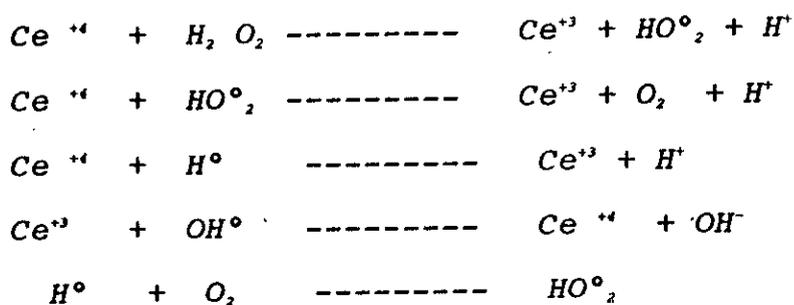
Solución B : 600 ml.

H₂ SO₄ (0,8N) : 60 ml.

Todo se llevará a una fiola de 2 lts, se mezcla bien y se afora con ácido sulfúrico 0,8 N.

A la solución C se le denomina solución STOCK la cual se le utilizará en los viales dosimétricos (ámpulas).

Las reacciones que se producen en el agua, una vez producida la irradiación serán:



PROCEDIMIENTO :

Para la irradiación de sulfato cérico-ceroso, se utilizó ámpulas de vidrio de una capacidad de 5 ml, las cuales estarán tapadas con capuchas de plástico.

Se utilizará el dosímetro primario FRICKE para determinar la tasa de dosis teórica del equipo de irradiación.

A.- PARA BAJAS DOSIS de 1 KGy a 10 KGy.

Los resultados para bajas dosis se aprecia en los cuadros N° 19, 20, 21 y 22. La concentración de la solución A y B serán; de 0,025 M de Sulfato Ceroso (III) y 0,025 M de Sulfato Cérico (IV). La preparación de este sistema se detalla en el item 6.3.2.

B.- PARA ALTAS DOSIS de 10 KGy a 50 KGy.

Para altas dosis se puede observar en los cuadros N° 24 al N° 27. Las concentraciones tanto de A como de B serán de 0,05 M , el procedimiento a utilizar es el que se a descrito en el item 6.3.2.

A continuación se explica los términos utilizados en los cuadros de Cérico-Ceroso para bajas y altas dosis:

- **Dosis teórica:** Es la tasa de dosis que el irradiador emite diariamente. A cada día le corresponderá una tasa de dosis.
- **Tiempo de irradiación:** Para obtener el tiempo que los dosímetros van a estar expuesto a las radiaciones, se tendrá que tomar como referencia la tasa de dosis teórica, y utilizando la dosis que se va a aplicar (rango de

trabajo: de 1 a 10 KGy bajas dosis y de 10 a 30 para altas dosis), se obtendrá el tiempo que se necesitará para ser irradiado los dosímetros.

- **Absorbancia :** Las absorbancias son lecturas que se obtienen apartir del Espectofotómetro estas se miden en nanómetros (0 cm^{-1}), para ello es necesario saber la longitud de onda en la cual se va a trabajar.
- **Tasa de dosis práctica:** La tasa dosis práctica se obtiene apartir del coeficiente de regresión (pendiente B), esta es dada en KGy la cual se multiplicará por el equivalente a una hora o sea 60 minutos.

Se mostrará a continuación los cuadros obtenidos para bajas y altas dosis.

CUADRO N° 19

PRIMERA IRRADIACIÓN EN AIRE
SULFATO CERICO CEROSO (BAJAS DOSIS)

Equipo de medición : Espectrofotómetro Perkin Elmer - Lambda 2

TIEMPO (min) X	ABSORBANCIA (cm ⁻¹)	DOSIS (KGy) Y
16	0,166	0,59
47	0,199	2,38
79	0,217	3,56
111	0,385	5,75
142	0,558	6,20
158	0,783	7,99

ANÁLISIS DE REGRESIÓN Y CORRELACIÓN

Ordenada al origen (Constante A)	-0,1033
Coefficiente de Regresión (pendiente B)	0,0400
Coefficiente de determinación (r ²)	0,9830
Números de observaciones (n)	6,00000
DOSIS PRACTICA :	2,939 KGy/h
DOSIS TEÓRICA :	3,792 KGy/h
% ERROR :	22,49

$\text{DOSIS} = -0,1033 + 0,0489 (\text{TIEMPO})$

CUADRO N° 20

SEGUNDA IRRADIACIÓN EN AIRE

SULFATO CERICO CEROSO (BAJAS DOSIS)

Equipo de medición : Espectrofotómetro Perkin Elmer - Lambda 2

TIEMPO (min) X	ABSORBANCIA (cm ⁻¹)	DOSIS (KGy) Y
16	0,184	0,350
48	0,260	1,998
80	0,475	3,892
111	0,753	5,897
143	0,867	7,890
159	0,925	8,904

ANÁLISIS DE REGRESIÓN Y CORRELACIÓN

Ordenada al origen (Constante A)	-0,7937
Coefficiente de Regresión (pendiente B)	0,0605
Coefficiente de determinación (r ²)	0,9733
Números de observaciones (n)	6,000
DOSIS PRACTICA :	3,629 KGy/h
DOSIS TEÓRICA :	3,778 KGy/h
% ERROR :	3,90

$$DOSIS = -0,7937 + 0,0600 (TIEMPO)$$

CUADRO N° 21

TERCERA IRRADIACIÓN EN AIRE

SULFATO CERICO CEROSO (BAJAS DOSIS)

Equipo de medición : Espectrofotómetro Perkin Elmer - Lambda 2

TIEMPO (min) X	ABSORBANCIA (cm^{-1})	DOSIS (Kgy) Y
16	0,150	0,89
48	0,280	2,67
80	0,526	4,87
111	0,741	6,89
143	0,825	8,45
159	0,975	9,21

ANÁLISIS DE REGRESIÓN Y CORRELACIÓN

Ordenada al origen (Constante A)	-0,011
Coefficiente de Regresión (pendiente B)	0,059
Coefficiente de determinación (r^2)	0,986
Números de observaciones (n)	6,000
DOSIS PRACTICA :	3,557 Kgy/h
DOSIS TEÓRICA :	3,772 Kgy/h
% ERROR :	5,69

$$\text{DOSIS} = 0,6710 + 0,0610 (\text{TIEMPO})$$

CUADRO N° 22

CUARTA IRRADIACIÓN EN AIRE

SULFATO CERICO CEROSO (BAJAS DOSIS)

Equipo de medición : Espectrofotómetro Perkin Elmer - Lambda 2

TIEMPO (min) X	ABSORBANCIA (cm^{-1})	DOSIS (Kgy) Y
16	0,140	1,5408
48	0,373	3,3736
80	0,448	5,2489
112	0,626	7,4268
144	0,819	9,3192
160	0,942	10,5423

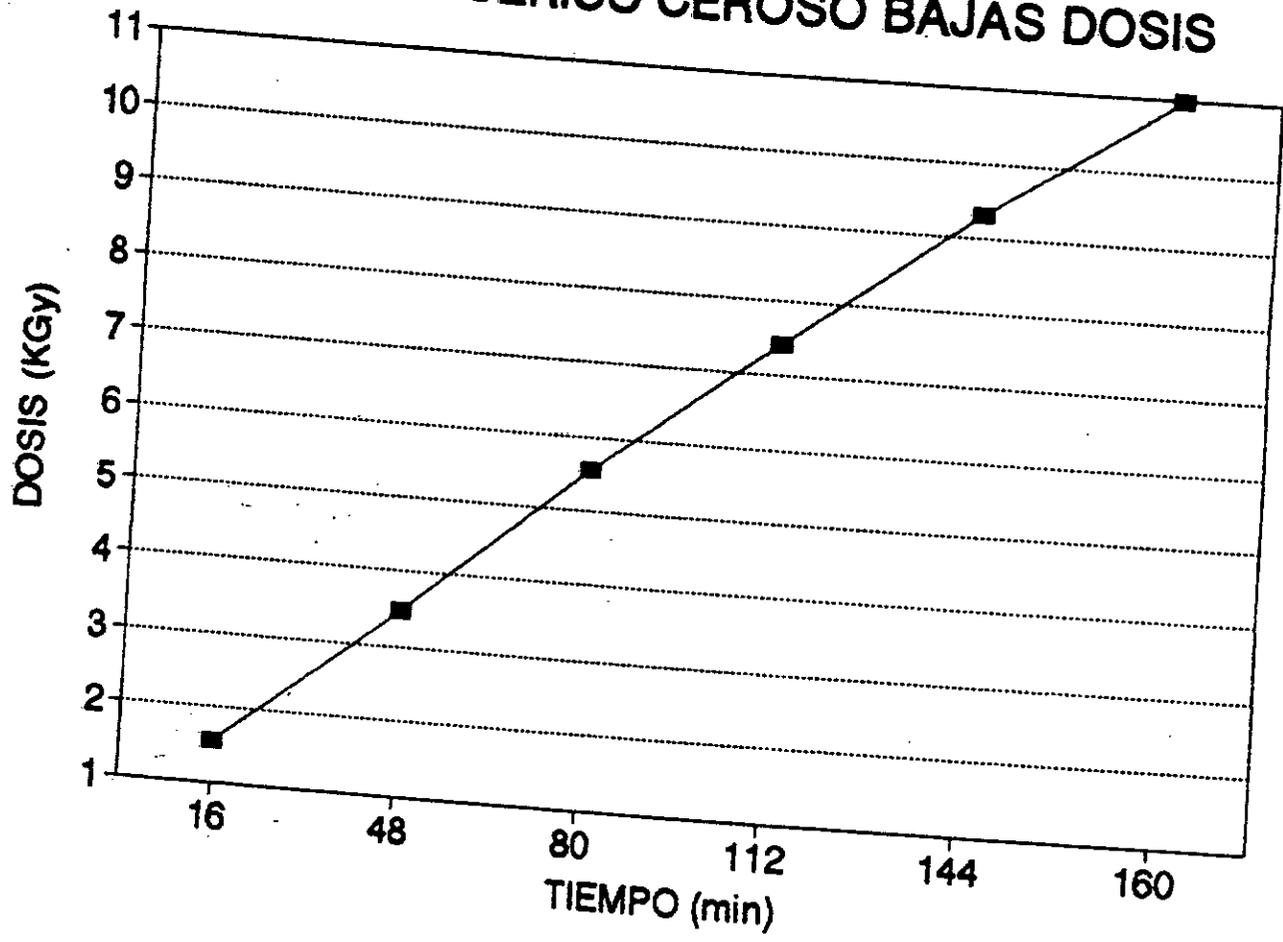
ANÁLISIS DE REGRESIÓN Y CORRELACIÓN

Ordenada al origen (Constante A)	0,419
Coefficiente de Regresión (pendiente B)	0,062
Coefficiente de determinación (r^2)	0,999
Números de observaciones (n)	6,000
DOSIS PRACTICA :	3,743 Kgy/h
DOSIS TEÓRICA :	3,761 Kgy/h
% ERROR :	4,67

$$\text{DOSIS} = 0,4190 + 0,0620 (\text{TIEMPO})$$

GRAFICO N° III

DOSIMETRIA CERICO CEROSO BAJAS DOSIS



CUADRO N° 23

RESUMEN DE RESULTADOS DEL DOSIMETRO
CERICO CEROSO (BAJAS DOSIS)

D Nordion (KGy)	1ra.		2da.		3ra.		4ta.	
	Tiemp. (min)	Dosis(KGy)						
1	16	0,59	16	0,35	16	0,89	16	1,5408
3	47	2,38	48	1,898	48	2,67	48	3,3736
5	79	3,56	80	3,892	80	4,87	80	5,2489
7	111	5,75	111	5,897	111	6,89	112	7,4268
9	142	6,20	143	7,890	143	8,45	144	9,3192
10	158	7,99	159	8,904	159	9,21	160	10,5423
A	-0,1033		-0,7937		-0,011		0,419	
B	0,0400		0,0605		0,059		0,062	
r2	0,9830		0,9733		0,986		0,999	
n	6,0000		6,0000		6,000		6,000	
n-2	4,0000		4,0000		4,000		4,000	

CUADRO N° 24

PRIMERA IRRADIACIÓN EN AIRE

SULFATO CERICO CEROSO (ALTAS DOSIS)

Equipo de medición : Espectrofotómetro Perkin Elmer - Lambda 2

TIEMPO(min) X	ABSORBANCIA (cm^{-1})	DOSIS (KGy) Y
161	0,219	12,123
242	0,397	13,890
322	0,444	18,923
403	0,559	24,909
484	0,814	28,956

ANÁLISIS DE REGRESIÓN Y CORRELACIÓN

Ordenada al origen (Constante A)	1,9089
Coefficiente de Regresión (pendiente B)	0,0554
Coefficiente de determinación (r^2)	0,9879
Números de observaciones (n)	5,0000
DOSIS PRACTICA :	3,322 KGy/h
DOSIS TEÓRICA :	3,720 KGy/h
% ERROR :	10,8

$$\text{DOSIS} = 1,9089 + 0,0554 (\text{TIEMPO})$$

CUADRO N° 25

SEGUNDA IRRADIACIÓN EN AIRE
SULFATO CERICO CEROSO (ALTAS DOSIS)

Equipo de medición : Espectrofotómetro Perkin Elmer - Lambda 2

TIEMPO(min) X	ABSORBANCIA (cm ⁻¹)	DOSIS (Kgy) Y
157	0,120	12,786
236	0,180	14,980
315	0,346	18,987
393	0,564	23,786
472	0,785	28,987

ANÁLISIS DE REGRESIÓN Y CORRELACIÓN

Ordenada al origen (Constante A)	3,4356
Coefficiente de Regresión (pendiente B)	0,0524
Coefficiente de determinación (r ²)	0,989
Números de observaciones (n)	5,000
DOSIS PRACTICA :	3,1411 Kgy/h
DOSIS TEÓRICA :	3,8125 Kgy/h
% ERROR :	17,61

$$DOSIS = 3,4356 + 0,0524 (TIEMPO)$$

CUADRO N° 26

TERCERA IRRADIACIÓN EN AIRE

SULFATO CERICO CEROSO (ALTAS DOSIS)

Equipo de medición : Espectrofotómetro Perkin Elmer - Lambda 2

TIEMPO(min) X	ABSORBANCIA (cm ⁻¹)	DOSIS (KGy) Y
159	0,134	11,067
239	0,389	14,908
318	0,520	19,786
398	0,861	24,897
477	0,958	29,098

ANÁLISIS DE REGRESIÓN Y CORRELACIÓN

Ordenada al origen (Constante A)	1,5195
Coefficiente de Regresión (pendiente B)	0,0579
Coefficiente de determinación (r ²)	0,9990
Números de observaciones (n)	5,000
DOSIS PRACTICA :	3,4755 KGy/h
DOSIS NORDION :	3,7720 KGy/h
% ERROR :	7,80

$$DOSIS = 1,5195 + 0,0579 (TIEMPO)$$

CUADRO N° 27

CUARTA IRRADIACIÓN EN AIRE

SULFATO CERICO CEROSO (ALTAS DOSIS)

Equipo de medición : Espectrofotómetro Perkin Elmer - Lambda 2

TIEMPO(min) X	ABSORBANCIA (cm ⁻¹)	DOSIS (KGy) Y
160	0,140	11,987
240	0,336	14,890
320	0,489	18,670
401	0,689	24,987
481	0,922	27,897

ANÁLISIS DE REGRESIÓN Y CORRELACIÓN

Ordenada al origen (Constante A)	2,9566
Coefficiente de Regresión (pendiente B)	0,0522
Coefficiente de determinación (r ²)	0,9915
Números de observaciones (n)	5,000
DOSIS PRACTICA :	3,1329 KGy/h
DOSIS TEÓRICA :	3,7445 KGy/h
% ERROR :	16,30

$$DOSIS = 2,9566 + 0,0522 (TIEMPO)$$

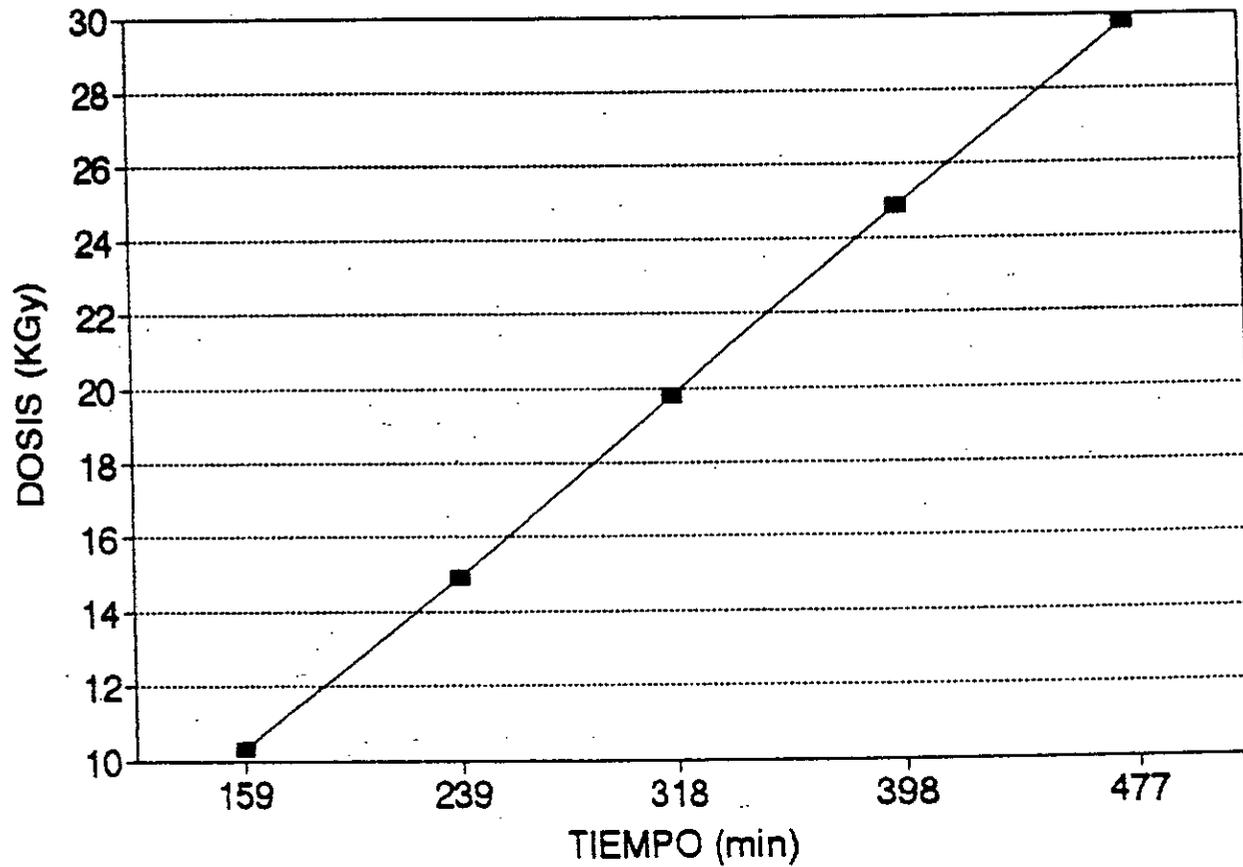
CUADRO N° 28

RESUMEN DE RESULTADOS DEL DOSIMETRO
CERICO CEROSO (ALTAS DOSIS)

D Nordion (KGy)	1ra.		2da.		3ra.		4ta.	
	Tiemp. (min)	Dosis(KGy)						
10	161	12,123	157	12,786	159	11,067	160	11,987
15	242	13,890	236	14,980	239	14,908	240	14,890
20	322	18,923	315	18,987	318	19,786	320	18,670
25	403	24,909	393	23,786	398	24,897	401	24,987
30	484	28,956	472	28,987	477	29,098	481	27,897
A	1,9089		3,4356		1,5195		2,9566	
B	0,0554		0,0524		0,0579		0,0522	
r2	0,9879		0,9890		0,9990		0,9915	
n	6,0000		6,0000		6,000		6,000	
n-2	4,0000		4,0000		4,000		4,000	

GRAFICO N° IV

DOSIMETRIA CERICO CEROSO ALTAS DOSIS



6.3.3 FERROSO CUPRICO.

PARTE EXPERIMENTAL

1. Los reactivos a utilizar deberán ser de alta pureza química de preferencia de la marca "Merck".
2. El agua destilada usada en este método debe estar libre de impurezas orgánicas, de preferencia utilizar agua tridestilada.

SOLUCIÓN DOSIMETRICA :

SOLUTO	: Fe SO ₄ . 7 H ₂ O	0,001 M
	Cu SO ₄ . 5 H ₂ O	0,01 M
SOLVENTE	: H ₂ SO ₄	0,8 N

Esta solución no es estable debe ser preparada cada día.

PROCEDIMIENTO :

1. Se llenan las ampollas con la solución dosimétrica recién preparada. (vol. aprox.= 5 ml), estas se colocan en el irradiador por un período de tiempo predeterminado. Después de pasado este tiempo se sacan las ampollas y se lee la absorbancia (OD_i), de la solución (a 305 nm).

Se debe usar agua destilada como blanco de referencia en el espectrofotómetro. Es necesario diluir la solución irradiada para dosis mayores de 4 KGy con 0,01N de H₂SO₄.

2. Leer una porción de la solución no irradiada frente al agua destilada, luego de haber empezado la irradiación. Use esta absorbancia como el valor en blanco (OD_v) en el cálculo de dosis absorbida.

3. Las mediciones de absorbancia deben ser llevados a cabo a condiciones de temperatura constante si es posible.

Alternativamente una condición de temperatura puede ser hecha de acuerdo a la siguiente ecuación :

$$\text{Dosis (corregida a } T_1) = \frac{\text{Dosis (medida a } T_2)}{1 + 0,007 (T_2 - T_1)}$$

Donde :

T_1 : Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) a la cual la curva de calibración fue preparado.

T_2 : Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) a la cual la muestra desconocida es medida.

Se explicará los términos utilizados en los cuadros para el dosímetro Sulfato Ferroso Cúprico:

- **Tasa de dosis teórica:** Es la cantidad de radiaciones que el irradiador emite diariamente en un determinado tiempo.

Cada día tendrá una tasa de dosis. Cuando comenzó a operar el irradiador la actividad para el Gammacell-220 fue de 6 800 Ci (Curie).

- **Tiempo de irradiación:** Para obtener el tiempo que los dosímetros van a estar expuesto a las radiaciones, se tendrá que tomar como referencia la tasa de dosis teórica, y utilizando la dosis que se va a aplicar (rango de trabajo: de 2 a 8 KGy), se obtendrá el tiempo que se necesitará para ser irradiado los dosímetros.
- **Rango de trabajo:** El rango de trabajo (o dosis absorbida), es el intervalo donde el sistema dosimétrico tiene mayor posibilidad de permanecer estable y mantener su linealidad.
- **Absorbancia :** Las absorbancias son lecturas que se obtienen a partir del Espectrofotómetro estas se miden en nanómetros, para ello es necesario saber la longitud de onda en la cual se está trabajando.
- **Tasa de dosis práctica:** La tasa dosis práctica se obtiene a partir del coeficiente de regresión (pendiente B), ésta es dada en KGy la cual se multiplicará por 60 minutos.

A continuación se dará la relación de los ensayos obtenidos (cuadros N° 29 al 31).

CUADRO N° 29

PRIMERA IRRADIACIÓN EN AIRE
SULFATO FERROSO CUPRICO

TASA DE DOSIS TEÓRICA : 3,9766 KGy/h

TIEMPO (min) Y	ABSORBANCIA (cm-1) X	DOSIS (KGy)
30	0,189	2,00
45	0,355	3,00
75	0,422	5,00
106	0,633	7,00
121	0,722	8,00

ANÁLISIS DE REGRESIÓN Y CORRELACIÓN

Ordenada al origen (Constante A)	0,0474
Coefficiente de Regresión (pendiente B)	0,0512
Coefficiente de determinación (r^2)	0,9845
Números de observaciones (n)	5,0000
DOSIS PRACTICA :	3,0722 KGy/h
DOSIS TEÓRICA :	3,9766 KGy/h
% ERROR :	22,74

$$DOSIS = 0,6710 + 0,0610 (TIEMPO)$$

CUADRO N° 30

SEGUNDA IRRADIACIÓN EN AIRE
SULFATO FERROSO CUPRICO

TASA DE DOSIS TEÓRICA : 3,9538 KGy/h

TIEMPO (min) Y	ABSORBANCIA (cm ⁻¹) X	DOSIS (KGy)
30	0,239	2,00
46	0,330	3,00
76	0,505	5,00
106	0,723	7,00
121	0,847	8,00

ANÁLISIS DE REGRESIÓN Y CORRELACIÓN

Ordenada al origen (Constante A)	0,02133
Coefficiente de Regresión (pendiente B)	0,05927
Coefficiente de determinación (r ²)	0,97790
Números de observaciones (n)	5,0000
DOSIS PRACTICA :	3,5560 KGy/h
DOSIS TEÓRICA :	3,9538 KGy/h
% ERROR :	10,06

$DOSIS = 0,0213 + 0,0593 (TIEMPO)$

CUADRO N° 31

TERCERA IRRADIACIÓN EN AIRE
SULFATO FERROSO CUPRICO

TASA DE DOSIS TEÓRICA : 3,8623 KGy/h

TIEMPO (min) Y	ABSORBANCIA (cm ⁻¹) X	DOSIS (KGy)
31	0,098	2,00
47	0,282	3,00
78	0,505	5,00
109	0,709	7,00
124	0,927	8,00

ANÁLISIS DE REGRESIÓN Y CORRELACIÓN

Ordenada al origen (Constante A)	0,1383
Coefficiente de Regresión (pendiente B)	0,0603
Coefficiente de determinación (r ²)	0,9934
Números de observaciones (n)	5,0000
DOSIS PRACTICA : 3,61875 KGy/h	
DOSIS TEÓRICA : 3,8623 KGy/h	
% ERROR : 16,31	

$DOSIS = 0,1383 + 0,0603 (TIEMPO)$

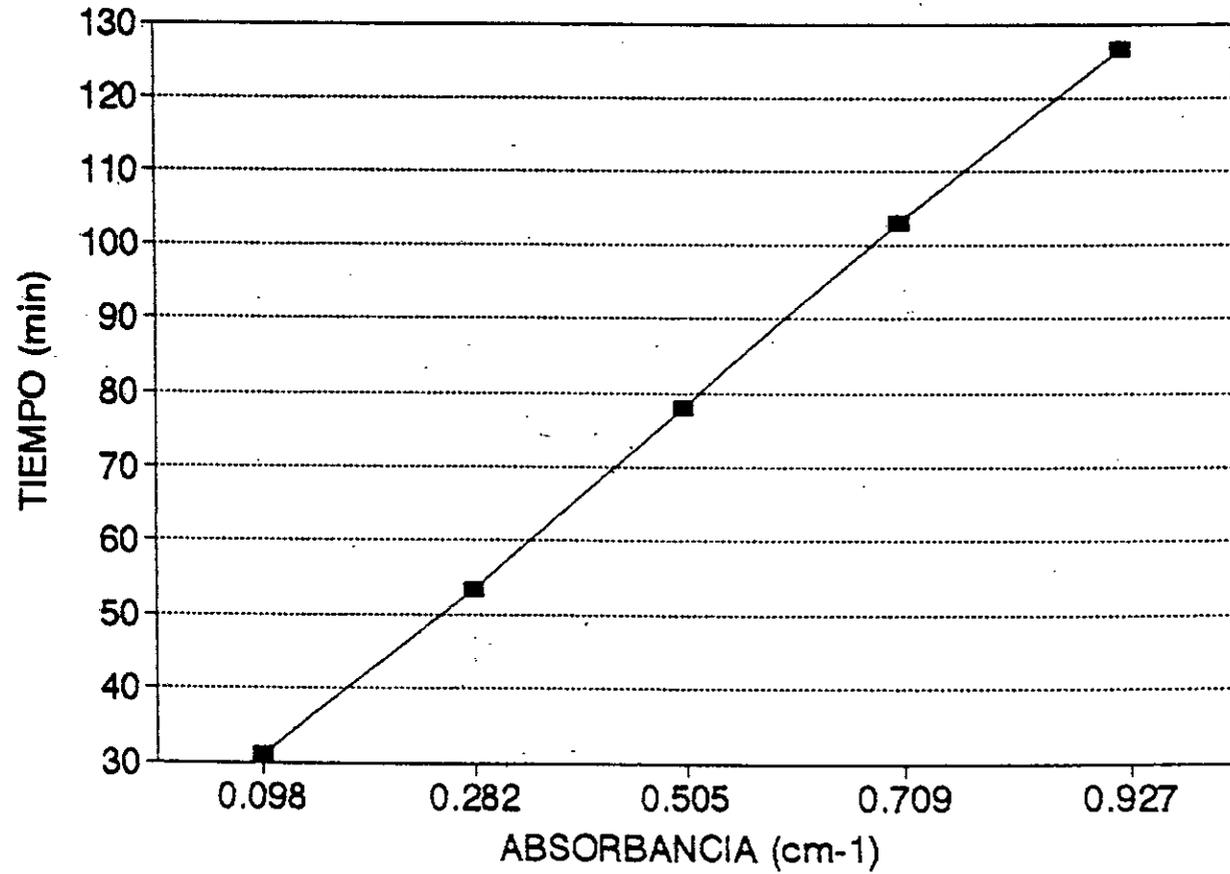
CUADRO N° 32

RESUMEN DE RESULTADOS DEL DOSIMETRO
SULFATO FERROSO CUPRICO

D Nordion (KGy)	1ra.		2da.		3ra.	
	ABSORB (cm-	Tiemp. (min)	ABSORB (cm-	Tiemp. (min)	ABSORB (cm-	Tiemp. (min)
2	0,189	30	0,239	30	0,098	31
3	0,355	45	0,330	46	0,282	47
5	0,422	75	0,505	76	0,505	78
7	0,633	106	0,723	106	0,709	109
8	0,722	121	0,847	121	0,927	124
A	0,0474		0,02133		0,1383	
B	0,0512		0,05927		0,0603	
r2	0,9845		0,97790		0,9934	
n	6,0000		6,0000		6,000	
n-2	4,0000		4,0000		4,000	

GRAFICO N° V

DOSIMETRIA FERROSO CUPRICO



6.3.4 NITRATO NITRITO DE POTASIO

PARTE EXPERIMENTAL

I. PREPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN COLORANTE

SOLUCIÓN A : 2 gr. de Sulfalanilamida se disuelven en 1 Litro de solución de ácido acético al 30 % vol.

SOLUCIÓN B : 1 gr. de N-1 Naftilendiamina se disuelven en 1 Litro de ácido acético al 30 % vol.

En el momento se lleva a cabo la calorimetría, se mezclan las soluciones A y B (5:1).

Las soluciones A y B se conservan cerradas en oscuridad a bajas temperaturas.

II. PROCEDIMIENTO :

Para determinar NO_2^- , en el KNO_2 , irradiado se procede a pesar 0,5 gr. de este, se disuelve en 50 ml. de agua contenida en un matraz de 100 ml. y se agregan 20 ml. de solución colorante. Transcurridos exactamente 10 min. se enrasa y se lee la absorbancia de la solución a 540 nm (6).

La coloración se basa en la formación de una sal de diazonio y posterior copulación con el clohidrato de N-1 Naftilendiamina en medio ácido.

- **CURVA DOSIS ABSORBIDA VS. CONCENTRACIÓN.**

Utilizando el procedimiento descrito en el ítem 6.3.4 y también el coeficiente de extinción molar: $41\,367,171773 \pm 788,79 \text{ l.mol}^{-1}.\text{cm}^{-1}$ (este dato se tomó como referencia del trabajo de investigación: "Medición de Altas Dosis de Radiación Gamma por el Sistema Nitrato-Nitrito de Potasio" (26), para luego construir la curva de concentración de nitrito producido (irradiado en aire), vs. la dosis absorbida.

Para explicar mejor los cuadros de la dosimetría Nitrato Nitrito de Potasio se presenta a continuación una relación de términos que se están utilizando:

- **Dosis Nordion :** Es la tasa de dosis que el irradiador emite diariamente en un determinado tiempo. En el año 1982, cuando comenzó a operar el irradiador la tasa de dosis para el Gammacell-220 fue de 6 800 Ci (Curie).
- **Tiempo de irradiación:** Para obtener el tiempo que los dosímetros van a estar expuestos a las radiaciones, se tuvo que tomar como referencia la tasa de dosis Nordion y

utilizando la dosis que se le va aplicar, se obtiene de este modo el tiempo que necesitan los dosímetros para ser irradiados.

- Rango de trabajo: El rango de trabajo (o dosis absorbida), es el intervalo donde el sistema dosimétrico tiene mayor posibilidad de permanecer estable y mantener su linealidad.

Se da a continuación los cuadros de los ensayos obtenidos, del N° 33 al N° 36, además en el tabla N° 02 se compara los datos de irradiación en productos con la tasa de dosis experimental.

CUADRO N° 33

PRIMERA IRRADIACIÓN EN AIRE
NITRATO/NITRITO DE POTASIO

TASA DE DOSIS NORDION : 3,8498 KGy/h

TIEMPO (min)	DOSIS (KGy) X	CONCENTRACIÓN Y (Mol NO ₂ /0,5gNO ₃)
78	5,00	3,900E-07
156	10,00	7,405E-07
312	20,00	1,240E-06
468	30,00	1,642E-06
623	40,00	1,954E-06
779	50,00	2,626E-06

ANÁLISIS DE REGRESIÓN Y CORRELACIÓN

Ordenada al origen (Constante A)	2,2762E-07
Coefficiente de Regresión (pendiente B)	4,6634E-08
Coefficiente de determinación (r ²)	0,9944
Números de observaciones (n)	6,0000

CONCENTRACIÓN = 2,2762E-07 + 4,6634E-08 (DOSIS)

CUADRO N° 34

SEGUNDA IRRADIACIÓN EN AIRE
NITRATO/NITRITO DE POTASIO

TASA DE DOSIS NORDION : 3,772 KGy/h

TIEMPO (min)	DOSIS (KGy) X	CONCENTRACIÓN Y ($\text{Mo lNO}_2 / 0,5\text{gNO}_3$)
80	5,00	1,031E-07
159	10,00	2,119E-07
318	20,00	9,171E-07
477	30,00	1,412E-06
636	40,00	2,199E-06
795	50,00	3,097E-06

ANÁLISIS DE REGRESIÓN Y CORRELACIÓN

Ordenada al origen (Constante A)	-3,927E-07
Coefficiente de Regresión (pendiente B)	6,6429E-08
Coefficiente de determinación (r^2)	0,99273
Números de observaciones (n)	6,0000

$\text{CONCENTRACIÓN} = -3,9272\text{E-}07 + 6,6429\text{E-}08 (\text{DOSIS})$
--

CUADRO N° 35

TERCERA IRRADIACIÓN EN AIRE
NITRATO/NITRITO DE POTASIO

TASA DE DOSIS NORDION : 3,761 KGy/h

TIEMPO (min)	DOSIS (KGy) X	CONCENTRACIÓN Y (Mol NO ₂ /0.5gNO ₃)
78	5,00	9,6690E-08
160	10,00	2,0956E-07
319	20,00	3,1667E-07
479	30,00	4,3029E-07
638	40,00	4,9959E-07
798	50,00	7,3246E-07

ANÁLISIS DE REGRESIÓN Y CORRELACIÓN

Ordenada al origen (Constante A)	2,4897E-07
Coefficiente de Regresión (pendiente B)	5,8764E-07
Coefficiente de determinación (r ²)	0,97896
Números de observaciones (n)	6,00000

CONCENTRACIÓN = 2,4897E-07 + 5,8764E-07 (DOSIS)

CUADRO N° 36

CUARTA IRRADIACIÓN EN AIRE
NITRATO/NITRITO DE POTASIO

TASA DE DOSIS NORDION : 3,761KGy/h

TIEMPO (min)	DOSIS (KGy) X	CONCENTRACIÓN Y (Mol NO ₂ /0.5gNO ₃)
80	5,000	2,986E-08
159	10,000	7,342E-07
318	20,000	2,897E-07
477	30,000	3,734E-07
636	40,000	4,345E-07
795	50,000	6,985E-07

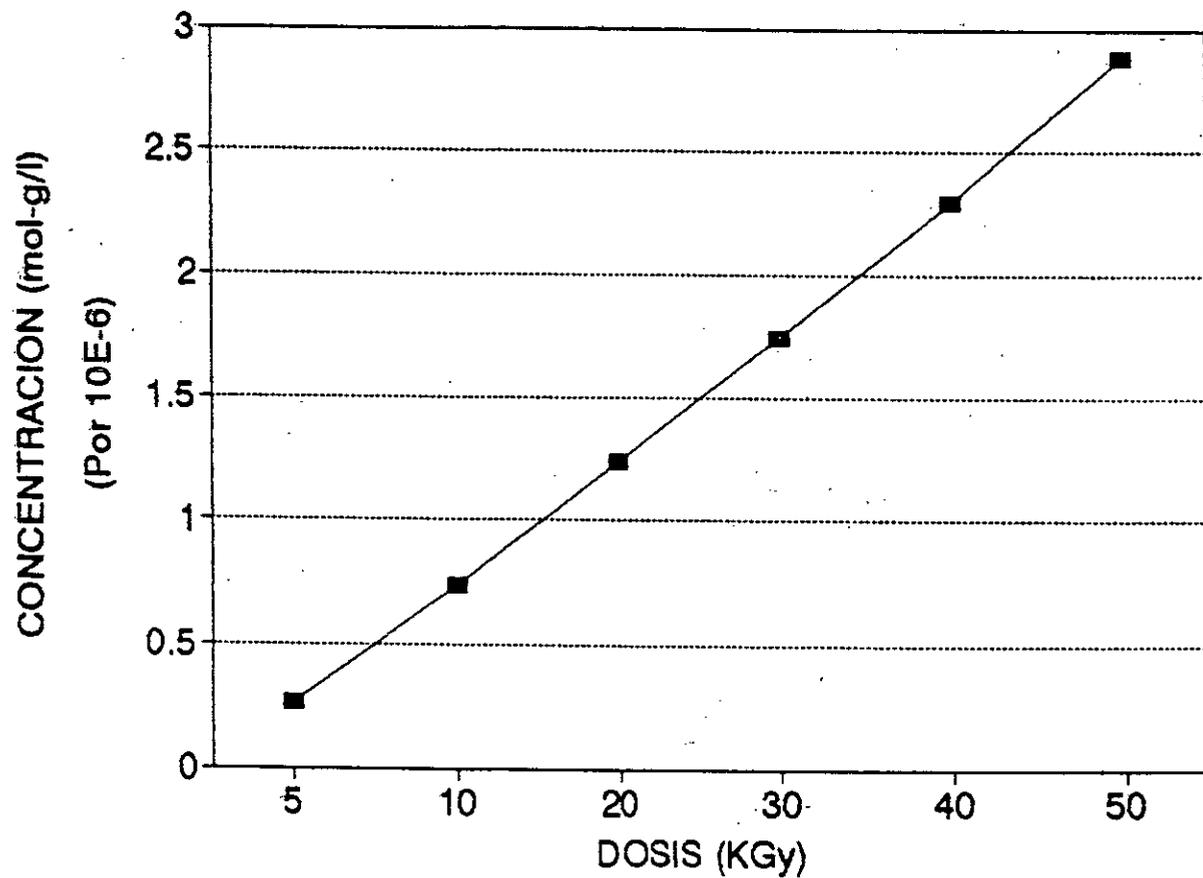
ANÁLISIS DE REGRESIÓN Y CORRELACIÓN

Ordenada al origen (Constante A)	3,564E-08
Coefficiente de Regresión (pendiente B)	7,456E-08
Coefficiente de determinación (r ²)	0,98967
Números de observaciones (n)	6,00000

CONCENTRACIÓN = 3,564E-08 + 7,456E-08 (DOSIS)
--

GRAFICO N° VI

DOSIMETRIA NITRATO NITRITO DE POTASIO



CUADRO N° 37

RESUMEN DE RESULTADOS DEL DOSIMETRO
NITRATO NITRITO DE POTASIO

D Nordion (KGy)	CONCENTRACION (Mol NO ₂ /0,5g NO ₃)			
	1ra.	2da.	3ra.	4ta
10	3,900E-07	1,031E-07	9,669E-08	2,986E-08
15	7,403E-07	2,119E-07	2,0956E-07	7,342E-07
20	1,240E-06	9,171E-07	3,1667E-07	2,897E-07
30	1,642E-06	1,412E-06	4,3029E-07	3,734E-07
40	1,954E-06	2,199E-06	4,9959E-07	4,345E-07
50	2,626E-06	3,097E-06	7,3246E-07	6,985E-07
A	2,276E-07	-3,927E-07	2,4897E-07	3,564E-08
B	4,663E-08	6,643E-08	5,8764E-07	7,456E-08
r ²	0,9944	0,99273	0,97896	0,98967
n	6,0000	6,0000	6,0000	6,0000
n-2	4,0000	4,0000	4,0000	4,0000

TABLA N° 02

COMPARACION DEL DOSIMETRO NITRATO NITRITO DE POTASIO
CON EL DOSIMETRO FRICKE EN PRODUCTOS

PRODUCTO	FRICKE (Dmín)	NITRATO NITRITO DE POTASIO (KGy)	% DE ERROR
CARMIN	10	9,613	3,87
CARMIN	5	5,299	5,98
CARMISOL	10	9,602	3,98
OCUMETRO	15	15,668	4,45

* Datos tomados de "Medición de altas dosis de radiación gamma por el sistema Nitrato Nitrito de Potasio" (26).

6.3.5 PERPEX

Tanto el Red y el Ámbar Perpex son de material acrílicos coloreados sensibles a la radiación, especialmente para aplicarlo en dosimetría de radiación gamma. Cuando los materiales son irradiados presentan una nueva banda de absorbancia en la región de el espectro.

La radiación inducida de absorbancia óptica con una particular longitud de onda puede ser medida exactamente utilizando un espectrofotómetro. La absorbancia está en función de la dosis y del espesor del dosímetro.

PROCEDIMIENTO

1. Seleccionar la correcta longitud de onda (nominal 649 nm para el Red, y 603 para el Ámbar).
2. Limpiar el dosímetro irradiado con papel tisú y alcohol etílico.
3. Medir la absorbancia del dosímetro (A), referido al aire, utilizando a este como referencia.
4. Medir el espesor de los dosímetros irradiados usando para ello un micrómetro. Espesor = t (cm^{-1})
5. Calcular la absorbancia específica = A/t (cm^{-1}).
6. Leer utilizando tablas de dosis vs. absorbancia, o construir una tabla de la curva de dosis vs. absorbancia.

RECOMENDACIONES:

A fin de obtener resultados reproducibles con los dosímetros, ciertas normas se deberán seguir, a saber :

- a). El material debe ser limpiado cuidadosamente antes de su uso.
- b). Debe realizarse mediciones del "background" de los dosímetros.
- c). Se debe evitar la exposición a la luz durante o Después de la irradiación.
- d). Se debe evitar tocar las caras de los dosímetros.
- e). Las mediciones deben ser realizadas no mucho tiempo Después de la irradiación.
- f). Deben evitarse temperaturas mayores a 60 °C Después de la irradiación.
- g). Deben evitarse temperaturas mayores a 45 °C, durante la irradiación.
- h). La irradiación debe tener lugar en condiciones de equilibrio electrónico.

A continuación se presenta el gráfico de la curva de calibración del sistema dosimétrico Red-Perpex, así como la tabla de los valores de dicha curva, además en el tabla N° 03 se compara los datos de irradiación en productos con la tasa de dosis experimental.

RED PER PEX
CUADRO N° 38

Abs. cm-1	Dosis kGy
0,72	5
0,73	5,1
0,74	5,2
0,75	5,3
0,76	5,4
0,77	5,5
0,78	5,6
0,79	5,7
0,8	5,8
0,81	5,9
0,82	6
0,83	6,1
0,84	6,2
0,85	6,3
0,86	6,4
0,87	6,5
0,88	6,6
0,89	6,7
0,9	6,8
0,91	6,9
0,92	7
0,93	7,1
0,94	7,3
0,95	7,4
0,96	7,5
0,97	7,6
0,98	7,7
0,99	7,8
1	7,9
1,01	8
1,02	8,1
1,03	8,3
1,04	8,4
1,05	8,5
1,06	8,6
1,07	8,7
1,08	8,8
1,09	8,9
1,1	9,1
1,11	9,2
1,12	9,3

Abs. cm-1	Dosis kGy
1,13	9,4
1,14	9,5
1,15	9,6
1,16	9,8
1,17	9,9
1,18	10
1,19	10,1
1,2	10,2
1,21	10,4
1,22	10,5
1,23	10,6
1,24	10,7
1,25	10,8
1,26	11
1,27	11,1
1,28	11,2
1,29	11,3
1,3	11,5
1,31	11,6
1,32	11,7
1,33	11,8
1,34	12
1,35	12,1
1,36	12,2
1,37	12,4
1,38	12,5
1,39	12,6
1,4	12,7
1,41	12,9
1,42	13
1,43	13,1
1,44	13,3
1,45	13,4
1,46	13,5
1,47	13,7
1,48	13,8
1,49	13,9
1,5	14,1
1,51	14,2
1,52	14,3
1,53	14,5
1,54	14,6

Abs. cm-1	Dosis kGy
1,55	14,7
1,56	14,9
1,57	15
1,58	15,1
1,59	15,3
1,6	15,4
1,61	15,6
1,62	15,7
1,63	15,8
1,64	16
1,65	16,1
1,66	16,3
1,67	16,4
1,68	16,6
1,69	16,7
1,7	16,8
1,71	17
1,72	17,1
1,73	17,3
1,74	17,4
1,75	17,6
1,76	17,7
1,77	17,9
1,78	18
1,79	18,2
1,8	18,3
1,81	18,5
1,82	18,6
1,83	18,8
1,84	18,9
1,85	19,1
1,86	19,2
1,87	19,4
1,88	19,6
1,89	19,7
1,9	19,9
1,91	20
1,92	20,2
1,93	20,4
1,94	20,5
1,95	20,7
1,96	20,8

Abs. cm-1	Dosis kGy
1.97	21
1.98	21.2
1.99	21.3
2	21.5
2.01	21.7
2.02	21.8
2.03	22
2.04	22.2
2.05	22.3
2.06	22.5
2.07	22.7
2.08	22.9
2.09	23
2.1	23.2
2.11	23.4
2.12	23.6
2.13	23.8
2.14	23.9
2.15	24.1
2.16	24.3
2.17	24.5
2.18	24.7
2.19	24.8
2.2	25
2.21	25.2
2.22	25.4
2.23	25.6
2.24	25.8
2.25	26
2.26	26.2
2.27	26.4
2.28	26.6
2.29	26.8
2.3	27
2.31	27.2
2.32	27.4
2.33	27.6
2.34	27.8
2.35	28
2.36	28.2
2.37	28.4
2.38	28.6

Abs. cm-1	Dosis kGy
2,39	28,8
2,4	29
2,41	29,3
2,42	29,5
2,43	29,7
2,44	29,9
2,45	30,1
2,46	30,4
2,47	30,6
2,48	30,8
2,49	31
2,5	31,3
2,51	31,5
2,52	31,7
2,53	32
2,54	32,2
2,55	32,4
2,56	32,7
2,57	32,9
2,58	33,2
2,59	33,4
2,6	33,7
2,61	33,9
2,62	34,2
2,63	34,4
2,64	34,7
2,65	34,9
2,66	35,2
2,67	35,5
2,68	35,7
2,69	36
2,7	36,3
2,71	36,5
2,72	36,8
2,73	37,1
2,74	37,3
2,75	37,6
2,76	37,9
2,77	38,2
2,78	38,5
2,79	38,8
2,8	39,1

Abs. cm-1	Dosis kGy
2,81	39,4
2,82	39,7
2,83	40
2,84	40,3
2,85	40,6
2,86	40,9
2,87	41,2
2,88	41,5
2,89	41,8
2,9	42,1
2,91	42,4
2,92	42,8
2,93	43,1
2,94	43,4
2,95	43,7
2,96	44,1
2,97	44,4
2,98	44,8
2,99	45,1
3	45,4
3,01	45,8
3,02	46,1
3,03	46,5
3,04	46,9
3,05	47,2
3,06	47,6
3,07	47,9
3,08	48,3
3,09	48,7
3,1	49,4
3,11	49,8
3,12	50,2
3,13	50,6
3,14	51
3,15	51,1
3,16	51,4
3,17	51,8
3,18	52,2
3,19	52,6

GRAFICO N°VII DOSIMETRIA RED_PERPEX

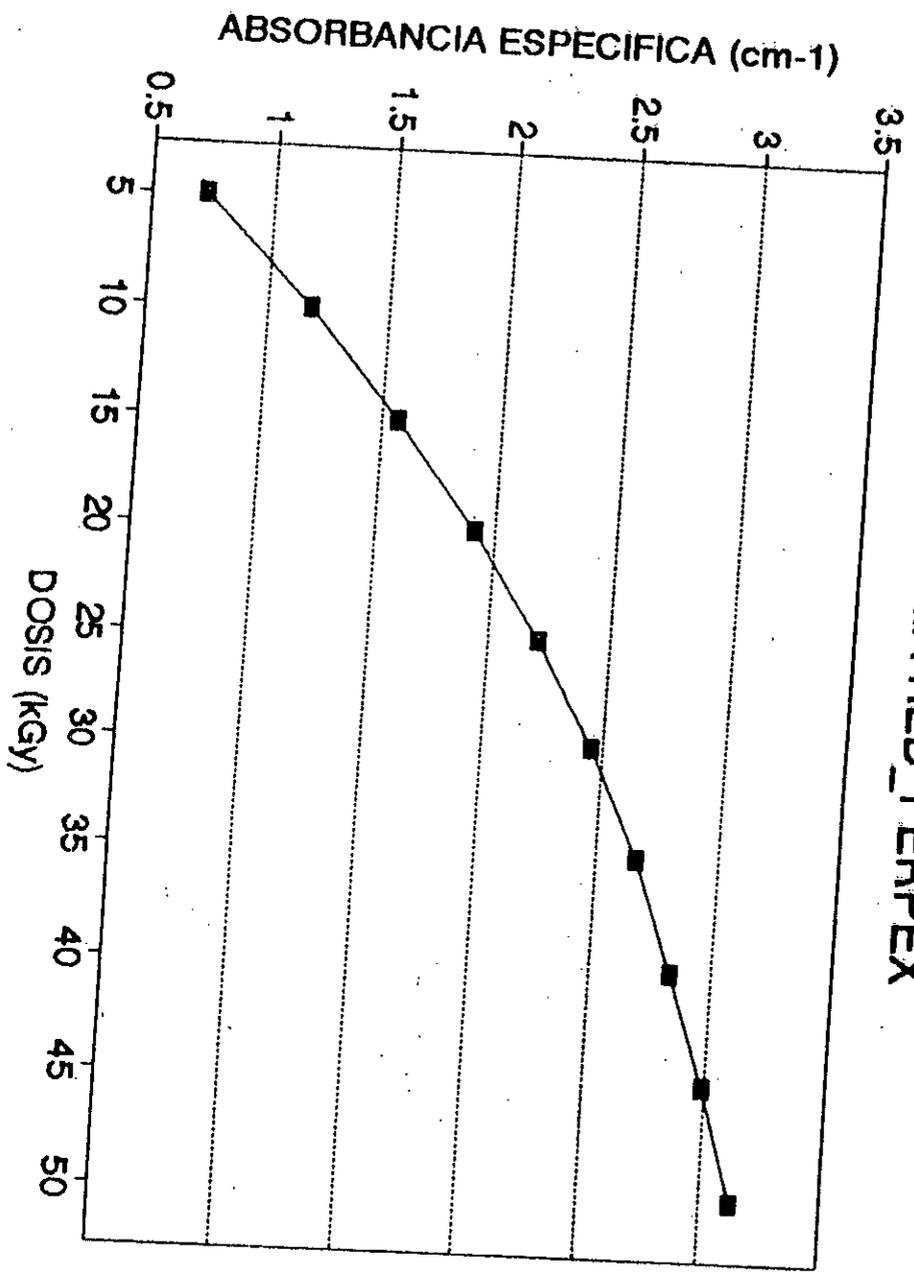


TABLA N° 03

COMPARACIÓN DEL DOSIMETRO RED PERPEX
CON EL DOSIMETRO FRICKE EN PRODUCTOS

PRODUCTO	FRICKE (Dmin)	RED PERPEX (KGy)	% DE ERROR
ALGODON	20	18,2	9,00
GASA	17	16,0	5,80
COMPRESAS	20	18,4	8,00
COMPRESAS	20	18,2	9,00
APOSITOS	15	13,9	7,33
BENDITAS ADHESIVA.	10	9,30	7,00
BENDITAS ADHESIVA.	15	14,0	6,66
DICLOXSALINA	15	14,2	5,33
AMPICILINA	15	14,1	6,00
COMPRESAS	20	18,5	7,75
COMPRESAS	15	13,8	8,00
COMPRESAS	25	22,8	8,80

VII.- DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

7.1 PARA EL ETANOL CLORO-BENCENO :

- PARA BAJAS DOSIS DE 1 A 10 KGy :

De las diez irradiaciones para bajas dosis, se eligió óptima al cuadro N° 7, por tener este el coeficiente de regresión igual a 0,99695. Con la constante A y la pendiente B, se diseñará el siguiente modelo estadístico, el cual es una ecuación lineal.

Modelo Estadístico óptimo : $Y = A + B X$

$\text{UNIDADES} = 6,555600 + 8,0220 \times (\text{DOSIS}) \dots (1)$

- ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL ENSAYO ÓPTIMO :

Se tuvo que evaluar el ensayo obtenido, hallando las desviaciones de los parámetros estadísticos y los intervalos de confianza, para ello se da un nivel de confianza del 95%, mayor explicación en el anexo N°02.

- DESVIACIONES DE LOS PARÁMETROS ESTADÍSTICOS :

Desviación estándar (S.)	1,73062
Desviación estándar de la constante (S.)	1,256467
Desviación de la pendiente (S _b)	0,221887

- INTERVALOS DE CONFIANZA :

Grados de libertad = 4

Confianza o seguridad = 95%

"t" (4,95%) = 2,776

I- PARA LA CONSTANTE " A " :

 $3,067647608 \leq 6,55560 \leq 10,04355239$

II- PARA LA PENDIENTE " B " :

 $7,406041688 \leq 8,0220 \leq 8,637958312$

Se puede observar que los verdaderos valores de los parámetros se encuentran dentro de los intervalos mostrados, para ello se utilizó un intervalo de confianza del 95 %, además de la constante "A", y pendiente "B".

- COMPROBACIÓN DE LA VALIDEZ DEL MODELO ESTADÍSTICO :

$$\text{UNIDADES} = A + B \times (\text{DOSIS})$$

Existen dos formas mediante las cuales podremos comprobar si el modelo estadístico que suponemos es el correcto.

PRIMERA FORMA :

Comprobar que la constante " A ", es mayor o igual a cero.

$$H_0 : A_0 = 0$$

$$H_1 : A_0 > 0$$

$$t_{\text{calc.}} = \frac{A - A_0}{S_a} = 5,21748681$$

$$t_{\text{tablas (4,95\%)}} = 2,776$$

Se llega a la siguiente conclusión, que la hipótesis nula será rechazada debido a que el $t_{\text{calc.}}$ es mayor que el $t_{\text{tabl.}}$ por lo tanto diremos que la hipótesis que aceptamos será aquella que dice que la constante es mayor que cero.

SEGUNDA FORMA :

Comprobar que la pendiente " B " es igual o mayor a cero.

$$H_0 : B_0 = 0$$

$$H_1 : B_0 > 0$$

$$t_{\text{calc.}} = \frac{B - B_0}{S_b} = 36,1535376$$

$$t_{\text{tablas (4,95\%)}} = 2,776$$

En este caso el "t calculado" es mayor que el "t tabulado", entonces se puede decir que la dosis absorbida esta directamente influenciada por las unidades del oscilotitrator teniendo un nivel de significación del 5 %, demostrándose finalmente que si existe relación entre las variables.

- **PARA ALTAS DOSIS DE 10 A 50 KGy :**

De las seis irradiaciones para altas dosis, se eligió óptima al cuadro N° 15, por tener éste el coeficiente de regresión igual a 0,99735. Se considerará a la constante A y a la pendiente B, para diseñar el modelo estadístico que le corresponderá.

Modelo Estadístico óptimo : $Y = A X^B$

Reemplazando:

$\text{UNIDADES} = 0,911650 \times (\text{DOSIS})^{0,6470} \dots (2)$

- **ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL ENSAYO ÓPTIMO :**

Se tuvo que comprobar si el ensayo obtenido era el correcto, para ello se hallaron los parámetros estadísticos, dándole un nivel de confianza del 95 % (ver anexo N° 02).

- **DESVIACIONES DE LOS PARÁMETROS ESTADÍSTICOS :**

Desviación estándar (S.)	0,00991
Desviación estándar de la constante (S.)	1,56549E-4
Desviación de la pendiente (S _b)	8,60558E-3

- **INTERVALOS DE CONFIANZA :**

Grados de libertad	= 4
Confianza o seguridad	= 95 %
"t" (4,95%)	= 2,776

- **PARA LA CONSTANTE " A " :**

$$0,911215 \leq 0,91165 \leq 0,912080$$

- **PARA LA PENDIENTE " B " :**

$$0,623110 \leq 0,6470 \leq 0,670880$$

Se observa que los verdaderos valores de los parámetros se encuentran dentro de los intervalos mostrados, para ello se utilizó un intervalo de confianza del 95 %, tanto para la constante "A", y pendiente "B".

- **COMPROBACIÓN DE LA VALIDEZ DEL MODELO ESTADÍSTICO :**

$(UNIDADES) = A \times (DOSIS)^B$

Existen dos formas mediante las cuales se puede comprobar si el modelo estadístico que se supone es el correcto.

PRIMERA FORMA :

Comprobar que la constante " A_1 ", es mayor o igual a cero.

$$H_0 : A_1 = 0$$

$$H_1 : A_1 > 0$$

$$t_{\text{calc.}} = \frac{A - A_1}{S_a} = 5823,3877$$

$$t_{\text{tablas}} (4, 95\%) = 2,776$$

Se llega a la siguiente conclusión que la hipótesis nula será rechazada debido a que el $t_{\text{calc.}}$ es mayor que el $t_{\text{tabl.}}$ por lo tanto se dirá que la hipótesis que aceptamos será aquella que dice que la constante es mayor que cero.

SEGUNDA FORMA :

Comprobar que la pendiente " B " es igual o mayor a cero.

$$H_0 : B_0 = 0$$

$$H_1 : B_0 > 0$$

$$t_{\text{calc.}} = \frac{B - B_0}{S_b} = 75,1838$$

$$t_{\text{tablas}} (4, 95\%) = 2,776$$

En este caso el " $t_{\text{calculado}}$ " es mayor que el " t_{tabulado} " entonces se puede decir que la hipótesis nula es rechazada, aceptándose la hipótesis alternativa que dice que la constante es mayor que cero y que éste valor ha surgido por la propia relación existente entre la variable dosis absorbida vs. unidades del oscilotitrator.

De acuerdo a los datos obtenidos para este dosímetro se puede decir, que tuvo muy buena linealidad a la respuesta, es reproducible, estable, barato y fácil de manejar. En el anexo N° 05 se da un relación de productos irradiados con ECB y se compara éste con el dosímetro Fricke, teniendo un porcentaje de error menor al 4% en este caso no excede al límite máximo permisible que es del 5%. Por lo tanto podrá ser considerado como dosímetro óptimo de rutina.

7.2 PARA EL CERICO-CEROSO.

- PARA BAJAS DOSIS DE 1 A 10 KGy :

Se realizó 4 irradiaciones en aire para bajas dosis, como se pueden observar en los cuadros N° 19 al N° 22, de todos ellos consideramos como óptimo al cuadro N° 22 por tener un coeficiente de regresión igual a 0,9990. Para el modelo estadístico óptimo se considerará la constante (A) y la pendiente (B), como a continuación se observa.

Modelo Estadístico óptimo :

$$\text{DOSIS} = 0,4190 + 0,062 (\text{TIEMPO})$$

- ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL ENSAYO ÓPTIMO :

Se tuvo que evaluar al ensayo óptimo, para ello, se encontrará las desviaciones de los parámetros estadístico y luego los intervalos de confianza, dándole un nivel de confianza del 95%, mayor explicación en el anexo N° 02.

- DESVIACIONES DE LOS PARÁMETROS ESTADÍSTICOS :

Desviación estándar (S.)	0,13200
Desviación estándar de la constante (S.)	0,02651
Desviación de la pendiente (S _b)	0,006300

- **INTERVALOS DE CONFIANZA :**

Grados de libertad	=	4
Confianza o seguridad	=	95 %
"t" (4,95%)	=	2,776

- **PARA LA CONSTANTE " A " :**

$$0,3450 \leq 0,4190 \leq 0,4930$$

- **PARA LA PENDIENTE " B " :**

$$0,0445 \leq 0,0620 \leq 0,0795$$

Se puede observar que para la constante " A " y pendiente " B ", los verdaderos valores se encontrarán dentro de los rangos establecidos anteriormente, utilizando un intervalo de confianza del 95%.

- **COMPROBACIÓN DE LA VALIDEZ DEL MODELO ESTADÍSTICO :**

$$\boxed{\text{DOSIS} = A + B \times (\text{TIEMPO})}$$

Ahora se comprobará si el modelo estadístico que se empleó es el correcto para ello existen dos formas, las cuales los daremos a conocer a continuación :

- **PRIMERA FORMA :**

Comprobar que la constante " A ", es mayor o igual a cero.

$$H_0 : A_0 = 0$$

$$H_1 : A_0 > 0$$

$$t_{\text{calc.}} = \frac{A - A_0}{S_a} = 15,805$$

$$t_{\text{tablas (4,95\%)}} = 2,776$$

Podemos observar que se aceptará la hipótesis cuya constante es mayor que cero, rechazando la hipótesis nula debido a que el $t_{\text{calc.}}$ es mayor que el $t_{\text{tabl.}}$

SEGUNDA FORMA :

Comprobar que la pendiente " B " es igual o mayor a cero.

$$H_0 : B_0 = 0$$

$$H_1 : B_0 > 0$$

$$t_{\text{calc.}} = \frac{B - B_0}{S_b} = 9,8413$$

$$t_{\text{tablas (4,95\%)}} = 2,776$$

En este caso el " $t_{\text{calculado}}$ " es mayor que el " t_{tabulado} " por lo tanto diremos que la hipótesis nula será rechazada, aceptándose la hipótesis alternativa que dice que la constante es mayor que cero.

- **PARA ALTAS DOSIS DE 10 A 50 KGy :**

De las cuatro irradiaciones en aire para altas dosis, se eligió como óptima los resultados que se observan en el cuadro N° 26, por tener este el coeficiente de regresión igual a 0,999. Para diseñar el modelo estadístico consideraremos la constante (A) y la pendiente (B), de dicho cuadro.

Modelo Estadístico óptimo : $Y = A X^B$

$DOSIS = 1,5195 (TIEMPO)^{0,0579}$

- **ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL ENSAYO ÓPTIMO :**

Para el análisis estadístico se tendrá que hallar la desviación estándar para "A" como para "B", y luego con estos valores se podrá determinar si el ensayo óptimo es el correcto. Para ello se tuvo que hallar los parámetros estadísticos, dándole un nivel de confianza del 95 %.

- **DESVIACIONES DE LOS PARÁMETROS ESTADÍSTICOS :**

Desviación estándar (S.)	0,2950
Desviación estándar de la constante (S.)	0,0238609
Desviación de la pendiente (S.)	0,0285199

- **INTERVALOS DE CONFIANZA :**

Grados de libertad = 4
 Confianza o seguridad = 95 %
 "t" (4,95%) = 2,776

- **PARA LA CONSTANTE " A " :**

1,45326 ≤ 1,5195 ≤ 1,58573

- **PARA LA PENDIENTE " B " :**

-0,02127 ≤ 0,05790 ≤ 0,13707

Los verdaderos valores se encuentran dentro de los intervalos mostrados, de la constante "A" y pendiente "B" para ello se utilizó un intervalo de confianza del 95%

- **COMPROBACIÓN DE LA VALIDEZ DEL MODELO ESTADÍSTICO :**

UNIDADES = A (DOSIS) ²

A continuación se verá si el modelo estadístico es el correcto.

- **PRIMERA FORMA :**

Comprobar que la constante " A ", es mayor o igual a cero.

H₀ : A₁ = 0

H₁ : A₁ > 0

$$t \text{ calc.} = \frac{A - A_1}{S_a} = 63,6839$$

$$t_{\text{tablas}} (4,95\%) = 2,776$$

En este caso se dirá que la hipótesis nula será rechazada debido a que el $t_{\text{calc.}}$ es mayor que el $t_{\text{tabl.}}$ entonces la hipótesis que aceptamos será aquella que dice que la constante es mayor que cero.

- **SEGUNDA FORMA :**

Comprobar que la pendiente " B " es igual o mayor a cero.

$$H_0 : B_0 = 0$$

$$H_1 : B_0 > 0$$

$$t \text{ calc.} = \frac{B - B_0}{S_b} = 20,302$$

$$t_{\text{tablas}} (4,95\%) = 2,776$$

Se comprobó que la pendiente es mayor que cero, ya que el " $t_{\text{calculado}}$ " es mayor que el " t_{tabulado} ", esto es que el tiempo está directamente influenciada por la dosis absorbida, siendo de esta forma aceptada a un nivel del 5% la hipótesis alternativa.

Con respecto a este dosímetro se notó un cambio en la temperatura y en el tiempo de almacenamiento, la estabilidad de esta solución se mantiene por espacio de 30 días almacenadas en refrigeración. Además con respecto a los cuadros obtenidos se dirá del sistema dosimétrico Fricke, que tubo un porcentaje de error del 22 %, el cual no está dentro del rango permisible.

7.3 PARA EL FERROSO-CUPRICO.

Se realizaron 3 irradiaciones en aire, como se puede observar en los cuadros N° 29, 30 y 31, de todos ellos consideramos como óptimo al cuadro N° 31 por tener un coeficiente de regresión igual a 0,9933. Para poder diseñar el modelo estadístico consideraremos, la constante y la pendiente de dicho cuadro.

Modelo Estadístico óptimo : $Y = A + B X$

$DOSIS = 0,1383 + 0,0603 \times (TIEMPO)$

- ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL ENSAYO ÓPTIMO :

Se tuvo que evaluar al ensayo obtenido para poder hallar luego las desviaciones de los parámetros estadísticos y también los intervalos de confianza, para ello se le dio un nivel de 95% de confianza.

- DESVIACIONES DE LOS PARÁMETROS ESTADÍSTICOS :

Desviación estándar (S.)	0,02087
Desviación estándar de la constante (S.)	0,01675
Desviación de la pendiente (S.)	0,03429

- **INTERVALOS DE CONFIANZA :**

Grados de libertad = 3
 Confianza o seguridad = 95 %
 "t" (4,95 %) = 3,182

- **PARA LA CONSTANTE " A " :**

$0,0850 \leq 0,1383 \leq 0,1916$

- **PARA LA PENDIENTE " B " :**

$0,06531 \leq 0,0660 \leq 0,06667$

Podemos observar que tanto para la constante " A " y pendiente " B ", encontramos que los verdaderos valores se encontrarán dentro de los rangos establecidos anteriormente, considerandose un nivel de significación del 5%.

- **COMPROBACIÓN DE LA VALIDEZ DEL MODELO ESTADÍSTICO :**

$$\text{DOSIS} = A + B \times (\text{TIEMPO})$$

Ahora se comprobará si el modelo estadístico que se empleó es el correcto, para ello existen dos formas, las cuales se darán a continuación :

- **PRIMERA FORMA :**

Comprobar que la constante " A ", es mayor o igual a cero.

$$H_0 : A_0 = 0$$

$$H_1 : A_0 > 0$$

$$t_{\text{calc.}} = \frac{A - A_0}{S_a} = 8,2567$$

$$t_{\text{tablas (3,95\%)}} = 3,182$$

Se puede observar que se aceptó la hipótesis cuya constante es mayor que cero, rechazando la hipótesis nula debido a que el $t_{\text{calc.}}$ es mayor que el $t_{\text{tabl.}}$

- **SEGUNDA FORMA :**

Comprobar que la pendiente " B " es igual o mayor a cero.

$$H_0 : B_0 = 0$$

$$H_1 : B_0 > 0$$

$$t_{\text{calc.}} = \frac{B - B_0}{S_b} = 19,2476$$

$$t_{\text{tablas (3,95\%)}} = 3,182$$

En este caso el "t calculado" es mayor que el "t tabulado" / demostrándose que sí existe relación entre el tiempo y la dosis absorbida.

Este dosímetro tiene dos desventajas y es que cubre un rango de dosis pequeño, de 2 KGy a 8 KGy, además de que la estabilidad del dosímetro no es buena, teniendo un tiempo de vida de 24 horas lo cual dificulta su utilización.

Otras de las observaciones que se hicieron con respecto a los cuadros de este sistema dosimétrico es que al hacer el estudio comparativo con el Fricke se encontró que el porcentaje de error era superior al 15%.

7.4 PARA EL NITRATO/NITRITO DE POTASIO.

De las cuatro irradiaciones en aire, se eligió óptima al cuadro N° 33, por tener este el coeficiente de determinación igual a 0,9944. Tomando el coeficiente de regresión y la ordenada al origen para diseñar el modelo estadístico que le corresponderá.

Modelo Estadístico óptimo : $Y = A + B X$

$(\text{CONCENTRACIÓN}) = 2,2762E-07 + 4,6634E-08 (\text{DOSIS})$

- ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL ENSAYO ÓPTIMO :

Para el análisis estadístico se tendrá que hallar la desviación estándar tanto para "A" como para "B", para luego con estos valores determinar si el ensayo óptimo es el correcto, para ello se tuvo que hallar los parámetros estadísticos, dándole un nivel de confianza del 95 %.

- DESVIACIONES DE LOS PARÁMETROS ESTADÍSTICOS :

Desviación estándar (S.)	0,2950
Desviación estándar de la constante (S.)	0,0238609
Desviación de la pendiente (S _b)	0,0285199

- **INTERVALOS DE CONFIANZA :**

Grados de libertad = 4
 Confianza o seguridad = 95 %
 "t" (4,95%) = 2,776

- **PARA LA CONSTANTE " A " :**

$$-0,066235 \leq 2,2762E-07 \leq 0,06624$$

- **PARA LA PENDIENTE " B " :**

$$-0,0285198 \leq 4,6634E-08 \leq 0,0285199$$

Los verdaderos valores se encuentran dentro de los intervalos mostrados, de la constante "A" y pendiente "B", con una significación de 5%.

- **COMPROBACIÓN DE LA VALIDEZ DEL MODELO ESTADÍSTICO :**

$(CONCENTRACIÓN) = A + B \times (DOSIS)$
--

A continuación veremos si el modelo estadístico es el correcto.

- **PRIMERA FORMA :**

Comprobar que la constante " A ", es mayor o igual a cero.

$$H_0 : A_0 = 0$$

$$H_1 : A_0 > 0$$

$$t_{\text{ calc. }} = \frac{A - A_0}{S_a} = 9,539815$$

$$t_{\text{ tablas (4,95\%) }} = 2,776$$

En este caso diremos que la hipótesis nula será rechazada debido a que el $t_{\text{ calc. }}$ es mayor que el $t_{\text{ tabl.}}$ por lo tanto, se aceptará la hipótesis alternativa de que la constante es mayor que cero.

- **SEGUNDA FORMA :**

Comprobar que la pendiente " B " es igual o mayor a cero.

$$H_0 : B_0 = 0$$

$$H_1 : B_0 > 0$$

$$t_{\text{ calc. }} = \frac{B - B_0}{S_b} = 16,3514$$

$$t_{\text{ tablas (4,95\%) }} = 2,776$$

Se comprobó que la pendiente es mayor que cero, ya que el " $t_{\text{ calculado}}$ " es mayor que el " $t_{\text{ tabulado}}$ ", esto es que existe relación entre las variables, dosis absorbida y la concentración .

El sistema Nitrato/Nitrito de potasio, mantiene una buena linealidad, no es afectada por la temperatura ambiental. Las desventajas que se han podido observar es la de mantener constante los parámetros como: temperatura, pH y tiempo de reacción en la coloración, otra desventaja, es en la preparación de este sistema, además de ser costoso, la preparación es tediosa.

7.5 PARA EL RED PERPEX.

El Red Perpex ya viene calibrado, por lo cual en el cuadro N°38 se da, la relación de los valores establecidos para las variables dosis (KGy) vs. absorbancia (cm^{-1}).

Con respecto a este sistema dosimétrico de rutina se observa en tabla N°03 la relación de productos irradiados a diferentes dosis tomando como dosímetro de referencia al Fricke, en este caso se encontrará un porcentaje de error que excede el límite máximo permisible.

El sistema dosimétrico Red Perpex tiene dos desventajas, una de ellas es la sensibilidad que presenta al ser expuesto a la luz, sufriendo alteraciones en el momento de realizar la lectura en el espectrofotómetro, la humedad relativa es otro factor que influye en la lectura del dosímetro, otra sería el alto costo ya que un millar cuesta alrededor de \$ 900,00.

COSTOS DE LOS PRINCIPALES DOSIMETROS

A. ETANOL CLORO-BENCENO :

REACTIVOS	CANTIDAD	\$ / PESO	COSTO (\$)
CLORO-BENCENO	240 ml	18,0 \$/L	4,3200
BENCENO	0,4 ml	18,0 \$/L	0,0072
ACETONA	0,4 ml	26,6 \$/L	0,0127
ETANOL	760 ml	15,2 \$/L	11,552

COSTO DE LA SOLUCION : 15,892 \$/L
 COSTO POR DOSIMETRO : \$ 0,121

B. CERICO CEROSO :

REACTIVOS	CANTIDAD	\$ / PESO	COSTO (\$)
SULF. CERICO	41,25 g	0,88 \$/g	36,63
AC. SULFÚRICO	1,00 L	0,13 \$/L	2,85
SULF. CEROSO	73,44 g	0,90 \$/g	66,09

COSTO DE LA SOLUCION : 105,57 \$/L
 COSTO POR DOSIMETRO : \$ 0,569

C. SULFATO FERROSO CUPRICO (Fe-Cu)

REACTIVOS	CANTIDAD	\$ / PESO	COSTO (\$)
SULF. CUPRICO HEPTAHIDRATADO	2,50 g	18,99 \$/Kg	0,47475
SULF. FERROSO PENTAHIDRATADO	0,3920 g	31,20 \$/Kg	1,223E-02
AC. SULFÚRICO	22,4 ml.	129,00 \$/L	2,8896

COSTO DE LA SOLUCION : 3,387 \$/L
 COSTO POR DOSIMETRO : \$ 0,0978

D. PERPEX : RED, AMBAR Y GAMMA CROMIC

DOSIMETRO	COSTO (MILLAR)	COSTO (UNIDAD)
RED PERPEX	900,00 \$	0,900 \$
AMBAR PERPEX	727,00 \$	0,727 \$
GAMMA CROMIC	860,00 \$	0,860 \$

E. FRICKE :

REACTIVOS	CANTIDAD	\$ / PESO	COSTO (\$)
CLORURO DE SODIO	0,0585 g	18,99 \$/Kg	1,111E-03
SULF. FERRICO AMONIAC.	0,3920 g	31,20 \$/Kg	1,223E-02
AC. SULFÚRICO	22,4 ml.	129,00 \$/L	2,8896

COSTO DE LA SOLUCION : 2,903 \$/L

COSTO POR DOSIMETRO : \$ 0,0556

F. NITRATO NITRITO DE POTASIO

REACTIVOS	CANTIDAD	\$ / PESO	COSTO (\$)
SULFANILAMIDA	2,0 g	40,3 \$/Kg	0,403
NAFTTLINDIAMINA	1,0 g	45,9 \$/Kg	0,459
AC. ACETICO	2,0 L	22,00 \$/L	44,000
NITRATO DE K.	1,0 g	39,5 \$/Kg	0,395

COSTO DE LA SOLUCION : 45,257 \$/L

COSTO POR DOSIMETRO : \$ 0,345

CUADRO DE EVALUACIÓN DE COSTOS DE LOS DOSIMETROS

SISTEMA DOSIMETRICO	TIPO DE DOSIMETRO	COSTO (\$)
FRICKE	REFERENCIA/PRIMAR	0,056
FERROSO CUPRICO	RUTINA/SECUNDARIO	0,098
ETANOL CLORO BENCENO	RUTINA/SECUNDARIO	0,121
NITRATO NITRITO K.	RUTINA/SECUNDARIO	0,345
CERICO CEROSO	RUTINA/SECUNDARIO	0,569
RED PERPEX	RUTINA/SECUNDARIO	0,900

- RESUMEN DE LA DISCUSIÓN DE RESULTADOS FINAL.

De acuerdo a la discusión de resultados presentados en este capítulo, se puede decir que cada uno de estos sistemas tuvieron una buena linealidad a la respuesta y esto se pudo comprobar mediante el análisis estadístico del modelo óptimo.

Cuando se realizó el estudio comparativo de estos sistemas, con el Fricke (como se puede observar en los cuadros experimentales), se encontró que el Sulfato ferroso Cúprico y la solución Cérico-Ceroso, ambos, tenían un porcentaje de error que excedía al límite permisible, lo que nos indicó que la solución es muy inestable y que se pudo constatar experimentalmente ya que tiene un tiempo

de vida de 24 horas, esto es debido a diversos factores como: temperatura, humedad e impurezas.

Con respecto a los dosímetros Etanol Cloro-Benceno, Nitrato-Nitrito de Potasio y Perpex, se dirá que estos fueron irradiados en diversos productos teniendo como dosímetro de referencia al Fricke, (como se puede observar en las tablas N° 01, 02 y 03 respectivamente) de estos tres el que tuvo mayor aceptabilidad, con respecto al Fricke fué el Etanol Cloro Benceno.

Por tal razón se decidió considerar al dosímetro Etanol Cloro Benceno como dosímetro de rutina para bajas y altas dosis.

A continuación se verificó la dosis absorbida en productos con el Etanol Cloro Benceno antes y después de la irradiación.

- Verificación de la Dosis Absorbida en producto por el Sistema Etanol Cloro Benceno para altas y bajas dosis.

PRIMER ENSAYO

Producto	: Hongos deshidratado.
Peso del producto	: 1 036,2 g.
Densidad	: 0,141 g/ml
Dosis requerida	: 7 KGy
Fecha	: 26/06/95
Tasa de Dosis Nordion (TDN)	: 3,7445 KGy/h
Tasa de Dosis Fricke (aire)	: 3,6422 KGy/h
% de error	: 2,733

Tasa de Dosis Fricke (producto) :

- Tasa de Dosis mínima	: 2,508 KGy/h
- Tasa de Dosis máxima	: 4,473 KGy/h

A continuación se da mayor información en los cuadros N° 39, 40 y 41.

CUADRO N° 39
DOSIMETRIA FRICKE EN AIRE

TASA DE DOSIS NORDION : 3,642 KGy/h

DOSIS CORREGIDA : $(0,2774 \times \text{ABSORB.}) / (1+0,007(T-25^{\circ}\text{C}))$

FECHA : 26/06/95

TIEMPO (s) X	POSICIÓN	ABSORBAN (cm-1)	TEMP. °C	D. CORREG. (KGy)	D. PROM. (KGy) Y
30,00	1	0,160	20,7	0,046	0,0452
	2	0,158	20,7	0,045	
	3	0,158	20,7	0,045	
70,00	4	0,303	20,7	0,086	0,0860
	5	0,300	20,7	0,085	
	6	0,304	20,7	0,087	
110,00	7	0,447	20,7	0,127	0,1258
	8	0,440	20,7	0,125	
	9	0,439	20,7	0,125	
150,00	10	0,588	20,7	0,167	0,1665
	11	0,588	20,7	0,167	
	12	0,579	20,7	0,165	
190,00	13	0,729	20,7	0,207	0,2058
	14	0,717	20,7	0,204	
	15	0,723	20,7	0,206	

ANÁLISIS DE REGRESIÓN Y CORRELACIÓN
ESTIMACIÓN DE LOS PARÁMETROS ESTADÍSTICOS

Coeficiente de determinación (r^2)	1,000
Ordenada al origen (constante A)	0,010
Coeficiente de regresión (pendiente B)	0,001
Tasa de Dosis Fricke en aire KGy/h	3,6422
± Error	2,733

CUADRO N° 40

RESUMEN DE LA DOSIMETRIA FRICKE PARA HONGOS
DESHIDRATADO.

Tiempo (s) X	Dmín (K Gy) Y*	Dmáx (K Gy) Y
30	0,0343	0,0532
70	0,0605	0,1012
110	0,0888	0,1510
150	0,1176	0,2017
190	0,1450	0,2515

ANÁLISIS DE REGRESIÓN Y CORRELACIÓN
ESTIMACIÓN DE LOS PARÁMETROS ESTADÍSTICOS

	Posición	
	máxima (X vs Y)	mínima (X vs Y*)
Coeficiente de determinación (r^2)	1,000	0,99977
Ordenada al origen (constante A)	0,015	0,01262
Coeficiente de regresión (pendiente B)	0,001	6,97E-4
Tasa de Dosis Fricke en producto (K Gy/h)	4,473	2,5080

Luego, para que los hongos deshidratados puedan absorber 7 K Gy en el irradiador deberá permanecer 2 horas y 47 minutos. Para poder verificar dicha dosis se empleará el dosímetro F Cloro Benceno con el tiempo indicado. Ver cuadro N° 41.

CUADRO N° 41

DOSIMETRIA ETANOL CLORO BENCENO EN PRODUCTO :
" HONGOS DESHIDRATADOS "

POSICIÓN		UNIDADES	UNIDAD	PROMEDIO
M I N I M O	6	63,000	63,000	Unidad mín promedio: (63,000)
		63,000		
		63,000		
O	7	64,000	63,000	
		62,000		
		63,000		
M A X.	3	96,000	96,300	Unidad máx promedio: (96,300)
		96,000		
		97,000		

Reemplazando los valores de Unidad mínimo y máximo promedio en la ecuación (1), se obtendrá las dosis que esta recibiendo el producto.

DOSIS MÍNIMA PROMEDIO : 7,033 KGy/h

DOSIS MÁXIMA PROMEDIO : 11,190 KGy/h

ERROR A DOSIS REQUERIDA (7 KGy) : 0,465 %

SEGUNDO ENSAYO

Producto	:	Gasa parafinada.
Peso del producto	:	1 461,4 g.
Densidad	:	0,413 g/ml
Dosis requerida	:	15 KGy
Fecha	:	22/06/95
Tasa de Dosis Nordion (TDN)	:	3,750 KGy/h
Tasa de Dosis Fricke (aire)	:	3,642 KGy/h
% de error	:	2,873

Tasa de Dosis Fricke (producto) :	
- Tasa de Dosis mínima	: 2,27699 KGy/h
- Tasa de Dosis máxima	: 4,31471 KGy/h

A continuación se da mayor información en los cuadros N° 42, 43 y 44.

**CUADRO N° 42
DOSIMETRIA FRICKE EN AIRE**

TASA DE DOSIS NORDION : 3,750 KGy/h

DOSIS CORREGIDA : $(0,2774 \times \text{ABSORB.}) / (1+0,007(T-25^{\circ}\text{C}))$

FECHA : 22/06/95

TIEMPO (s) X	POSICIÓN	ABSORBAN (cm-1)	TEMP. °C	D. CORREG. (KGy)	D. PROMEDIO (KGy) Y
30,00	1	0,136	21,0	0,039	0,0408
	2	0,146	21,0	0,041	
	3	0,149	21,0	0,042	
70,00	4	0,286	20,9	0,081	0,0812
	5	0,286	20,9	0,081	
	6	0,285	20,9	0,081	
110,00	7	0,424	20,9	0,120	0,1209
	8	0,423	20,9	0,120	
	9	0,429	20,9	0,122	
150,00	10	0,570	20,8	0,162	0,1612
	11	0,564	20,8	0,160	
	12	0,567	20,8	0,161	
190,00	13	0,714	20,7	0,203	0,2031
	14	0,718	20,7	0,204	
	15	0,709	20,7	0,202	

**ANÁLISIS DE REGRESIÓN Y CORRELACIÓN
ESTIMACIÓN DE LOS PARÁMETROS ESTADÍSTICOS**

Coeficiente de determinación (r^2)	1,000
Ordenada al origen (constante A)	0,010
Coeficiente de regresión (pendiente B)	0,001
Tasa de Dosis Fricke en aire KGy/h	3,6422
% Error	2,873

CUADRO N° 43

DOSIMETRIA FRICKE PARA GASA
PARAFINADA.

Tiempo (s) X	Dmín (KGy) Y*	Dmáx (KGy) Y
30	0,0363	0,0472
70	0,0668	0,0947
110	0,0832	0,1429
150	0,1104	0,1911
190	0,1366	0,2387

ANÁLISIS DE REGRESIÓN Y CORRELACIÓN
ESTIMACIÓN DE LOS PARÁMETROS ESTADÍSTICOS

	Posición	
	máxima (X vs Y)	mínima (X vs Y*)
Coeficiente de determinación (r^2)	0,9999	0,99696
Ordenada al origen (constante A)	0,0111	0,01464
Coeficiente de regresión (pendiente B)	0,0012	0,00063
Tasa de Dosis Fricke en producto (KGy/h)	4,3147	2,27699

Luego, para que los hongos deshidratados puedan absorber 15 KGy en el irradiador deberá permanecer 6 horas y 35 minutos. Para poder verificar dicha dosis se empleará el dosímetro F Cloro Benceno con el tiempo indicado. Ver cuadro N° 44.

CUADRO N° 44

DOSIMETRIA ETANOL CLORO BENCENO EN PRODUCTO :
 " GASA PARAFINADA "

POSICIÓN		UNIDADES	UNIDAD PROMEDIO	
M	6	49,00	48,667	Unidad mín promedio: (48,667)
I		49,00		
N		48,00		
I	7	48,00	48,667	
M		49,00		
O		49,00		
M	3	72,00	72,333	Unidad máx promedio: (72,333)
A		73,00		
X.		72,00		

Reemplazando los valores de Unidad mínimo y máximo promedio en la ecuación (2), se obtendrá las dosis que esta recibiendo el producto.

DOSIS MÍNIMA PROMEDIO : 15,143 KGy/h

DOSIS MÁXIMA PROMEDIO : 29,328 KGy/h

ERROR A DOSIS REQUERIDA (15 KGy) : 0,994 %

TERCER ENSAYO

Producto	:	Cápsulas de uña de gato.
Peso del producto	:	741,7 g.
Densidad	:	0,247 g/ml
Dosis requerida	:	6 KGy
Fecha	:	22/06/95
Tasa de Dosis Nordion (TDN)	:	3,750 KGy/h
Tasa de Dosis Fricke (aire)	:	3,642 KGy/h
% de error	:	2,873
Tasa de Dosis Fricke (producto) :		
- Tasa de Dosis mínima	:	2,344 KGy/h
- Tasa de Dosis máxima	:	4,502 KGy/h

Para la dosimetría Fricke en aire se utilizó los datos del cuadro N° 42, por ser la misma.

A continuación se da mayor información en los cuadros N° 45 y 46.

CUADRO N° 45

**DOSIMETRIA FRICKE PARA CÁPSULAS DE
UÑA DE GATO.**

Tiempo (s) X	Dmín (KGy) Y*	Dmáx (KGy) Y
30	0,0300	0,0472
70	0,0584	0,0980
110	0,0889	0,1534
150	0,1130	0,1974
190	0,1331	0,2476

ANÁLISIS DE REGRESIÓN Y CORRELACIÓN

ESTIMACIÓN DE LOS PARÁMETROS ESTADÍSTICOS

	Posición	
	máxima (X vs Y)	mínima (X vs Y*)
Coeficiente de determinación (r^2)	0,9990	0,99385
Ordenada al origen (constante A)	0,0110	0,01309
Coeficiente de regresión (pendiente B)	0,0010	0,00065
Tasa de Dosis Fricke en producto (KGy/h)	4,5020	2,34400

Luego, para que los hongos deshidratados puedan absorber 6 KGy en el irradiador deberá permanecer 2 horas y 34 minutos. Para poder verificar dicha dosis se empleará el dosímetro Etanol Cloro Benceno con el tiempo indicado. Ver cuadro N° 46.

CUADRO N° 46

DOSIMETRIA ETANOL CLORO BENCENO EN PRODUCTO :
" CÁPSULAS DE UÑA DE GATO "

POSICIÓN		UNIDADES	UNIDAD PROMEDIO	
M I N	6	54,00	55,00	Unidad mín promedio: (55,00)
		56,00		
		55,00		
I M O	7	55,00	55,00	
		55,00		
		55,00		
M A X.	3	85,00	85,00	Unidad máx promedio: (85,00)
		85,00		
		85,00		

Reemplazando los valores de Unidad mínimo y máximo promedio en la ecuación (1), se obtendrá las dosis que esta recibiendo el producto.

DOSIS MÍNIMA PROMEDIO : 6,039 KGy/h

DOSIS MÁXIMA PROMEDIO : 9,825 KGy/h

ERROR A DOSIS REQUERIDA (6 KGy) : 0,646 %

CUARTO ENSAYO

Producto	: Lancetas.
Peso del producto	: 565,7 g.
Densidad	: 0,141 g/ml
Dosis requerida	: 15 KGy
Fecha	: 22/06/95
Tasa de Dosis Nordion (TDN)	: 3,750 KGy/h
Tasa de Dosis Fricke (aire)	: 3,642 KGy/h
% de error	: 2,873

Tasa de Dosis Fricke (producto) :	
- Tasa de Dosis mínima	: 2,657 KGy/h
- Tasa de Dosis máxima	: 4,595 KGy/h

Para la dosimetría Fricke en aire se utilizó los datos del cuadro N° 42, por ser la misma.

A continuación se da mayor información en los cuadros N° 47 y 48.

CUADRO N° 47

DOSIMETRIA FRICKE PARA LANCETAS

Tiempo (s) X	Dmín (KGy) Y*	Dmáx (KGy) Y
30	0,0314	0,0480
70	0,0595	0,1048
110	0,0886	0,1487
150	0,1159	0,1991
190	0,1509	0,2561

ANÁLISIS DE REGRESIÓN Y CORRELACIÓN
ESTIMACIÓN DE LOS PARÁMETROS ESTADÍSTICOS

	Posición	
	máxima (X vs Y)	mínima (X vs Y*)
Coefficiente de determinación (r^2)	0,998	0,9980
Ordenada al origen (constante A)	0,011	0,0081
Coefficiente de regresión (pendiente B)	0,001	0,00074
Tasa de Dosis Fricke en producto (KGy/h)	4,595	2,657

Luego, para que los hongos deshidratados puedan absorber 15 KGy en el irradiador deberá permanecer 6 horas y 16 minutos. Para poder verificar dicha dosis se empleará el dosímetro Etanol Cloro Benceno con el tiempo indicado. Ver cuadro N° 48.

CUADRO N° 48

DOSIMETRIA ETANOL CLORO BENCENO EN PRODUCTO :
" LANCETAS "

POSICIÓN		UNIDADES	UNIDAD	PROMEDIO
M I N	6	48,00	48,00	Unidad mín promedio: (48,50)
		47,00		
		49,00		
M O	7	49,00	49,00	
		50,00		
		47,00		
M A X.	3	69,00	69,00	
		69,00		
		69,00		

Reemplazando los valores de Unidad mínimo y máximo promedio en la ecuación (2), se obtendrá las dosis que esta recibiendo el producto.

DOSIS MÍNIMA PROMEDIO : 16,1 KGy
 DOSIS MÁXIMA PROMEDIO : 28,0 KGy
 ERROR A DOSIS REQUERIDA (15 KGy) : 0,6211 %

De los cuatro ensayos realizados, se puede decir que las dosis absorbidas por los productos y las cuales fueron medidas por el sistema Etanol Cloro Benceno tienen errores menores al 3,0 % con respecto a la tasa de dosis del sistema dosimétrico Fricke.

- **Verificación de la dosis absorbida en la post-irradiación.**

Para verificar la eficiencia de este sistema dosimétrico y de su posible efecto post-irradiación, se realizaron después de cuatro meses diversos ensayos, como a continuación se menciona.

Los cuadros N° 49 y 50, presentan la dosimetría Etanol Cloro Benceno (ECB) en aire, para bajas y altas dosis respectivamente, con las cuales se hallará las curvas de calibración. En los cuadros N° 51 y 52, se muestra la dosimetría Etanol Cloro Benceno (ECB) en producto, como a continuación se verá.

CUADRO N° 49
DOSIMETRIA ETANOL CLORO BENCENO (POST-IRRADIACION)
AL CABO DE CUATRO MESES - BAJAS DOSIS

TASA DE DOSIS NORDION : 3,5471 KGy/h

FECHA DE LECTURA : 15/11/95

TIEMPO (min)	UNIDADES (Y)	DOSIS (KGy) X
0,00	0,000	0,000
17,00	11,333	1,000
51,00	31,333	3,000
85,00	49,889	5,000
118,00	71,333	7,000
152,00	81,000	9,000
169,00	90,222	10,000

ANÁLISIS DE REGRESIÓN Y CORRELACIÓN

ESTIMACIÓN DE LOS PARÁMETROS ESTADÍSTICOS

Ordenada al origen (constante A)	2,885
Coefficiente de regresión (pendiente B)	8,998
Coefficiente de determinación (r^2)	0,992
Número de observaciones (n)	7,000
Grados de libertad (n-2)	5,000

MODELO ESTADÍSTICO PARA EL ENSAYO : $Y = A + B X$

$UNIDADES = 2,885 + 8,998 (DOSIS) \dots (3)$
--

CUADRO N° 50

DOSIMETRIA ETANOL CLORO BENCENO (POST-IRRADIACION)

AL CABO DE CUATRO MESES - ALTAS DOSIS

TASA DE DOSIS NORDION : 3,5471 Kgy/h

FECHA DE LECTURA : 15/11/95

TIEMPO (min)	UNIDADES	DOSIS (Kgy)	LOG UNIDAD Y	LOG DOSIS (Kgy) X
169	37,33	10,00	3,6199	2,303
254	49,11	15,00	3,8941	2,708
338	60,00	20,00	4,0943	2,996
507	77,11	30,00	4,3452	3,401
677	90,00	40,00	4,4998	3,689
846	100,00	50,00	4,6052	3,912

ANÁLISIS DE REGRESIÓN Y CORRELACIÓN

Ordenada al origen (Constante A)	2,2233
Coefficiente de Regresión (pendiente B)	0,6165
Coefficiente de determinación (r^2)	0,9963
Números de observaciones (n)	6,0000
Grados de libertad (n-2)	4,0000

MODELO ESTADÍSTICO PARA EL ENSAYO : $Y = A X^B$

UNIDADES = 2,2233 (DOSIS) ^{0,6165} ... (4)

CUADRO N° 51

DOSIMETRIA ETANOL CLORO BENCENO POST-IRRADIACION
(BAJAS DOSIS)

PRODUCTO : CÁPSULAS DE UÑA DE GATO

FECHA : 15/11/95

POSICIÓN		UNIDADES	UNIDAD PROMEDIO	
M I N I M O	6	56,00	56,33	Unidad mín promedio: (56,67)
		55,00		
		58,00		
	7	56,00	57,00	
		58,00		
		57,00		
M A X.	3	79,00	80,00	Unidad máx promedio: (80,00)
		81,00		
		80,00		

Reemplazando los valores de Unidad mínimo y máximo promedio en la ecuación (3), se obtendrá las dosis que esta recibiendo el producto.

DOSIS MÍNIMA PROMEDIO : 6,014 KGy

DOSIS MÁXIMA PROMEDIO : 8,575 KGy

ERROR A DOSIS REQUERIDA (6 KGy) : 0,233 %

CUADRO N° 52

DOSIMETRIA ETANOL CLORO BENCENO POST-IRRADIACION
(ALTAS DOSIS)

PRODUCTO : LANCETAS

FECHA : 15/11/95

POSICIÓN		UNIDADES	UNIDAD PROMEDIO	
M I N I M O	6	49,00	48,67	Unidad mín promedio: (49,17)
		49,00		
		48,00		
7	49,00	49,67		
	50,00			
	50,00			
M A X.	3	70,00	70,00	Unidad máx promedio: (70,00)
		70,00		
		70,00		

Reemplazando los valores de Unidad mínimo y máximo promedio en la ecuación (4), se obtendrá las dosis que esta recibiendo el producto.

DOSIS MÍNIMA PROMEDIO : 15,14 KGy

DOSIS MÁXIMA PROMEDIO : 25,00 KGy

ERROR A DOSIS REQUERIDA (15 KGy) : 0,92 %

Como se puede observar en ambos casos (para altas y bajas dosis), el modelo estadístico no a sido modificado y mantiene ambos un alto coeficiente de determinación.

Con respecto a las lecturas hecha en los productos no han sufrido alteraciones, teniendo un porcentaje de error menor a uno.

Por tanto se puede asegurar que el sistema F Cloro Benceno no sufrirá cambios después de cuatro meses de ser irradiado.

VIII.- CONCLUSIONES

- Los dosímetros standar de transferencia o referencia se emplean para calibrar los campos de radiación y también calibrar a los dosímetros empleados en los procesos de rutina. Estos pueden ser también utilizados para los mismos propósitos que los dosímetros de rutina.
- Los dosímetros de rutina son empleados para monitorear y para obtener una garantía de calidad en el proceso de irradiación en diversos productos. Estos están calibrados con los dosímetros standard de transferencia.
- Experimentalmente se determinó que el sistema dosimétrico Cérico Ceroso tiene un tiempo de vida de 30 días. Con respecto a la comparación con el sistema dosimétrico Fricke, se tuvo un porcentaje de error del 22 %, el cual no está dentro del rango permisible. En el cuadro de evaluación de costos de los dosímetros el Cérico Ceroso se encuentra en cuarto lugar.
- El Ferroso Cúprico es el más barato de todos los dosímetros de rutina pero tiene dos desventajas y es que cubre un rango de dosis pequeño, de 2 KGy a 8 KGy, además tiene un tiempo de vida de 24 horas lo cual dificulta su utilización. Otras de las observaciones que se hicieron es

que al hacer el estudio comparativo con el Fricke se encontró que el porcentaje de error era superior al 15%, por lo tanto será difícil el utilizarlo como dosímetro de rutina en la planta de irradiación en Santa Anita.

- Dentro del cuadro de evaluación de costos de los dosímetros el Nitrato/Nitrito de Potasio se encuentra en tercer lugar, además mantiene una buena linealidad, no es afectada por la temperatura ambiental y el porcentaje de error encontrado con respecto al sistema Fricke es menor al 6%. Las desventajas que se han podido observar es que se tiene que mantener constante los parámetros como: temperatura, pH y tiempo de reacción en la coloración, además de ser costoso la valoración, es complicada.
- El sistema dosimétrico Red-Perpex resulta ser el más costoso de todos. Al realizar la comparación del dosímetro Red-Perpex con el Fricke en productos se encontró que el porcentaje de error es mayor al límite máximo permisible.

El sistema dosimétrico Red Perpex es muy sensible al ser expuesto a la luz, sufriendo alteraciones en el momento de realizar la lectura en el espectrofotómetro, la humedad relativa es otro factor que influye en la lectura del dosímetro.

- Es considerada como primera opción como dosímetro de rutina al sistema Etanol Cloro Benceno. De éste dosímetro se obtuvo muy buena linealidad a la respuesta, es reproducible, estable, barato y fácil de manejar. Al compararlo con el dosímetro Fricke en diversos productos, se tuvo un porcentaje de error menor al 4% en este caso no excede al límite máximo permisible que es del 5%. Por lo tanto será considerado como dosímetro óptimo de rutina.

- Apartir de este trabajo los Profesionales encargados en el área de dosimetría de la Planta de Irradiación Multiuso, tomaron como una alternativa viable la utilización del dosímetro Etanol Cloro Benceno el cual es utilizado actualmente.

- La preparación del dosímetro Etanol Cloro Benceno (ECB), es fácil y simple, mantiene una buena linealidad, después de haber sido calibrado, en el rango de 1 a 10 Kgy para bajas dosis y de 10 a 50 para altas dosis.

- La curva estandarizada UNIDADES VS DOSIS para bajas dosis tiene como modelo estadístico el de una regresión lineal simple :

$$\text{UNIDADES} = 6,555600 + 8,0220 \times (\text{DOSIS})$$

el intervalo de confianza es del 95%, el valor de la pendiente es: $8,0220 \pm 0,615958$, y para la constante es: $6,555600 \pm 3,487952$, para un coeficiente de regresión (r^2): $0,99695$.

Los intervalos de confianza muestran, que al usar la curva estándar dosis vs. unidades en la irradiación en aire, deberá tenerse en cuenta los intervalos o incertidumbre mínima y máxima de los parámetros estadísticos calculados. De esta forma se logrará mayor precisión al ser considerado como curva patrón de lectura.

- La curva estandarizada UNIDADES VS DOSIS para ALTAS DOSIS tendrá como modelo estadístico el de una regresión potencial :

$$\text{UNIDADES} = 0,911650 \times (\text{DOSIS})^{0,6470}$$

teniendo como intervalos de confianza al 95% para la pendiente: $0,6470 \pm 0,023889$, y la constante: $0,911650 \pm 4,34580E-04$, con un coeficiente de determinación (r^2): $0,99735$. Debe considerarse los intervalos señalados, para lograr una buena precisión en la lectura.

- El sistema Etanol Cloro Benceno ha demostrado buena reproductibilidad al ser irradiado en aire e invariabilidad en las lecturas de dosis realizada en los productos.

- El dosímetro Etanol Cloro Benceno al ser leído después de 4 meses de irradiado mantiene su linealidad en la respuesta en aire y la reproductibilidad en los productos.

IX.- RECOMENDACIONES.

1. Se debe tener cuidado al momento de llenar las ámpulas con la solución dosimétrica ya que ésta muchas veces tiende a depositarse en el cuello de ésta.
2. El calentamiento durante el sellado de las ámpulas puede ser causa de un cambio químico no deseado en la solución dosimétrica por ello, hay que tener cuidado en el momento del sellado.
3. Los dosímetros de Etanol Cloro Benceno sellados son sensibles a la luz ultravioleta debiendo ser guardado en un lugar oscuro, además de tenerlos a baja temperatura.
4. Debido a que el sistema dosimétrico ECB son preparadas en ampollas selladas éstas no son afectadas por el ambiente, por lo tanto pueden ser utilizadas en cualquier clase de clima.

X. BIBLIOGRAFÍAS

1. ACOSTA "FÍSICA MODERNA"
2. AMERICAN SOCIETY TESTING AND MATERIALS
-ASTM DESIGNATION: D1671-72;1
Philadelphia, P.A.. "STANDARD TEST METHOD FOR ABSORBED GAMMA RADIATION DOSE IN THE FRICKE DOSIMETER"
3. AMERICAN SOCIETY TESTING AND MATERIALS-ASTM
DESIGNATION: D2954-71-1977;
Philadelphia, India. "STANDARD METHOD OF TEST FOR ABSORBED GAMMA AND ELECTRON RADIATION DOSE WITH THE FERROUS SULFATE-CUPRIC SULFATE OSIMETER"
4. ATOMIC ENERGY OF CANADA "CATALOGO DEL IRRADIADOR GAMMACELL 220."
5. BAUER E.L. "MANUAL DE ESTADÍSTICA PARA QUÍMICOS"
Primera Edición Española 1974. Editorial Alhambra S.A.
Impreso en España
6. E.M. DORDA DE CANCIO, S.S. MUNOZ "DOSÍMETRO DE NITRATO/NITRITO DE POTASIO PARA ALTAS DOSIS"
Comisión Nacional de Energía Atómica - CNEA 473 Informe,
Buenos Aires, 1982.
7. ESPINOZA, J "DOSIMETRÍA: DESARROLLO Y EXPERIENCIA EN CHILE" - HIGH DOSE DOSIMETRY
Symposium en Viena IAEA-SM (3/4/29) 1990 edit 1991.
8. FARKAS, J. "PRINCIPIOS DE LA IRRADIACIÓN DE ALIMENTOS"
Symposium en Viena 19 - impreso por el OIEA en Austria.
9. FRISANCHO, "FÍSICA NUCLEAR"
10. HARWELL CATÁLOGO DEL DOSÍMETRO PERPEX

11. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY "HIGH-DOSE MEASUREMENTS IN INDUSTRIAL RADIATION PROCESSING"
IAEA Technical Reports Series N° 205, IAEA, Viena 1981.
12. IPEN - CSEN "CURSO DE RADIOBIOLOGÍA BÁSICA PARA PROFESORES"
13. IPEN "REGLAMENTO DE PROTECCION RADIOLÓGICA"
Lima - Perú 1980.
14. J.F. Safety of Irradiated Foods. Inc. New York, 1990.
15. Manual "FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO OSCILLOTITRATOR TYPE OK-302/2"
Manufactured by RADELKIS, Electrochemical Instruments H-1300 Budapest, P.O.B. 106/III., Laborc u.l./Hungary.
16. MILLER A. "ROLE OF DOSIMETRY UR QUALITY CONTROL"
Symposium en Viena IAEA sm 3/4/92 1990 edit. 1991.
17. MUNOZ, B.J. "PRESERVAÇÃO DE ALIMENTOS POR IRRADIACION"
M. SANCHEZ, VACA
Quito Escuela Politécnica Nacional Ecuador, 1985.
18. M. SANCHEZ V., "PRESERVACION DE LOS ALIMENTOS POR IRRADIACION"
R. MUNOZ B., C. VACA F.
Escuela Politécnica Nacional, Quito, 1985.
19. N.G.S. GOPAL "CERIC-CEROUS DOSIMETER"
Bhaba Atomic Research Centre, Trombay, Bombay, India.
20. Organismo Internacional de Energía Atómica "NORMAS BASICAS DE SEGURIDAD EN MATERIA DE PROTECCION RADIOLÓGICA"
Colección de Seguridad, Viena - 1983.
21. RADELKIS "CATÁLOGO DEL OSCILOTTITRATOR"
Electrochemical Instruments .
22. RAZEM, D. et,al. "CONSISTENCY OF ETHANOL CHLOROBENZENE DOSIMETRY"
High Dose Dosimetry IAEA, Vienna 1985.

23. TANARO "INSTRUMENTACIÓN NUCLEAR"
24. TATIANA RUBIO "APLICACIONES DE LA IRRADIACIÓN DE ALIMENTOS"
Comisión Chilena de Energía Nuclear. Chile.
25. TECHNICAL REPORT "TRAINING MANUAL ON FOOD IRRADIATION TECHNOLOGY AND TECHNIQUES"
Series No 114
26. TORRES CUELLAR RUTH R. "MEDICIÓN DE ALTAS DOSIS DE RADIACIÓN GAMMA POR EL SISTEMA NITRATO-NITRITO DE POTASIO"
27. V. STENGER, Zs. TORDAY, "LONG TERM EXPERIENCE IN USING THE ETHANOL CHLOROBENZENE DOSIMETER SYSTEM"
I. HORVATH;
High Dose Dosimetry for Radiation Processing, IAEA, Viena 1991.
28. WHITTAKER, B. "RED PERPEX DOSIMETRY, MANUAL ON RADIATION DOSIMETRY"
IAEA, 1984.

XI. ANEXOS

ANEXO N° 01 : TRATAMIENTO ESTADÍSTICO.

**ANEXO N° 02 : SISTEMA DOSIMETRICO SULFATO FERROSO
(FRICKE)**

ANEXO N° 03 : CALIBRACIÓN DEL OSCILOTRATOR.

ANEXO N° 04 : GAMMACELL 220

ANEXO N° 01

TRATAMIENTO ESTADÍSTICO

REGRESIÓN LINEAL SIMPLE

De acuerdo a los datos, el modelo que mejor ajusta es el de una regresión lineal simple este es el caso del ECB (bajas dosis), cérico ceroso (bajas y altas dosis), ferroso cúprico y nitrato nitrito de potasio.

REGRESIÓN POTENCIAL

Los cálculos de regresión potencial se llevan a cabo para la solución de ECB (altas dosis), usándose la siguiente fórmula:

$$Y = A * X^B \qquad \ln Y = \ln A + B \ln X \quad \dots(1)$$

Si suponemos que $\ln Y = y$, $\ln A = a$ y $\ln B = b$; la fórmula de regresión de potencia ecuación (1), se convierte en la fórmula de regresión lineal: $y = a + b x$

Por lo tanto, las fórmulas para el término de constante "A", el coeficiente de regresión "B" y el coeficiente de correlación "r", son idénticos para la regresión de potencia y lineal.

A continuación se detallará el análisis de éstas funciones :

MODELO MATEMÁTICO

La forma algebraica del modelo matemático es la siguiente :

$$Y_i = A + B \cdot X_i$$

donde : A y B son parámetros, A se denomina ordenada al origen y B es el coeficiente de la pendiente (coeficiente de regresión), también se puede decir que Y es la variable dependiente y X es la variable independiente. La pendiente de la recta es positiva cuando B es positiva y es negativa cuando B es negativa.

MODELO ESTADÍSTICO

El modelo lineal o potencial como el que hemos visto anteriormente no nos permitiría acercarnos a la realidad de nuestros ensayos. Por ello es necesario encontrar una ecuación que nos permita hallar a los verdaderos valores con los cuales estamos trabajando. Por lo tanto se utilizará la ecuación "lineal estocástica o aleatoria":

$$Y_i = A + B \cdot X_i \pm E_i$$

donde: E_i se le llama "error", lo ideal es que el error sea tan pequeño como sea posible, para que no haya cambios significativos en la ecuación. Los datos que se utilizan en un análisis de regresión simple se pueden considerar como un ordenamiento de pares de valores, donde el par (Y_i, X_i) es la i ésima observación de las variables Y y X respectivamente.

Se dirá que para cada observación existe un término de error (E_i).

ESTIMACIÓN DE LOS PARÁMETROS ESTADÍSTICOS

En primer lugar se debe verificar que el número de observaciones debe ser mayor que el de los parámetros de la ecuación de regresión. El problema estadístico consiste en la forma de estimar correctamente los parámetros A , B y S^2 (S =muestra).

El método más utilizado para ajustar una recta es el de los "mínimos cuadrados". Los valores de las estimaciones (X_i, Y_i) corresponden a "n" puntos en un gráfico. Se obtiene entonces:

$$Y^{\wedge}_i = A^{\wedge} + B^{\wedge} * X_i$$

donde: \hat{Y}_i , \hat{A} , y \hat{B} son respectivamente los estimadores $E(Y_i) = A + B \cdot X_i$. Para cada par de valores X_i, Y_i se puede establecer el desvío:

$$e_i = Y_i - \hat{Y}_i = Y_i - (\hat{A} + \hat{B} \cdot X_i)$$

ERROR ESTÁNDAR DE ESTIMACIÓN

Utilizando los errores o residuos de la línea de regresión por mínimos cuadrados, se estimará la varianza muestral de estos residuos como a continuación se indica:

$$\sigma^2_{E_i} = \frac{\sum (e_i - \bar{e})^2}{n-2}$$

El estimador ($\sigma^2_{E_i}$) que es considerado sesgado, puede transformarse en insesgado multiplicándolo por $1/(n-2)$.

Este estimador se simboliza como $S_{y.x}$, también se puede expresar como varianza del error $(S_e)^2$, de lo cual obtendremos:

$$S_e = \sqrt{\left(\sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2 / (n-2) \right)}$$

Se denomina "error estándar" de estimación, el uso de $(n-2)$ en el denominador significa que para poder aceptar los errores (e_i) deben estimarse primero dos parámetros \hat{A} y \hat{B} .

ESTIMACION DE LAS DESVIACIONES DE LOS PARÁMETROS ESTADÍSTICOS.

Para la ordenada al origen (constante A):

$$S_b = S_e \sqrt{1 / (X - X)^2}$$

Para el coeficiente de regresión (pendiente B):

$$S_a = \left(\frac{1}{n} + \frac{X^2}{\Sigma (X-X)^2} \right) * S_e$$

INTERVALO DE CONFIANZA DE LOS PARÁMETROS ESTADÍSTICOS.

Para la ordenada al origen (constante A):

$$A - (t_{\text{tablas}} * S_a) \leq A \leq A + (t_{\text{tablas}} * S_a)$$

Para el coeficiente de regresión (pendiente B):

$$B - (t_{\text{tablas}} * S_b) \leq B \leq B + (t_{\text{tablas}} * S_b)$$

La "t" tablas se anexa al final.

LA DISTRIBUCIÓN t.

La teoría de la distribución normal se desarrolla a partir de gran cantidad de datos, y no es necesariamente aplicable a pequeño número de observaciones.

En el laboratorio muchas veces no se puede realizar un gran número de observaciones, por ello Gosset, introdujo un nuevo concepto el cual se conoce como "t de Student"

$$t = \frac{(X - \mu)}{S_x}$$

donde : X = promedio, μ = verdadero valor y $S_x = S/\sqrt{n}$ = error estándar. Student demostró que la distribución t, sólo depende de la muestra (n).

PROMEDIO.

El promedio se define como la suma de todas las medidas dividida entre el número de medidas :

$$X = (X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n) / n$$

EXACTITUD Y PRECISIÓN.

La exactitud es definida como la corrección de una medida.

$$\mu = X \pm E$$

donde : μ = verdadero valor, X = valor obtenido experimentalmente y E = error. En trabajos químicos, μ es, a menudo, desconocido y debe ser estimado a partir de $X \pm E$. Si "E" es cero, $\mu = X$ y la medida es exacta. La precisión es una medida de la reproductibilidad de las medidas.

Hay tres maneras de evaluar la precisión; es decir medir la dispersión de los elementos de la serie respecto al promedio.

- A. Mediante la desviación promedio.
- B. Mediante la varianza.
- C. Mediante el rango.

NIVEL DE SIGNIFICACIÓN.

Se analizará la validez del modelo estadístico elegido, mediante las siguientes hipótesis:

PRIMERA FORMA:

Comprobar que la constante " A ", es mayor o igual a cero.

$$H_0 : A_1 = 0$$

$$H_1 : A_1 > 0$$

$$t \text{ calc.} = \frac{A - A_1}{S_1}$$

SEGUNDA FORMA:

Comprobar que la pendiente " B " es igual o mayor a cero.

$$H_0 : B_0 = 0$$

$$H_1 : B_0 > 0$$

$$t \text{ calc.} = \frac{B - B_0}{S_b}$$

Por lo tanto :

Se acepta H_0 y se rechaza H_1 si : $t \text{ calc.} < t \text{ tablas.}$

Se rechaza H_0 y se acepta H_1 si : $t \text{ calc.} > t \text{ tablas.}$

"t tablas" se encuentra en este anexo.

Cuando $t \text{ calc.}$ es $>$ que $t \text{ tablas}$ se dirá que existe relación entre las variables con las cuales se esta trabajando, si fuera al contrario entonces se dirá que no hay relación entre estas.

SISTEMA DOSIMETRICO SULFATO FERROSO (FRICKE).-

FUNDAMENTO.

La oxidación de soluciones ácidas, fue propuesta por Hugo Fricke en los años de la química de la radiación. Después de 40 años este sistema es aún el más ampliamente usado en la dosimetría química.

El método es usado para determinaciones precisas de la dosis absorbidas expresadas en kilograys (kGy), usando el método espectrofotométrico de la medición de la concentración de iones férrico a 302,5nm de longitud de onda, en el pico del espectro de absorción.

La dosimetría de la solución sulfato ferroso amoniacal, se basa en el proceso químico de la oxidación de los iones ferrosos en solución a iones férricos que son producidos por el efecto de la radiación ionizante.

El cambio de la absorbancia de una solución de sulfato ferroso amoniacal que ha sido expuesta a la irradiación, es medida en el espectrofotómetro a una longitud de onda que ya ha sido determinada y tomando en cuenta la temperatura de la solución irradiada.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.

Equipos, Materiales y Reactivos.-

- Espectrofotómetro Perkin Elmer Lambda 2 de doble haz de luz UV/Visible.
- Balanza Analítica
- Celdas de Cuarzo de 1 cm. de espesor .
- Irradiador Gammacell - 220
- 1 Dispensador.
- 2 Fiolas de 1000 ml. c/u.
- 1 Pipeta Volumétrica de 20 ml.
- 1 Pipeta Graduada de 5 ml.
- 1 Vaso de Precipitación de 50 ml.
- 1 Pro-pipeta.
- 1 Espátula.
- Gradillas - Ampulas - Capuchas.
- Papel parafilm (para pesar los reactivos).
- Sulfato Ferroso amoniacal
($\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot (6\text{H}_2\text{O})$)
- Cloruro de Sodio NaCl
- Acido sulfúrico H_2SO_4 .

* Las concentraciones de las soluciones son:

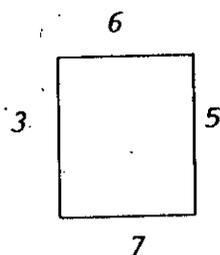
Sulfato Ferroso Amoniacal	0,001 M
Cloruro de Sodio	0,001 M
Acido Sulfúrico	0,8 N

PREPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN FRICKE.-

Disolver 0,392g. de sulfato ferroso amoniacal y 0,0585g de cloruro de sodio en 12,5ml de ácido sulfúrico 0,8N -solución estándar de ácido sulfúrico luego diluir a un 1 litro en un matraz aforado (fiola) con la misma solución 0,8N de ácido sulfúrico. Una vez preparada la solución Fricke se agita y se deja reposar en un lugar oscuro hasta un determinado tiempo (10 min. aproximadamente). Se lava el dispensador con un poco de solución de Fricke y luego se trasvasa la solución al mismo para realizar respectivo llenado de todas las ampulas que deben estar previamente marcadas las posiciones, luego se tapa las ampulas con capuchas y se pega con cinta maskintape.

Antes de realizar la dosimetría en productos se realiza una dosimetría en Aire. Las mediciones se realizaron en un punto referencial fijo, colocándose el dosímetro por triplicado distribuidas simétricamente en el centro de la cámara de Irradiación. Los tiempos de irradiación ya están establecidas.

Posiciones de los Dosímetros en la Cámara de Ionización:



Para la dosimetría Fricke en producto, se toma en cuenta las posiciones de irradiación, que son 3 y 5 las posiciones máximas, 6 y 7 las posiciones mínimas; se realizan también en 5 tiempos, que han sido establecidos por el Organismo Internacional de Energía Atómica. Después de haber sido expuesto a la irradiación los dosímetros con solución Fricke, se lleva a leer en el espectrofotómetro, la absorbancia de la solución irradiada, a una longitud de onda de 302.5nm. Las lecturas de absorbancia deben ser llevadas a cabo en condiciones si es posible de temperatura constante .

Después de haber leído las absorbancias en el espectrofotómetro, se procede a calcular la tasa de dosis práctica, para luego hallar el porcentaje de error de la solución que se ha preparado; éste error como máximo puede ser de 5%, es recomendable trabajar con un porcentaje de error mínimo.

El porcentaje de error de una solución de Fricke, se halla por la diferencia de la tasa de dosis teórica menos la tasa de dosis práctica sobre la tasa de dosis teórica, multiplicado por cien.

Conociendo la tasa de dosis práctica, se calcula también las dosis máximas y mínimas para luego tomar como referencia la dosis mínima y así aplicar las dosis correspondientes al producto a tratarse. Como resultado de ello se tienen los siguientes cuadros:

DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE EXTINCIÓN MOLAR

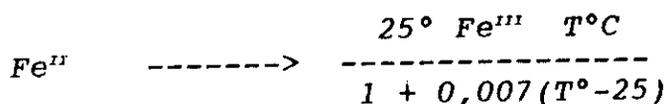
Coefficiente De Absorción Molar Del Ion Férrico.

El coeficiente de absorción molar es un dato importante dentro de la dosimetría, porque nos permite evaluar y predecir, si la solución dosimétrica está correctamente preparado o presenta un margen de error.

La absorción molar del ion férrico se basa en la reacción química de oxidación iones ferrosos a iones férricos:



en solución ácida a la temperatura de 25°C. El coeficiente de extinción molar (E), varía significativamente no obstante a ello se ha establecido un factor de corrección de temperatura con un error de 0,7% mediante la siguiente relación matemática.



esta relación es válida para un rango de T° de:

$$15^\circ\text{C} < T^\circ < 35^\circ\text{C}.$$

El valor del coeficiente de extinción molar (E) obtenido experimentalmente en el laboratorio mediante el espectrofotómetro a 25° es $2195 \text{ l mol}^{-1} \text{ cm}^{-1} \pm 10$ a una longitud de onda = $302,5 \text{ nm}$.

Esto indica que su valor verdadero del coeficiente de extinción molar fluctúa dentro de 2185 a $2205 \pm 10 \text{ L mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$; fuera de este intervalo significa que hay error o que la solución dosimétrica está mal preparada.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.

Equipos Materiales y Reactivos.

- Espectrofotómetro Perkin Elmer Lambda 2 de doble haz de luz UV/Visible.
- Balanza Analítica digital.
- Hornilla Eléctrica
- Destilador con reflujo
- Balón de 250ml
- Pipeta graduada y volumétrica 1,5,10,15,20 y 25ml.
- 6 Fiolas de 100ml (con tapa esmerilada)
- Fierro puro
- Peroxido de Hidrógeno H_2O_2 al 30%, refrigerado.
- Acido Sulfúrico concentrado $d=1,84 \text{ gr/cm}^3$, 95-97% pureza.
- Agua Tridestilada.

PREPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN DE HIERRO (Fe^{2+}).

Pesar 100 mg. de Fe espectrográficamente puro, con una sensibilidad en el pesado de 0,1 mg; y colocarlo en un balón de destilación de 200 - 300 ml. Agregar 60ml de agua tridestilada y 22,1 ml de ácido sulfúrico concentrado con una densidad 1,84g/cm³ y 95-97% de pureza; se obtiene una reacción exotérmica. Calentar suavemente hasta que termine la reacción, dejar que se enfríe la solución.

Realizado el ataque, agregar de 6ml de peróxido de hidrógeno al 30%, manteniendo tapada con una luna de reloj; seguidamente llevar a reflujo durante 45 - 50 min (contar el tiempo cuando empieza a hervir). Dejar en reposo para que pueda completar la reacción de oxidación.

Esta solución se transfiere a una fiola de volumen de 1 L, y luego se enrasa con agua tridestilada.

* Luego, transferir 1, 5, 10, 15 , 20 y 25 ml de la solución estándar de sulfato férrico a matraces aforados de 100ml cada uno y enrasar con ácido sulfúrico 0,8N. Medir la absorbancia (densidad óptica) en cubetas de 1cm de paso de luz, a un pico de absorción de 302.5nm, a temperatura controlada (25°C).

$$c = 1,790 \times 10^{-3} / 1000\text{ml}.$$

La concentración hallada es para el volumen de 1L, como se trabajó con diluciones, alícuotas de: 1, 5, 10, 15, 20 y 25 ml., calculamos la concentración para cada una de las alícuotas .

Así tenemos por ejemplo:

$$1 \text{ ml} = \frac{1,7906 \times 10^{-3} \text{ gr.}}{1000 \text{ ml.}}$$

hallamos "x":

$$x = 1\text{ml} * 1,7906 \times 10^{-3} \text{at-g} / 1000\text{ml}.$$

$$x = 1,7906 \times 10^{-6} \text{ at-g}.$$

Como todas las alícuotas fueron enrasadas a 100ml, entonces el volumen de las concentraciones se obtendrán mediante regla de tres simples.

$$100 \text{ ml} = \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ ml.}}$$

Despejando : $x = 0,1 \text{ L}$

Por lo tanto, la concentración hallada para la alícuota de 1ml será de:

$$1,7906 \times 10^{-6} \text{ at-g.}$$

$$c = \frac{\text{-----}}{0,1 \text{ L}}$$

$$c_1 = 1,7906 \times 10^{-5} \text{ at-g/L}$$

De similar manera se procede para calcular la concentración de las alícuotas de 5, 10, 15, 20 y 25ml.

Luego se tiene:

$$c_1 = 8,95 \times 10^{-5} \text{ at-g / L}$$

$$c_2 = 1,7906 \times 10^{-4} \text{ at-g / L}$$

$$c_3 = 2,68 \times 10^{-4} \text{ at-g / L}$$

$$c_4 = 3,58 \times 10^{-4} \text{ at-g / L}$$

$$c_5 = 4,47 \times 10^{-4} \text{ at-g / L}$$

Cálculo del coeficiente de extinción molar.

Para hallar el valor del coeficiente de extinción molar, se utiliza la regresión lineal:

$$Y = A + B X$$

Y = Es la variable dependiente, los cuales serán las absorbancias leídas para cada alícuota.

X = Es la variable independiente, los cuales serán las concentraciones para cada alícuota.

Después de haber calculado por regresión lineal, se obtienen los valores de :

A = Es la intersección de la recta obtenida con el eje "Y".

B = Es la pendiente, que va a depender para calcular el valor de "E", ya que es un factor que se aplica para hallar la dosis corregida, en el dosímetro Fricke.

r = Es el valor que se obtiene, sabiendo que en una ecuación lineal las regresiones deben de aproximarse a la unidad (0,9999).

Las concentraciones obtenidas para de cada alícuota, se aplican a la fórmula de de regresión lineal y se tiene los siguiente:

Concentración (X) at-g/L	Absorbancia (Y) cm-1
$1,7906 \times 10^{-3}$	0,038
$8,9500 \times 10^{-3}$	0,193
$1,7906 \times 10^{-4}$	0,377
$2,6859 \times 10^{-4}$	0,574
$3,5812 \times 10^{-4}$	0,765
$4,4765 \times 10^{-4}$	0,953

Realizando operaciones de regresión lineal se obtiene los siguientes resultados:

$$A = -8,387080 \times 10^{-3}$$

$$B = 2131,37$$

$$r = 0,9999$$

Luego de reemplazar en la ecuación de la fórmula se da lo siguiente:

$$Y = -8,38 \times 10^{-3} + 2131,37 X.$$

Finalmente se gráfica con los datos:

$$X = \text{Concentración vs. } Y = \text{Tiempo.}$$

Se obtiene la pendiente que es una variable que se va aplicar al dosímetro fricke.

ANEXO N° 03

CALIBRACIÓN DEL OSCILOTTITRATOR

* Conectar el dispositivo 6.1 y asegurarse que 5.3 (Oscillator socket) este en su posición, sobre la parte posterior del equipo. Coloque un vial lleno de la solución a investigar dentro del orificio del celda del vial (Vial-Cell; 6.2); aplique ligeramente presión sobre 6.3, luego fijar el vial aflojando la manija.

* Colocar la sensibilidad apropiada presionando el botón en el valor "4" de Sensibilidad Gruesa (**SENSITIVITY COARSE**) 4.6; y gire la Sensibilidad Fina 4.7 totalmente (**SENSITIVITY FINE**). Llevar la aguja de la escala de unidades (4.2) del instrumento, cercana a la posición de 50 por los botones de Compensación Gruesa (**COMPENSATION COARSE**) y compensación fina (4.4 - **COMPENSATION FINE**). En caso si en la Escala de Unidades, se presenta una deflexión o desviación, en una dirección contraria, cambiar la posición del botón 4.5 de "INCR-DECR".

* La lectura se duplica por apretar el botón de la derecha 4.6, de la Sensibilidad Gruesa (**SENSITIVITY COARSE**). Esta es dividida por 2 si se aprieta el botón de la izquierda de alguno de los botones que haya sido apretado.

* Después remover el vial o ampula del porta viales, reducir la sensibilidad del instrumento, previniendo que la aguja no este en posición deflectada, mas halla de la escala impuesta.

PARAS LAS MEDICIONES

* Si las mediciones se determinan; por ejemplo en el rango de 10-50 kGy, presione el boton "4" de la Sensibilidad Gruesa (4.6 - **SENSITIVITY COARSE**) del instrumento y setear el botón "INCR-DECR", presionandolo en la posición "INCR".

* Llevar la aguja a "0.0" de lectura, con los botones de Compensación Gruesa (4.3 - **COMPENSATION COARSE**) y Compensación Fina (4.4 - **COMPENSATION FINE**). Remover el vial del Contenedor de la Celda; y se reemplaza con un vial o ampula irradiado con la dosis mas alta. Llevar la aguja de la escala de Lectura a "100.0" girando el botón de la Sensibilidad Fina (4.7 - **SENSITIVITY FINE**).

* Remover el vial del contenedor de la celda y reemplazarlo en lo sucesivo con cada uno de los viales o ampulas que hayan sido irradiados y que se conozca la dosis, en la forma de la serie que uno haya irradiado; anotar las lecturas y promediarlas.

* Después de esto colocar los viales o ampulas, con las dosis no conocida, en el contenedor de la celda y anotar la lectura. La dosis de las ampulas irradiadas, debe ser hallado a partir de la curva de calibración.

ANEXO N° 04

GAMMACELL 220

El gammacell 220 es un dispositivo de cobalto 60 para efectuar irradiaciones, manufacturado por Atomic Energy of Canada Limited. Esta diseñado para operar en una habitación sin blindaje especial. (En esquema de la unidad indicando en configuración externa se muestra en la fig. 1).

Básicamente, la unidad consiste de una fuente radiactiva de forma anular, un blindaje de plomo alrededor de la fuente y un cajón capaz de moverse libremente en forma vertical a través del centro de la fuente. (Las dos posiciones del cajón de aquí en adelante serán referidas como posición de carga y posición de irradiación).

La unidad permite irradiar muestras hasta de 6" de diámetro (15.2 cm) y 8" (20.3 cm) de alto con absoluta seguridad para el personal que lo opera. Se pueden introducir a la Cámara de Muestras líquidos, gases, conexiones eléctricas y mecánicas a través de un tubo de acceso directo en la "tapa del cajón". Un cronómetro digital eléctrico detendrá automáticamente la irradiación después de un intervalo máximo de 999.9 horas.

El gammacell 220 opera a 220 voltios, corriente trifásica y 50 - 60 ciclos. Disponiendo además de un fusible de 15 amperios.

OPERACIÓN

El gammacell 220 está diseñado para permitir al personal cargar la Cámara de Muestras y operar el Cajón con una exposición mínima a la radiación. Para asegurar protección, se recomienda la siguiente secuencia de operaciones :

1. Con el cajón en la posición de carga, abrir las puertas del collar y deslizar el anillo de cierre a la derecha. Quitar la puerta de la Cámara de Muestras moviéndola hacia arriba y hacia abajo.
2. La muestra y dispositivos accesorios pueden ser colocados ahora en la Cámara de Muestras, el agujero de acceso permite acomodar tubos flexibles, conductores eléctricos, etc. o puede ser usado con la ayuda de tubos para introducir gases y líquidos. Los materiales capaces de cambiar de estado durante la irradiación deben mantenerse en depósitos adecuados. Líquidos sospechosos de expandirse o de hervir deben ir provistos de depósitos secundarios para evitar derrames o vertidos en uno de los tubos de acceso.

NOTA : La Cámara de Muestras está hecha de aluminio y no soportará derrames repetidos de material corrosivo.

3. Volver a colocar la puerta de la Cámara de Muestras con movimiento hacia adelante y hacia abajo. Mover el anillo de cierre hacia la izquierda hasta oír el ruido característico. Si la operación requiere fuerza indebida o es de hecho imposible, revisar si el fondo de la puerta está correctamente colocado.

4. Cerrar las puert^a del collar asegurándose que el cerrojo de las puert^as esté en su lugar.
5. Fijar el intervalo de tiempo deseado en el Cronómetro digital de la siguiente manera :
 - a. Presionar la perilla de "Reset" del Cronómetro, girar 90° en el sentido de las agujas del reloj y soltar. (La línea blanca de la perilla debe de estar en posición horizontal).
 - b. Abrir la lámina de bisagra que protege los tambores prefijante.
 - c. Girar las ruedas dentadas hacia adelante o atrás hasta que los números deseados aparezcan en sus respectivas ventanas.
 - d. Cerrar la lámina.
 - e. Girar la perilla de "Reset" 90° en sentido inverso a las agujas del reloj (la línea blanca del botón debe estar ahora verticalmente).
 - f. Seleccionar ahora las horas, minutos o segundos accionando los botones respectivos del panel.
 - g. Presionar el botón "Timer in" el cual se encenderá.
6. Presionar el botón "DOWN". El cajón se deslizará hacia la posición de irradiación y permanecerá en esta posición hasta que termine el tiempo prefijado. El cajón puede ser levantado en cualquier momento durante una operación, accionando el botón "UP". Si esta operación es necesaria el Cronómetro reparará la fracción del tiempo prefijado hasta que la operación se reinicie.

7. Si se está usando el Cronómetro, ésta accionará automáticamente el Cajón regresándolo a la posición de carga al final del tiempo prefijado.
8. En caso de falla en el sistema de energía :
 - a. Retirar la tapa circular grande que se encuentra cerca a la esquina inferior derecha de cubierta posterior de la unidad.
 - b. Con la manizuela presionar en el hueco hasta que encaje en la extensión del reductor de velocidad.
 - c. Rotar la manizuela hacia la derecha para levantar el Cajón.

NOTA :

- No cambiar las posición de los dígitos de Cronómetro durante una operación cronometrada. El Cajón debe retornar a la posición de carga y las ruedas dentadas deben ajustarse a la posición deseada sin causar daños al Cronómetro.
- Al terminar una operación Cronometrada, el Cronómetro podrá operar al mismo tiempo prefijado accionando simplemente la perilla "RESET".
- Cuando se emplee un método alternado de medición de tiempo, revisar que el botón "TIMER IN", se encuentre apagado. El switch accionado por este botón del tipo ON-OFF y se iluminará cuando el circuito del cronómetro esté energizado.

