

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

Facultad de Ingeniería Química



**"MEDICION DE ALTAS DOSIS DE RADIACION GAMMA POR
EL SISTEMA NITRATO - NITRITO DE POTASIO"**

TESIS

Para Optar el Título de:

INGENIERO QUIMICO

Presentado por:

RUTH RITA TORRES CUÉLLAR

Asesor : ING. Marco A. Linares Agüero

CALLAO - PERU

1993

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

ING° ALBERTO ARROYO VIALE : PRESIDENTE
ING° RICARDO RODRIGUEZ VILCHEZ: SECRETARIO
ING° LUIS CARRASCO VENEGAS : VOCAL
ING° MARCO LINARES AGUERO : ASESOR

Según figura en el Folio N° 136 asentado en el Acta N° 121 del Libro de Actas de fecha 22 DE DICIEMBRE DE 1993, 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.

*Dedicado a mis padres, por el amor que me
brindaron, comprensión, estímulo y apoyo constante,
para el logro de mi carrera profesional. A mis
hermanos, por el amor fraterno, que siempre me han
demostrado.*

AGRADECIMIENTO

Al Ing. Marco A. Linares Agüero por su asesoría, apoyo y estímulo constante, durante la ejecución del Proyecto. Al Centro de Tecnología Pico Onda-IPEN, por su constante apoyo para el logro de la Investigación. Al Ing. Alberto Panana y a los profesores del Centro de Computación e Informática de la Fac. de Ingeniería Química-UNAC, en la impresión del presente estudio.



INDICE GENERAL

	<i>Página</i>
I. INTRODUCCION	01
II. OBJETIVOS	05
III. RESUMEN	06
IV. ANTECEDENTES, JUSTIFICACION Y ALCANCE	09
4.1. Antecedentes.	09
4.2. Justificación.	10
4.3. Alcance y Limitaciones de la Dosimetria.	12
V. GENERALIDADES	15
5.1. Conceptos Básicos sobre Radiactividad.	15
5.1.1. Radiactividad.	15
5.1.2. Tipos de Radiación.	16
5.1.3. Radiación Gamma.	18
5.1.4. Desintegración Radiactiva y las Leyes del Decaimiento.	19
5.1.5. Unidades de medida de Radiactividad.	24
5.1.6. Vida media o Periodo de Semi- desintegración.	25
5.2. Interacción de la Radiación Electromagnética con la materia.	26
5.2.1. Efecto Fotoeléctrico.	27
5.2.2. Efecto Compton.	27

5.2.3. Producción de Pares.	27
5.2.4. Atenuación de la Radiación Electro- magnética.	28
5.3. Química de las Radiaciones.	30
5.3.1. Radiólisis del Agua.	30
5.3.2. Efecto de las Radiaciones sobre los Compuestos orgánicos.	31
5.4. Medición de la Radiación Dosimétrica	32
5.4.1. Dosis de Radiación.	33
5.4.2. Tasa de Dosis absorbida.	33
5.4.3. Clasificación de los Dosímetros para altas dosis.	36
5.4.3.1. Sistemas Dosimétricos primarios o estándares.	36
5.4.3.2. Sistemas Dosimétricos secundarios o de rutina.	39
5.5. Criterios para la selección de sistemas dosimétricos.	41
5.6. Dosimetria en Planta.	43
VI. MATERIALES Y METODO	48
6.1. Lugar de ejecución.	46
6.2. Materiales y reactivos.	46
6.2.1. Materiales.	46
6.2.2. Reactivos.	46
6.3. Equipos.	48

6.3.1. Descripción del Irradiador Gammacell 220.	49
6.4. Principios y Procedimiento Experimental.	55
6.4.1. Principios.	55
6.4.2. Procedimiento Experimental.	57
6.5. Ensayos en los laboratorios.	62
6.5.1. Distribución de Dosis.	62
6.5.2. Determinación del Coeficiente de Extinción Molar.	63
6.5.3. Determinación de la Curva Dosis Absorbida versus Concentración en la Irradiación en aire.	66
6.5.4. Verificación de la Dosis Absorbida en la Irradiación de Productos.	68
6.5.5. Estabilidad del Dosímetro en la Post- Irradiación.	69
6.5.6. Efecto del pH sobre la Reacción de Coloración.	69
VII. RESULTADOS Y DISCUSION	71
7.1. Resultados Obtenidos.	71
7.1.1. pH óptimo.	73
7.1.2. Coeficiente de Extinción Molar.	75
7.1.3. Curva Estándar de Dosis Absorbida versus Concentración en la Irradiación en aire.	89

7.1.4. Verificación de la Dosis Absorbida en Producto por el Sistema Nitrato/Nitrito de potasio en el rango de 1-50kGy.	114
7.1.5. Lectura del Dosímetro en los productos en la Post-Irradiación.	133
7.2. Evaluación de Resultados.	140
7.3. Precisión y Exactitud.	151
7.4. Ventajas y Desventajas Comparativas.	154
7.4.1. Ventajas	154
7.4.2. Desventajas	154
VIII. CONCLUSIONES	155
IX. RECOMENDACIONES	158
X. BIBLIOGRAFIA Y ANEXOS	160

I. INTRODUCCION

En cada instante y lugar, la naturaleza nos ofrece una serie de manifestaciones muy diferentes. En toda esa variedad la materia no es mas que la mezcla en proporciones definidas, de los diferentes elementos químicos.

El átomo ha sido definido como la parte más pequeña e indivisible de la materia, está formado por tres partículas fundamentales :protones, neutrones y electrones, dispuestas de una manera semejante a un pequeño sistema solar. Cada átomo definido por su número atómico y su número de masa se llama nucleído.

Los isótopos son nucleídos que tienen igual número de protones, o sea las mismas propiedades químicas; pero difieren en el número de neutrones. Es decir, pertenecen al mismo elemento químico pero tienen masa diferente.

Algunos nucleídos sufren el fenómeno de la desintegración radiactiva, mediante el cual se transforman espontáneamente en otro en el tiempo hasta alcanzar la estabilidad del núcleo. Los núcleos pueden desintegrarse por distintos mecanismos, emitiendo en cada caso distintos

tipos de radiaciones o partículas (partículas alfa, partículas beta, neutrones, radiaciones electromagnéticas (rayos X, rayos gamma).

La tecnología denominada proceso pico-onda llamada también de irradiación, es utilizada para la conservación de alimentos y la radioesterilización de productos médicos. Esto se logra mediante un radioisótopo o fuente radiactiva de Cobalto 60, que emite rayos gamma de la misma naturaleza que la luz o rayos solares, diferenciándose por su mayor penetrabilidad, de tal manera que los alimentos se someten a la exposición de la energía electromagnética y a determinadas dosis, que está directamente relacionada con el tiempo de permanencia del producto. Las posibilidades de aplicación se basan principalmente en el hecho de que dichas radiaciones inhiben muy eficazmente la síntesis de ADN, de manera que se reduce la división celular. Aplicadas en dosis correctas, ésta reducción se obtiene sin efectos importantes en los constituyentes de los alimentos. Por consiguiente, se puede impedir la reproducción de microorganismos, gametos de insectos y meristemos de la planta, lográndose con ello, la estabilidad en la conservación del producto tratado.

En consecuencia, el proceso de irradiación requiere de un control de calidad, es decir del tiempo que tiene que estar en la cámara de irradiación o irradiador.

La dosimetría o medición de dosis absorbida es posible mediante el uso de soluciones químicas, polímeros, etc; que se ven afectados por la radiación cambiando algunas de sus propiedades fisicoquímicas y si éstos cambios son fácilmente medibles, entonces éstos sistemas pueden ser usados como dosímetros.

Actualmente, nuestro país mediante el Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN), se encuentra ejecutando la instalación de una planta de irradiación multiuso (PIMU) en el distrito de Santa Anita-Lima, para la conservación de alimentos y la radioesterilización de productos médicos. Por ello, el laboratorio del Centro de Tecnología Pico Onda-IPEN, viene investigando sistemas dosimétricos que cumplan los requisitos que exigen los criterios para la selección de un buen instrumento de medición.

Hasta hoy, el laboratorio cuenta con el Sistema de Dosimetría Fricke, como primario, en el rango de 0.04kGy - 0.4kGy y el Sistema de Dosimetría Perspex de carácter secundario, (éste no es preciso, y su costo es elevado).

Por lo expuesto, se evidencia la necesidad de otro sistema dosimétrico que aporte mejores ventajas.

Por lo tanto, el presente estudio pretende demostrar el uso del sistema dosimétrico secundario o de rutina Nitrato/Nitrito de potasio, para altas dosis en el rango de 1-50kGy. Este sistema debe cumplir con el criterio de selección que se requiere para un buen dosímetro de rutina. Esta investigación a escala de laboratorio nos permitirá determinar los parámetros más importantes para éste sistema y los datos obtenidos podrán ser usados en el futuro, en la planta de Santa Anita.

Finalmente, de comprobarse su factibilidad, se habrá logrado contribuir con un avance tecnológico muy importante en nuestro país.

II. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

- El objetivo principal del estudio es verificar la posibilidad de desarrollar un Sistema Dosimétrico Nitrato/Nitrito de potasio para altas dosis de radiación gamma, de carácter rutinario o secundario en el rango de 1 á 50 kGy, a nivel de laboratorio y la posibilidad de su aplicación en la planta de irradiación multiuso (PIMU) en Santa Anita-Lima.

- Determinar los parámetros e intervalos de trabajos más importantes que se deben considerar en la técnica para demostrar que cumple con el criterio de selección de un buen dosímetro de rutina, usando el Sistema de Dosimetría primario Fricke como de referencia por extrapolación.

- Determinar la precisión del sistema dosimétrico Nitrato/Nitrito de potasio comparándose con el sistema dosimétrico secundario Perspex.

III. RESUMEN

La presente investigación demuestra la factibilidad de usar o aplicar el sistema dosimétrico Nitrato/Nitrito de potasio a escala de laboratorio, para altas dosis de radiación gamma, en el rango de 1-50kGy.

La necesidad de poner en marcha una técnica que cumpla con el criterio de un buen dosímetro de rutina, es prioritaria en el área de "Centro de Tecnología Pico Onda (C.T.P.O)"-IPEN, para lograr la verificación de la dosis absorbida de productos alimenticios y médicos, pues el intervalo mencionado es adecuado para múltiples aplicaciones.

Por ello, el trabajo consistió, en primer lugar, en determinar el pH óptimo, parámetro importante en toda la investigación. El rango obtenido fue de 2.15 a 1.45. Con éste dato se procedió a hallar un "coeficiente de extinción molar experimental", que midiera el cambio de la absorbancia y la concentración del nitrito en presencia de 0.5 gr de nitrato de potasio.

Los datos obtenidos han sido evaluados para elegir el mejor modelo estadístico, de acuerdo al coeficiente de

determinación y correlación más cercanos a 1. Aún mas el ensayo óptimo fue analizado estadísticamente mediante ensayos significativos, de la justificación del modelo elegido, así como para conocer las incertidumbres mínimas y máximas de los parámetros estadísticos.

En segundo lugar, se ha estandarizado la curva de dosis absorbida vs. concentración de nitrito producido por cada 0.5 gr.de nitrato de potasio en la irradiación en aire. Luego de una serie de ensayos en los laboratorios y bajos los mismos métodos estadísticos se determinó un modelo de regresión lineal simple, para la estandarización de la curva patrón.

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

Obtenida ésta curva estandarizada, se procedió a realizar la lectura de la dosis absorbida con productos (Ver anexo N° 04) como el carmisol, el carmin, y ocúmetros, con buenos resultados.

Para la calibración y extrapolación se usó el dosímetro primario Fricke y se comparó con el dosímetro secundario Perspex. Además los datos fueron sometidos a

un análisis de variancia (ANOVA), para verificar el modelo elegido y comprobar la reproducibilidad, de lecturas con los productos.

Adicionalmente, se realizaron ensayos para determinar el efecto de la post-irradiación en las lecturas, no alterándose ni en aire ni en el producto, por los menos después de dos meses de leído.

En consecuencia, se han presentado los parámetros e intervalos de trabajo obtenidos con ésta técnica, para que su uso sea el correcto. Por lo tanto, el Centro de Tecnología Pico Onda contará con un buen dosímetro Nitrato/nitrito de potasio, para altas dosis de radiación gamma en el rango de 1-50kGy, y de ésta forma se habrá contribuido con el avance tecnológico en el campo de la conservación de alimentos y la esterilización de productos médicos.

IV. ANTECEDENTES, JUSTIFICACION Y ALCANCE DE LA INVESTIGACION

4.1. Antecedentes.

El hecho de que los cristales de nitrato (NO_3^-) sufren una reducción radiolítica se conoce desde 1963; Chen y Jhonson por un lado y Cunningham por otro, fueron los que encontraron una correlación entre la dosis entregada al sólido y la producción de NO_2 .

Sin embargo, el análisis de los resultados obtenidos por estos autores se revela que la linealidad no es buena.

El estudio del dosímetro de nitrato/ nitrito de potasio surgió en el año 1975 como una necesidad para controlar dosis del orden de los 10 kGy (1 Mrad) en los procesos de radioesterilización en la planta de irradiación semi-industrial del centro atómico de Ezeiza (C.A.E.) Argentina. (8)

Se utilizó para las irradiaciones Gammacell 220 con fuente de ^{60}Co , con una actividad de 0.111×10^{15} Bq (3000 Ci) y una velocidad de dosis de 1700 Gy/h.

Se trabajó además irradiando en la planta de irradiación a escala semi-industrial con una actividad de $19,684 \times 10^{15}$ Bq (532000 Ci) de ^{60}Co y una velocidad de dosis de 2600 Gy/h, a 1.50 metros de la fuente.

Se empleó el nitrato de potasio (NO_3K) en estado sólido y se estudió desde el punto de vista dosimétrico para cubrir rangos que van desde 1 kGy hasta 150 KGy (100 Krad hasta 15 Mrad) mostrando muy buena linealidad. (7)

4.2. Justificación

Actualmente, el Instituto Peruano de Energía Nuclear (I.P.E.N)-a través del Proyecto Pico-Onda viene desarrollando una serie de actividades con el objeto de instalar una planta de irradiación multiuso (P.I.M.U.) en Santa Anita, siendo sus objetivos principales la esterilización de productos médicos y la conservación de alimentos, como método alternativo a los tradicionales.

En la industria de procesos de irradiación, la dosimetría es una parte del control de procesos y seguro de calidad. La dosimetría de la radiación es un método aceptable como garantía de que el producto irradiado ha sufrido el tratamiento de radiación correcta. (9)

Estos dosímetros se clasifican en primarios (actúan como calibradores estándares) y secundarios (o verificadores de dosis).

La dosimetría de altas dosis ($\geq 1\text{KGy}$) rango que se requiere para estas aplicaciones) que se emplea en otros países del mundo son sistemas convencionales tales como:

Poliméricos : polimetilmetacrilato "perspex",
radiocrómico.

Físicos : Que usa el calorímetro.

Soluciones Químicas: Fricke, Super Fricke, sulfato
Cérico-Ceroso.

Así como también el de resonancia spin electrón/alanine entre otros. Todos ellos sufren cambios después de una exposición a un campo de radiación gamma.

Estos métodos dosimétricos satisfacen las distintas necesidades, dependiendo del área de aplicación y del nivel de dosis a cubrir. Además, los sistemas mencionados son confiables y reproducibles, pero sensibles a diferentes factores. (25)

Hasta hoy, en el laboratorio (Centro de Tecnología Pico - Onda C.T.P.O.- IPEN) se ha desarrollado el

dosímetro primario Fricke, de muy buena linealidad de respuesta, pero para un rango de trabajo pequeño (0.04 kGy - 0.4 kGy); requiriéndose para algunos tratamientos dosis altas de hasta 30 kGy (esterilización de productos médicos).

También se puede mencionar que como sistema secundario o rutinario se ha empleado el dosímetro perspex (polimetilmetacrilato) pero con el cual no se ha llegado a obtener buenos resultados, de ahí que surgió la necesidad de investigar otros sistemas dosimétricos, que reunieran mayores ventajas.

Por ello, a base de la experiencia realizada en la planta de irradiación semi-industrial del Centro Atómico Ezeiza-Argentina (8) se ha elegido como alternativa posible de investigación a escala de laboratorio el sistema dosimétrico nitrato/nitrito de potasio (1 á 50 kGy), por ser el rango de dosis para múltiples aplicaciones (Desinfestación de granos, radurización de granos, radapertización y esterilización, entre otros.(12) (ver anexo N° 01).

4.3. Alcance y limitaciones de la dosimetría.

La presente investigación tiene por finalidad,

demostrar la reproducibilidad del sistema dosimétrico nitrato/nitrito de potasio para altas dosis en el laboratorio, mostrando una buena linealidad en el rango de dosis de 1 á 50 kGy.

Este sistema dosimétrico se basa en que el nitrito producido, al ser irradiado el nitrato de potasio, es decir el nitrato sufre una reducción radiolítica a nitrito, determinándose por valoración colorimétrica.

Después de intervenir en una reacción de diazoación y posterior copulación, se evaluará las condiciones de estandarización. La respuesta debe ser independiente a la temperatura de irradiación. Se estudiará los efectos del pH y de la concentración del nitrito, sometiendo los resultados a una evaluación estadística. Se usará como dosímetro de referencia el Sistema Fricke, por extrapolación.

Con respecto a los sistemas de referencia más usados en otros países, tenemos el sistema de resonancia spin electrón/alanine (ESR), el de calorimetría y el de Fricke.

El sistema alanine es automatizado, usado en el Centro de Calibración de Stándares, y cuyas medidas son rápidas, pero su instalación es de un costo elevado.

El método calorimétrico, que es el más barato, confiable y práctico se emplea sólo a escala de laboratorio.

Por ello, el Centro de Tecnología Pico Onda -IPEN, ha elegido como referencia el sistema dosimétrico Fricke, por ser barato, y de muy buena linealidad en el rango de 0.04-0.4kGy, además de ser fácilmente manejable.

La dosimetría dispone hoy, con una documentación detallada para el control de calidad y comprende:

1. La calibración del Sistema de Dosimetría.
2. La calibración del Sistema de Dosimetría.
3. La calibración de Instrumentos de Dosimetría.
4. La calibración de las Plantas de radiación, en concesiones.
5. La rutina de Dosimetría Continua.
6. El monitoreo de la rutina del proceso de Dosimetría(9).

V. GENERALIDADES

5.1. Conceptos básicos sobre Radiactividad.

5.1.1. Radiactividad.

La radiactividad consiste en la emisión espontánea de radiaciones por parte de los núcleos de las llamadas sustancias radiactivas.

La forma espontánea como ocurre estas emisiones es una manifestación de la inestabilidad o exceso de energía de los núcleos radiactivos. En consecuencia el estudio de la radiactividad, a través de un análisis de las radiaciones emitidas se ha traducido en conocimiento de las condiciones de inestabilidad y estabilidad de los núcleos. (18)

En 1899 se demostró por varios investigadores (Becquerel y los Curie) en forma independiente, que las radiaciones de los compuestos de uranio podían ser deflectadas en parte, cuando estaban bajo la influencia de fuertes campos magnéticos. La parte no deflectada se le llamó primera "radiación alfa". La parte deflectada de la radiación que se comportaba como electrones fue llamada

"radiación beta".

A partir de 1903, se encontró que una parte de la radiación alfa era altamente penetrante y se le llamó "radiación gamma". (6)

5.1.2. Tipos de radiación.

Los radioisótopos son isótopos cuyos núcleos atómicos contienen neutrones en mayor o menor número que los isótopos estables de los elementos que existen en la naturaleza.

Tales núcleos son inestables y tienden a cambiar, con el tiempo, a configuraciones estables por diversos procesos conocidos colectivamente como "desintegración radiactiva".

El proceso primario de desintegración radiactiva es siempre la emisión de una partícula cargada (α , β^- o β^+) o la captura por el núcleo de un electrón orbital.

Estos procesos cambian la carga eléctrica del núcleo, dando así un núcleo producto que es químicamente un elemento diferente. El núcleo producto tiene también

invariablemente un contenido energético menor que el núcleo radiactivo que lo originó, y la diferencia aparece como energía de las distintas clases de radiaciones que se emiten.

Estas radiaciones son las partículas cargadas mencionadas antes, acompañadas en muchos casos por radiación electromagnéticas en forma de rayos Γ o rayos X.

Las propiedades de las partículas cargadas y las radiaciones electromagnéticas y del mismo elemento son la causa de las variadas aplicaciones de los radioisótopos.
(14)

Las radiaciones electromagnéticas de alta energía como 1 MeV (0.16 pJ) de rayos gamma pueden penetrar a través de un metro de sólido o líquido. De otro lado, las partículas cargadas, partículas β , protones, partículas α , penetran pocos milímetros en sólidos o líquidos, o algunos centímetros en gases. (26)

Tabla N001: Penetración para 1 mev de Radiación.

TIPO DE RADIACION	PENETRACION	
	EN AGUA cm.	EN AIRE cm.
X o GAMMA hvt	10	7000
BETA (β) O RAYO ELECTR.	alcance	400
ALFA (Γ)	alcance	0.2
PROTON	alcance	2.3
NEUTRON	hvt	grande
FRAGMENTO DE FISION	ALCANCE	2.5

hvt = espesor del medio que causa una reducción de la radiación a la mitad.

Fuente: Tabla 2.1. "Principles of Radiation Chemistry"

5.1.3. Radiaciones Gamma.

Los emiten muchos núcleos radiactivos. Un núcleo atómico inestable producido durante transmutaciones a veces emiten su exceso de energía bajo la forma de rayos gamma (Γ).

Las radiaciones electromagnéticas de alta energía pierden cierta fracción de energía al pasar a través de cada unidad de espesor de materiales y nunca tienen un rango definido. (26)

5.1.4. Desintegración radiactiva y las leyes de decaimiento.

Los esquemas de desintegración de distintos radionucleidos, y con ello los tipos y energías de las radiaciones que se emiten varían mucho en complejidad.

Los más sencillos son aquellos en que la emisión de una partícula cargada da lugar inmediatamente a un núcleo producto estable. Los radionucleidos que se desintegran de ésta forma son emisiones puros de partículas α , β^- , o positrones, y no emiten radiación electromagnética. El radón 220 y el radón 222 son virtualmente emisiones puras, pero no se pueden usar como tales, porque dan lugar a cadenas de productos radiactivos hijas que emiten otras radiaciones.

Los esquemas de desintegración se representan convenientemente en forma de diagramas de niveles de energía, como se muestra, mas adelante. Los estados

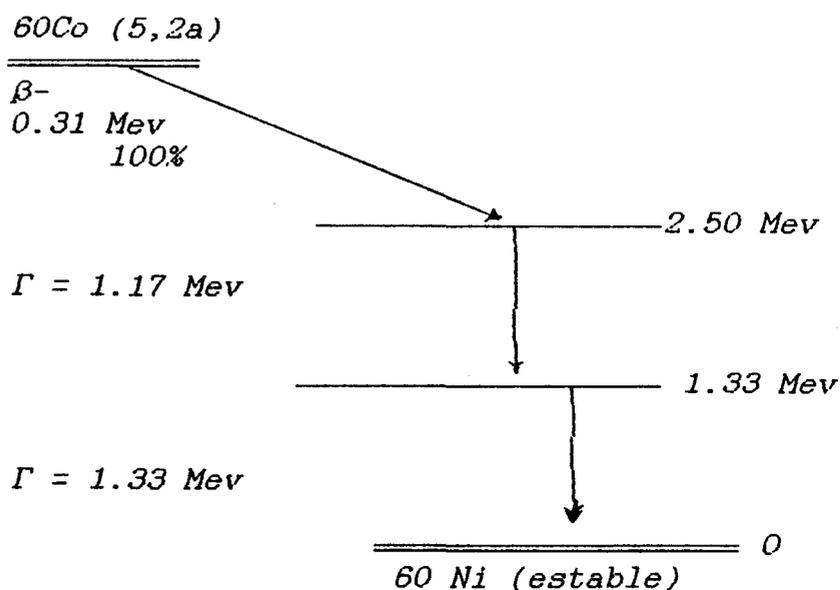
fundamentales de los núcleos padre e hija se indican con trazos horizontales gruesos. Cuando el nucleido hija tiene un número atómico superior al del padre hay un desplazamiento hacia la derecha, y si lo tiene inferior, hacia la izquierda.

Las líneas diagonales entre los dos estados representa la emisión de partículas β^- ó β^+ o captura electrónica, según los casos.

La mayoría de los radionucleídos se desintegran de forma que solo parte de la energía correspondiente a la transición es portada por las partículas cargadas.

Por lo tanto, el núcleo producto se forma con una energía superior a la de su estado fundamental al cual pasa mediante una emisión de radiación Γ de la energía adecuada.

Por ello, en el cobalto 60 cada desintegración produce una partícula β de energía de hasta 0.31 MeV y dos cuantos gamma de energía 1.17 y 1.33 MeV, respectivamente.



**Figura N° 01: Esquema de desintegración Radiactiva
del Cobalto 60**

Leyes del Decaimiento Radiactivo.

1. La desintegración radiactiva obedece 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. Es una propiedad particular de cada nucleído. (18)
2. Si se considera una muestra radiactiva que contiene un solo tipo de radionucleídos, es de esperar que el

número de éstos $N(t)$ disminuirá al transcurrir el tiempo debido que, al desintegrarse se irán transformando en nucleídos de otro tipo.

Correspondientemente, es de esperar que la actividad de la muestra $A(t)$, también cambie con el tiempo.

Entonces se deduce que:

$$\boxed{A = \frac{-dN}{dt}} \quad \dots(1)$$

$-dN$, es la velocidad de decaimiento de una dt fuente en un tiempo t (el signo negativo indica que son núcleos que decaen).

A : Actividad, o sea el Nº de núcleos que decaen por unidad de tiempo. (18)

3. Si se parte de la simple suposición de que la actividad de una muestra radiactiva es proporcional al número radionucleídos contenidos en la misma.

$$\boxed{A(t) = \Omega N(t)} \quad \dots (2)$$

donde:

Ω = Constante en proporcionalidad o llamada también constante de decaimiento radiactivo, que mide la probabilidad de que un núcleo sufra una **transición nuclear espontánea**, en la unidad del tiempo. Este valor es característico de cada nucleído.

De las ecuaciones (1) = (2)

$$\boxed{-\frac{dN}{dt} = \Omega N = A} \quad \dots (3)$$

Integrado la ec (3)

$$-\int \frac{dN}{N} = \int \Omega dt$$

Tomando como límites:

N = Núcleos en el instante t

N_0 = Núcleos en el instante $t = 0$

$$\boxed{\ln N = -\Omega t + C} \quad \dots (4)$$

Para un tiempo $t = 0$ $C = \ln N_0 = \text{cte.}$

Reemplazando en (4)

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\Omega t \quad \dots(5)$$

Dándole forma exponencial será:

$$\frac{N}{N_0} = e^{-\Omega t} \quad \dots(6)$$

Permite calcular el número de núcleos de una sustancia en cualquier tiempo y se le denomina **Ley Exponencial de Desintegración Radiactiva**". (18)

5.1.5. Unidades de medida de Radiactividad.

La medición de la radiación involucra la intensidad de la fuente, el efecto acumulativo sobre el substrato y la velocidad a la cual es llevado el efecto.

La fuente es caracterizada por la naturaleza y la energía de distribución de la radiación y por la rapidez con que está siendo emitida la radiación.

$$1 \text{ curie} = 3.7 \times 10^{10} \text{ (d.p.s)}$$

$$1 \text{ curie} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bequerel.}$$

El roentgen (R) original, fue definido en términos de casos de ionización, pero tiene dificultades conceptuales. El rad o su equivalente el kGy que hoy es el mas usado, debido a que es una unidad basada en la energía absorbida (100 ergs por gramo). (6) Ver 5.4.2.

5.1.6. Vida media o período de semidesintegración.

Está definida como el tiempo que debe transcurrir para que el número de núcleos o actividad en una sustancia se reduzca a la mitad de su valor inicial.

El símbolo que se usa convencionalmente para representar la vida media es $T_{1/2}$ o período de $T_{1/2}$ de semidesintegración.

Por definición:

$$\boxed{N(T) = \frac{N_0}{2}} \dots (7)$$

reemplazando en la ec. (6)

$$\boxed{N(T) = N_0 e^{-\lambda T}} \dots (8)$$

Luego :

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\Omega T}$$

$$\frac{1}{2} = e^{-\Omega T}$$

$$- \ln 2 = -\Omega T$$

$$T = \frac{\ln 2}{\Omega} = \frac{0.693}{\Omega} \text{ en seg... (9)}$$

Este tiempo T , conocido como **período de semidesintegración**, es característico de cada radionucleído.

Los períodos de radionucleídos conocidos varían desde fracciones de microsegundos a miles de millones de años.
(18)

5.2. Interacción de la Radiación Electromagnética con la materia.

Cuando las radiaciones gamma atraviezan cualquier material generalmente ceden energía a ésta, mediante los siguientes mecanismos. (13) Ver fig N° 02

5.2.1. Efecto Fotoeléctrico.

Se produce principalmente para energías de radiación gamma menores a 0.5 MeV. (13)

La energía de un fotón es cedida totalmente a un electrón y éste es eyectado de su órbita electrónica quedando ionizado el átomo.(6)

5.2.2. Efecto Compton.

Este efecto se produce cuando el fotón incidente posee una energía que se encuentra dentro del rango de 0.5 a 5 MeV, consiste en la interacción en la que la radiación incidente es dispersada con pérdida de parte de su energía. (13)

5.2.3. Producción de Pares.

Para energías mayores a 1.02 MeV, puede ocurrir la producción de pares electrón - positrón, es decir la transformación de una radiación gamma en un electrón negativo y un electrón positivo. (13)

5.2.4. Atenuación de la Radiación Electromagnética.

Cuando la radiación gamma atraviesa la materia, desaparece los fotones, y hace que su intensidad decaiga en forma exponencial, así tenemos:

$$I_x = I_0 e^{-ux} \quad \dots(10)$$

donde:

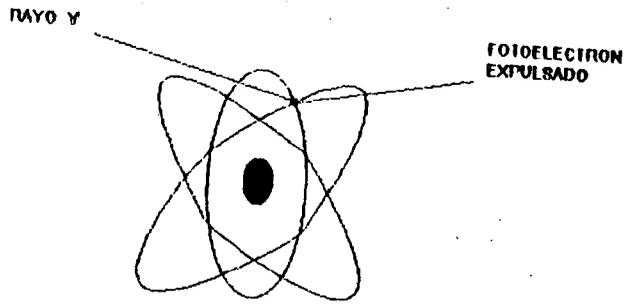
I_x = Intensidad de la radiación que ha atravezado.

x = un espesor x de material.

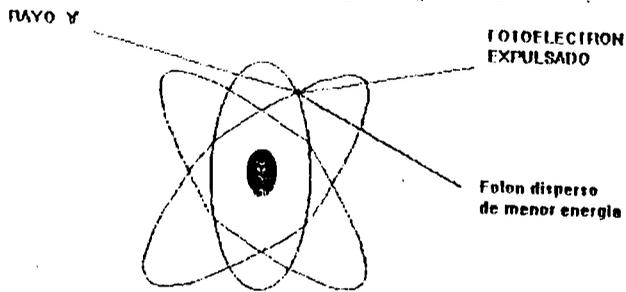
I_0 = intensidad inicial de la radiación para $x=0$

u = coeficiente de absorción del material por
unidad de longitud.

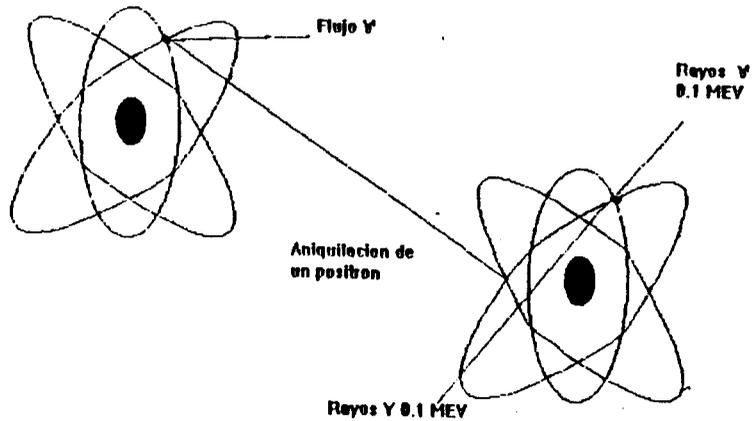
x = espesor de material atravezado. (13)



Efecto Fotoeléctrico



Efecto Compton



Producción de pares.

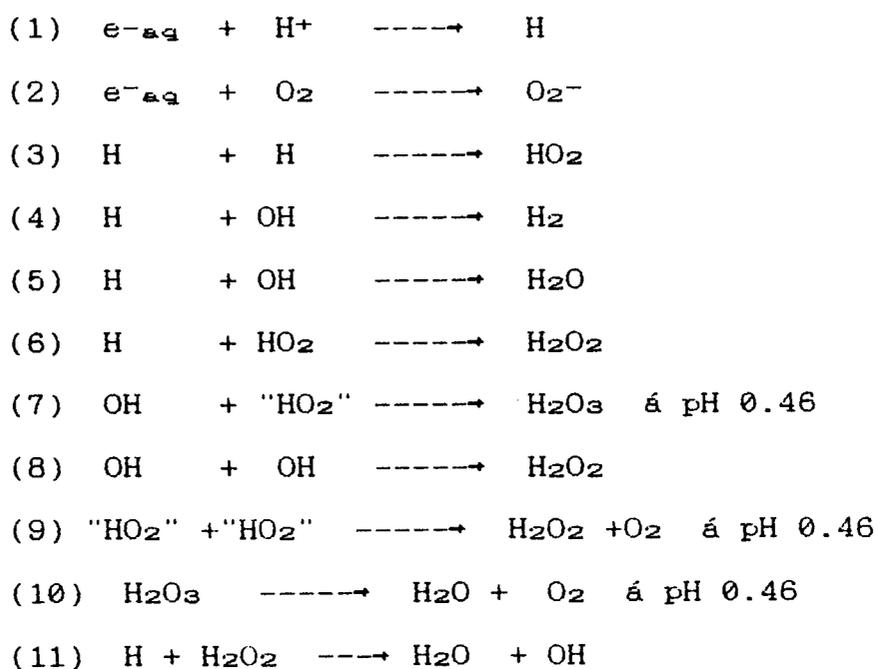
Figura N° 02: Mecanismos de Interacción de la Radiación Electromagnética con la materia.

5.3. Química de las Radiaciones.

5.3.1. Radiólisis del agua.

La radiación ionizante, produce una variedad de cambios químicos en el sistema irradiado.

Todos los organismos vivientes, son esencialmente soluciones acuosas de una variedad de moléculas biológicamente importantes. Actualmente se sabe que ese alto grado de reactividad del agua se debe a algunas especies químicas formadas en la solución:



El radical libre, lleva un electrón impar o no apareado, es decir tiene un número impar de electrones. Esta situación está asociada con el alto grado de reactividad química, lo cual es independiente de su carga eléctrica.

El resultado neto de la irradiación del agua es la formación de dos radicales libres, el radical libre hidrógeno H^\bullet y el radical libre OH^\bullet .

Estos radicales son altamente reactivos pero demasiado destructivo. Sin embargo, ellos pueden reaccionar entre sí, y con otras especies químicas para formar compuestos altamente destructivos, por ejemplo del tipo peróxidos debido a que son agentes fuertemente oxidantes y son extremadamente tóxicos a las estructuras que contienen lípidos. (18)

5.3.2. Efecto de las radiaciones sobre compuestos orgánicos.

La materia al ser atravezada por cualquiera de las formas de radiación ionizante. La energía es absorbida y se producen los iones pares. La colisión de la radiación ionizante con las moléculas del alimento causan excitación y la ionización de miles de átomos en su

trayectoria. Estas radiaciones producen grandes cambios químicos, pero éstos cambios afectan en menos del 0.01% de las ligaduras químicas.

El efecto directo, se basa en los cambios biológicos (multiplicación celular, mutación, efectos laterales, etc), en la materia que ha sido expuesta.

El efecto indirecto, se refiere a la radiólisis del agua. (ver 5.3.1). Estos radicales contribuyen sustancialmente a los efectos biológicos de la radiación ionizante.(6)

5.4. Medición de la Radiación Dosimétrica.

La dosimetría de irradiación es un método aceptable que brinda la garantía de que el producto irradiado ha estado el suficiente tiempo en la cámara de irradiación, para asegurar que ha sufrido el tratamiento de irradiación correcta. (9)

Se denomina dosimetría, a todo tipo de efecto o cambio químico o físico inducidos por la radiación, caracterizado por su reproducibilidad y facilidad de cuantificación.

Se dispone de sistemas dosimétricos, según el área de aplicación y el nivel de la dosis a cubrir. (25)

5.4.1. Dosis de Radiación.

Se define como dosis absorbida al número de eventos es proporcional a la energía absorbida. (26)

La dosis absorbida, matemáticamente es el cociente de $d\epsilon$ por dm , donde $d\epsilon$ es la energía media impartida por la radiación ionizante a la materia de masa dm .

$$D = \frac{d\epsilon}{dm} \quad \dots (11)$$

Unidad:

$$D = \text{Gray (Gy)} = 1 \text{ J Kg}^{-1} = 100 \text{ rad} \quad (18)$$

5.4.2. Tasa de Dosis Absorbida.

La Tasa de Dosis Absorbida D° , es el cociente de dD por dt , donde dD es el incremento de la dosis absorbida, en el intervalo de tiempo dt .

$$D^\circ = \frac{dD}{dt} \quad \dots (12)$$

Unidad:

$$\frac{\text{Gray}}{\text{seg}} = \frac{100 \text{ rad}}{\text{seg}} = 10^{-2} \text{ Jkg}^{-1} \text{ s}^{-1} \quad (18)$$

Los factores determinantes de la dosis son:

1. La relación fija de geometría entre la muestra y la fuente.
2. Tiempo de exposición a la fuente de irradiación.
3. La dosis que recibe la muestra, mientras la fuente está en movimiento entre la posición de almacenaje y la posición de irradiación. (19)

El total de la dosis entregada en un punto, en la configuración, es la suma de dos contribuciones: la dosis de radiación y la dosis tránsito.

$\begin{array}{l} \text{DOSIS} = \text{RELACION DE} \times \text{TIEMPO DE} + \text{DOSIS} \\ \text{TOTAL} \quad \quad \quad \text{DOSIS} \quad \quad \quad \text{IRRADIACION} \quad \text{TRANSITO} \end{array} \quad \dots (13)$
--

La dosis de tránsito, es la dosis entregada como resultado de la fuente a la posición de almacenaje.

Experimentalmente, la tarea, de dosimetría se reduce a determinar la relación de dosis. Cuando hablamos en dosis total, relación de dosis o dosis tránsito nos referimos a un punto en el destino. La ec. (11) se convierte en:

$$\boxed{\text{DOSIS TOTAL} = \text{DOSIS TRANSITO}} \quad \dots(14)$$

Cuando el tiempo de exposición es muy corto. La dosis determinada usando la ec. (11)

$$\boxed{\begin{array}{l} \text{RELACION} \\ \text{DE} \\ \text{DOSIS} \end{array} = \frac{\text{DOSIS TOTAL} - \text{DOSIS TRANSITO}}{\text{TIEMPO DE IRRADIACION}} \dots(15)}$$

Si la dosis tránsito es pequeña, se puede despreciar:

$$\boxed{\begin{array}{l} \text{RELACION} \\ \text{DE} \\ \text{DOSIS} \end{array} = \frac{\text{DOSIS TOTAL}}{\text{TIEMPO DE IRRADIACIONES}} \dots(16)}$$

Por otro lado, la dosis promedio total se define como un valor integral, pero puede expresarse por la dosis media; $(D_{MAX} + D_{MIN})/2$.

Para una irradiación con Cobalto 60, la dosis media, en muchos casos, será mayor que la dosis promedio, ésta

dificultad de medir la dosis promedio total y un error estimado de 20% hace que no sea la más adecuada para el proceso de irradiación de alimentos. (5)

5.4.3. Clasificación de los dosímetros para altas dosis.

Los sistemas de dosimetría para altas dosis empleados son:

El sistema de dosimetría primario, para la calibración de la planta y para la calibración entre dosímetros.

El sistema de dosimetría secundario para el monitoreo o verificación de la dosis de rutina, del proceso de dosimetría.

5.4.3.1 Sistema dosimétrico primario o estándar.

Los dosímetros de altas dosis convencionales son:

Por método físico:

Calorimetría, se basa en la degradación de la energía absorbida de las radiaciones ionizantes, en casi su totalidad, (95% o mas) en calor.

La 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 mediante el cambio de temperatura en el calorímetro.

En la práctica, sin embargo, su uso es complicado y por esta razón su empleo se restringe casi exclusivamente al laboratorio. (25).

Por Métodos Químicos:

La Dosimetría Fricke, ha sido definida como dosímetro de referencia, para las mediciones de dosis y utilizado en la calibración de otros sistemas dosimétricos, empleados en los trabajos de investigación o en los controles de rutina. (10).

Se basa en el proceso de oxidación, de los iones ferrosos a férricos por radiación ionizante. El método puede usarse para determinar la dosis absorbida en el rango de 0.04kGy á 0.4 kGy, usando mediciones espectrofotométricas de la concentración del ión férrico.

El cambio en la absorbancia (a una longitud de onda dada) de una solución amoniacal se mide en un

espectrofotómetro con control de temperatura. Debido a que la dosis absorbida en kGy, en la solución es proporcional al cambio en la absorbancia, ésta puede determinarse multiplicando el cambio en la absorbancia por un factor de conversión adecuado. (1)

El Sistema de Resonancia del Spin Electrón, Alanina (ESR), está basado en la medida de radicales libres formados en la alanina por el método de resonancia de spin electrón (ESR). Este sistema se escogió por el Laboratorio de Metrología de Radiación Ionizante (LMRI), primer laboratorio de Francia y centro de calibración de estándares.

Se estudiaron los factores de corrección, como estabilidad del sistema de medición, influencia de la temperatura durante la irradiación, almacenaje, lectura.

La excitación resultante de las medidas es 3-4%. Este sistema tiene dos características interesantes: puede usarse en forma de pequeñas pastillas y se miden bajo corriente de electrones.

El sistema es automatizado, para las medidas por ESR, tomando en cuenta su introducción dentro de la cavidad, su remoción y su reemplazo en un contenedor de almacenaje,

completando con un sistema computarizado. Esto hace las medidas más rápidas y permite su uso para varias operaciones de calibración, tales como:

Calibración de nuevos procesos.

Calibración o chequeos periódicos de dosimetría de rutina.

(5)

5.4.3.2. Sistemas dosimétricos secundarios o de rutina.

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

Es preciso indicar, que las funciones de un dosímetro de rutina son muy diferentes a las de un sistema dosimétrico de referencia, como los discutidos anteriormente.

Se utilizan éstos 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 con relación a un sistema de referencia (calorimetría, solución dosimétrica Fricke, Alanine ESR), en términos de su capacidad de medir el

efecto de la radiación como una función de la dosis absorbida en el material de interés.

La dosimetría de rutina, se emplea en general como sistemas dosimétrico para medir la distribución de la dosis absorbida en empaques. Se usan para hacer un seguimiento de las variaciones de la dosis entre empaques (cajas de cartón, etc) o entre varios días de procesamiento con radiaciones. Aunque, como es obvio, carecen de alta precisión y reproducibilidad. En cuanto a su respuesta a la radiación, los dosímetros de rutina son mucho mas versátiles y prácticos para uso diario. (25)

Entre los mas importantes sistemas dosimétricos de rutina, se pueden mencionar:

El dosímetro *Perspex*, son dosímetros de polimetimetacrilato coloreado para medir dosis superiores a 5 kGy de radiación gamma, en procesos industriales. Los dosímetros son piezas rectangulares de material ópticamente claro de 30 x 11 mm, pre-empaquetado individualmente en sachets de poliéster aluminio /latón/ polietileno etiquetadas. Durante la irradiación, los dosímetros se obscurecen. El grado de obscurecimiento es susceptible a ser medido mediante la espectrofotometría.

Se relacionan, luego con la dosis absorbida. (17)

Estos dosímetros son suministrados por el fabricante (Harwell) con curvas de calibración, que relacionan absorbancia inducida con dosis absorbida. (10)

Se conocen los siguientes dosímetros Perspex. Ver tabla N° 2.

Tabla N°2: Tipos de dosímetros Perspex.

TIPO	RANGO DE DOSIS RECOMENDADAS	LONGITUD DE ONDA RECOMENDADA
ROJO 4034	5 á 50 kGy	640 nm.
AMBAR 3042	3 á 15 KGy	603 nm.
GAMMA CROMO	100 á 3 KGy	530 nm.

Fuente :Tabla 1 Harwell

5.5. Criterios para la selección de Sistemas Dosimétricos.

Para seleccionar el sistema dosimétrico más adecuado se deben seguir varios criterios:

1. *Entregar una respuesta única y estable a la radiación.*
2. *Ser independiente de la temperatura de irradiación.*
3. *Ser independiente de la temperatura post-irradiación.*
4. *Ser independiente de las condiciones ambientales de pre-irradiación.*
5. *Ser independiente de la tasa de dosis ("dose rate") o intensidad de irradiación dentro del rango de su utilización.*
6. *Ser independiente de la energía.*
7. *Debe ser reproducible.*
8. *Mostrar invariabilidad de lote a lote de dosímetros.*
9. *Ser fácil de emplear.*
10. *Poseer una técnica de evaluación.*
11. *Ser de bajo costo.*
12. *Ser bien construido, de acuerdo con procedimientos uniformes estandarizados para la fabricación de dosímetros.*

Aunque, se debe indicar que ninguno de los sistemas dosimétricos mencionadas anteriormente podría satisfacer en forma absoluta todos los criterios para la selección de los dosímetros enumerados anteriormente. (25)

5.6. Dosimetría en Planta.

Las experiencias dosimétricas en planta en los diferentes países que ya cuentan con estas instalaciones han abarcado pruebas piloto e irradiaciones comerciales, tales como, papas, cebollas, frambuesas, pollo congelado, langostinos congelados, vegetales deshidratados, especias, material médico quirúrgico, entre otros.

Los irradiadores que emplean ^{60}Co como fuente de irradiación, (Ver fig.N°03) constan de cuatro partes principales:

1. Fuente de irradiación.
2. Un recinto para el almacenaje de la fuente radiactiva.
3. Una cámara de irradiación o celda caliente, en la cual ocurre el proceso de irradiación de las muestras o materiales.
4. El equipo electro-mecánico para colaborar el material que se va a irradiar en la posición de irradiación.

La fuente de irradiación es la parte mas importante del irradiador existiendo diferentes diseños para las fuentes radiactivas de ^{60}Co .

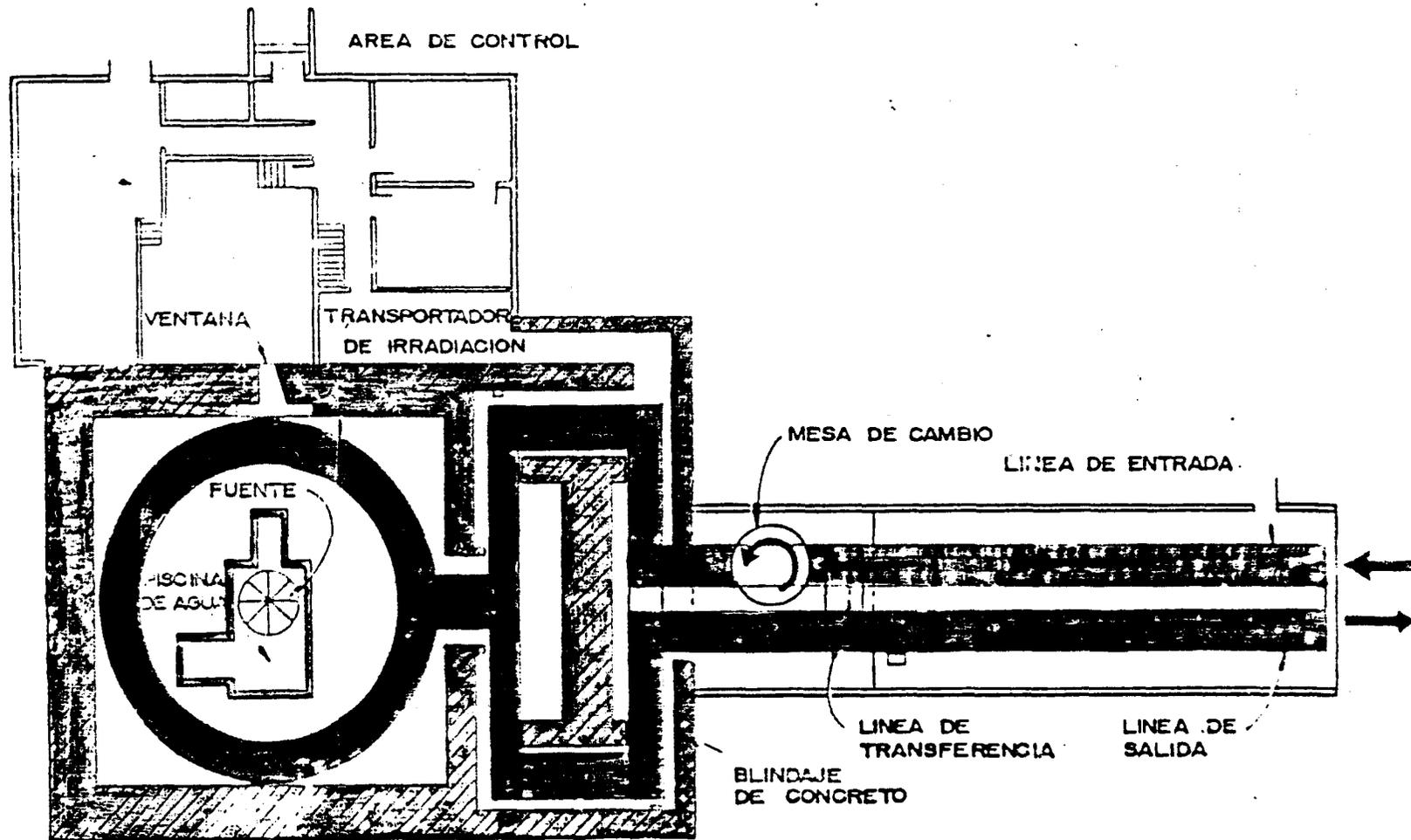
Así, los irradiadores pueden ser de almacenaje seco, o de almacenaje en piscina. En el primer caso, la fuente radiactiva se aloja en un recinto seco, blindado con hormigón armado. Para efectos de radioprotección y de economía, generalmente estos recintos secos se construyen en el subsuelo.

Los irradiadores de piscina son aquellos en la que la fuente se encuentra alojada en una piscina de agua, es decir el agua, constituye el blindaje biológico. Para este tipo se hace necesario un sistema purificador del agua para desionizarla.

Los irradiadores de almacenaje seco o de piscina, puede ser de tipo batch o continuos.

En los de tipos batch, la irradiación se hace más lenta por cuanto para cada irradiación se tiene que almacenar la fuente en la piscina, mientras se disponen los materiales en la cámara de irradiación y también después de la irradiación, mientras se descarga el material irradiado.

Los irradiadores de sistema continuo, son más eficientes, porque en ellos la irradiación continúa por el tiempo requerido, sin necesidad de almacenar la fuente. (25)



NOTAS:

- 1- LAS FLECHAS INDICAN LA TRAYECTORIA DE LOS PRODUCTOS A TRAVES DEL IRRADIADOR
- 2- EL AREA ACHURADA CORRESPONDE AL BLINDAJE DE CONCRETO.

FIG. N° 03-PRINCIPALES COMPONENTES DE
UN IRRADIADOR DE COBALTO-60
O CESIO-137

VI. MATERIALES Y METODOS

6.1. Lugar de Ejecución.

La investigación se ha realizado 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).

Se inició en el mes de setiembre de 1991 y se terminó en el mes de octubre de 1993.

6.2. Materiales y Reactivos.

6.2.1. Materiales.

a) Materiales de vidrio:

Fueron los convencionales para este tipo de trabajo: fiolas, pipetas, buretas, matraces, vasos, embudos, probetas, tubos de ensayos con tapa, refrigerante, vaguetas, etc.

b) Para la dosimetría:

Se utilizaron ampollas de vidrio con sus respectivas capuchas.

Dispensadores de vidrio de 20 ml y 5 ml.

Porta muestra de Tecknopor.

Para el empaque de las muestras se utilizó polietileno.

c) otros:

Agitadores magnéticos, Termómetros de 1-150 °C, cronómetro, piscetas, papel de filtro, gradilla, mechero bunsen, soporte universal.

6.2.2. Reactivos:

Se utilizaron los sgtes. reactivos:

- Acido Acético Glacial (CH_3COOH) para análisis.
BACKER.
- Acido clorhídrico (HCl) concentrado. MERCK.
- Acido Sulfúrico (H_2SO_4) concentrado. MERCK.
- Almidón soluble ($\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$)_n. MERCK.
- Carbonato de Sodio (Na_2CO_3).
- Cloruro de Sodio (ClNa).
- Diclorhidrato de N-1 Naftilendiamina
($\text{C}_{12}\text{H}_{18}\text{Cl}_2\text{N}_2$) MERCK.
- Dicromato de Potasio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) RIEDEL DE HAEN.

- *Ioduro de Potasio (IK). MERCK.*
- *Nitrato de potasio (KNO₃). MERCK Y PANCREAC.*
- *Nitrito de Potasio (KNO₂). RIEDEL DE HAEN.*
- *Oxalato de Amonio Monohidratado*
([(NH₄)₂C₂O₄.H₂O) MERCK.
- *Permanganato de Potasio (KMnO₄) Tritisol MERCK.*
- *Sulfanilamida (C₆H₅N₂O₂S). SIGMA.*
- *Sulfato ferroso Amoniacal Hexahidratado.*
[Fe(NH₄)₂.(SO₄)₂.6H₂O).MERCK
- *Tiosulfato de Sodio Pentahidratado*
(Na₂S₂O₃.5H₂O)Tritisol MERCK.
- *Agua Destilada y Bidestilada.*
- *Dosímetros Perspex : Rojo.*
- *Buffer powder (pH = 4, pH = 7).*

6.3. Equipos.

- *Irradiador Gammacell 220.*
- *Espectrofotómetro PERKIN ELMER LAMBDA 2, de doble*
Haz uv/vis) y cubetas de cuarzo de 1 cm. de paso
óptico.
- *Potenciómetro Digital CORNING pH/10Ω analyser.*

- *Balanza Analítica Electrónica, Digital STANTON, Modelo 461 AN, con sensibilidad de 1×10^{-4} gr máximo disperso.*
- *Estufa Esterilizadora MEMMERT.*
- *Destilador. FISTREEEM CYDON Purificador de Agua, 8 lt/h. Destilador Simple 4 lt/h BIDESHLIELR.*
- *Congeladora.*
- *Cocinilla eléctrica.*
- *Selladora.*

6.3.1 Descripción del Irradiador Gammacell 220

El Gammacell 220 es un irradiador de Cobalto 60, manufacturado por Atomic Energy of Canada. La figs. 04 y 05 ilustran las características externas e internas respectivamente.

La unidad consiste en una fuente anular, encerrada en un casco plano, un contenedor cilíndrico y un mecanismo de

manejo para mover el contenedor hacia arriba o abajo a lo largo del eje del centro de la fuente vertical. El contenedor tiene una cámara para llevar las muestras que van a irradiarse.

El Gammacell 220 se opera a 220v, trifásico, y es controlado automáticamente mediante un reloj digital eléctrico que indica que se ha terminado la irradiación, puede ser entre 1 y 9999seg o min. También puede operarse manualmente. En la fig. N° 06 se muestra el irradiador en funcionamiento.

El Gammacell 220, se ha diseñado para operar con una exposición mínima a la radiación.(2)

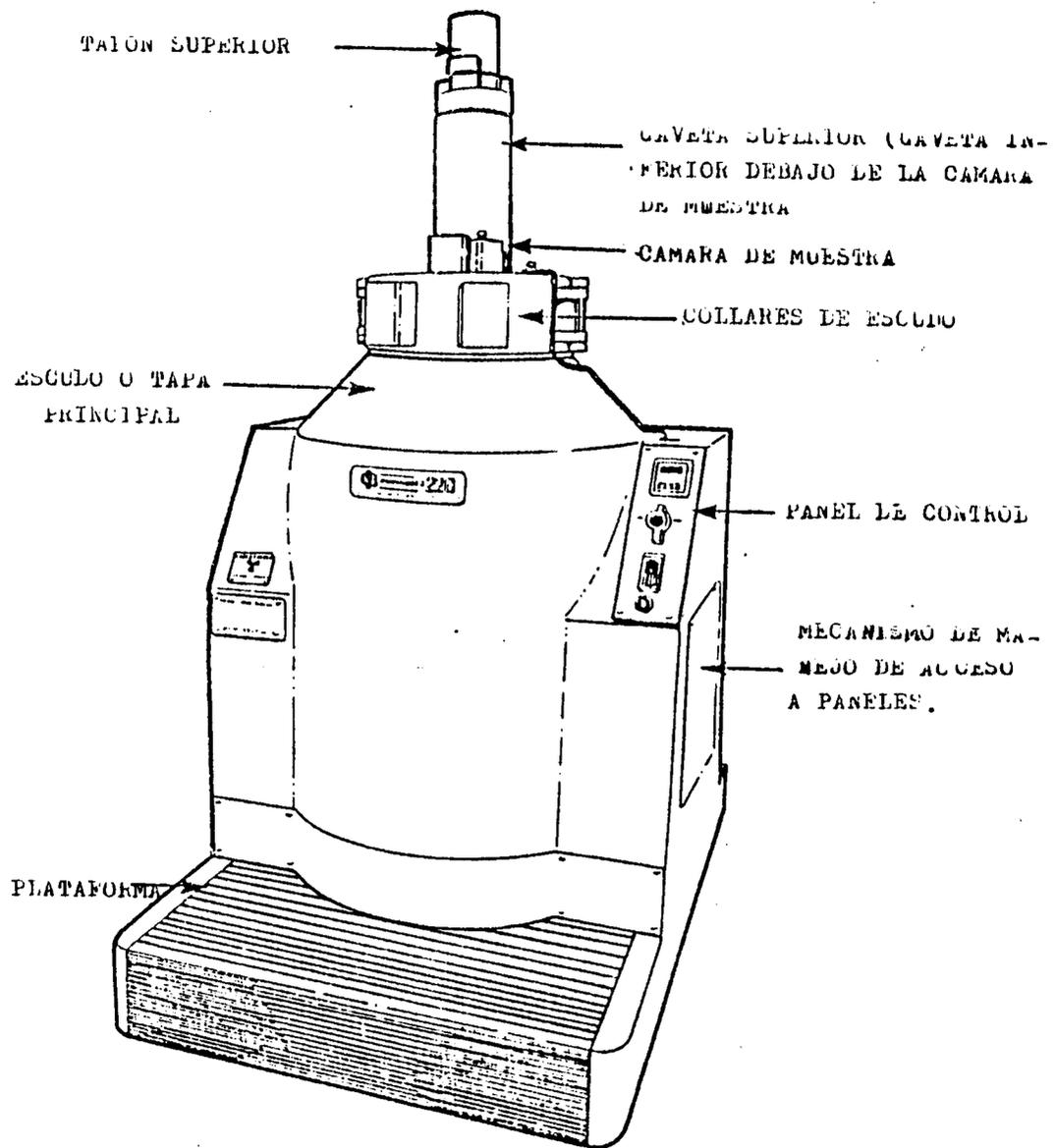


FIG.04 VISTA EXTERIOR DEL IRRADIADOR GAMBACHELLI 220

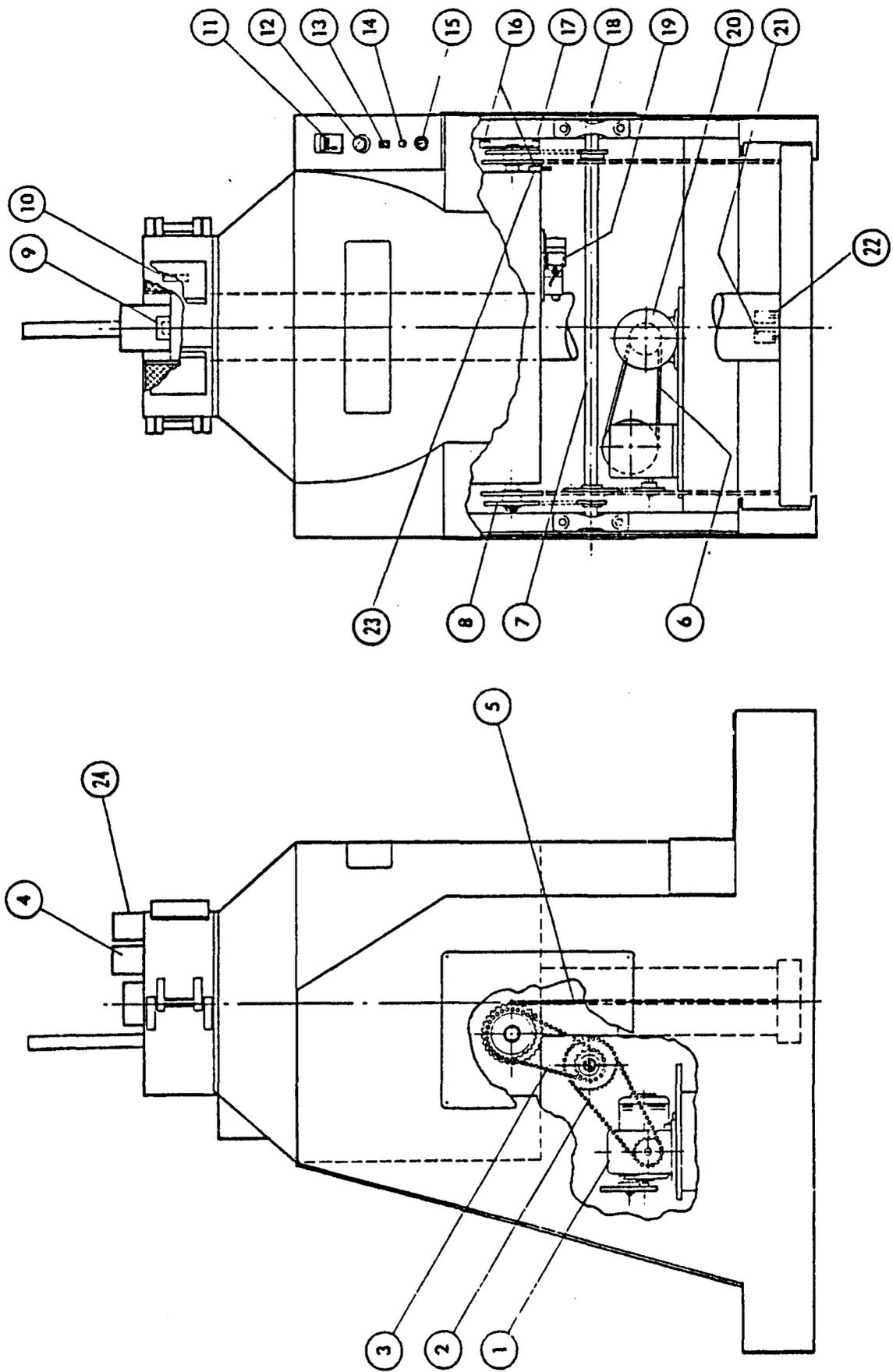


FIG. 05 VISTA INTERNA DEL IRRADIADOR GAMMACELL 220

Tabla N° 03: Localización de los componentes, en el interior del Irradiador. (2)

1. *Reductor de engranaje de gusano.*
2. *Cadena de salida del reductor.*
3. *Cadena.*
4. *Collar de micronterruptores.*
5. *Cadena de espiral.*
6. *Faja V.*
7. *Eje*
8. *Diente de rueda superior.*
9. *Tapón de microinterruptores.*
10. *Cerrojo de puerta.*
11. *Reloj digital.*
12. *Interruptor del selector rotatorio.*
13. *Interruptor de balanceo.*
14. *Fusil 3 amp-F1*
15. *Llave de interruptor.*
16. *Microinterruptores de cabotaje superior.*
17. *Microinterruptores de cabotaje inferior.*
18. *Soporte sellado.*
19. *Solenoide y martillo hidráulico.*
20. *Mota de manejo.*
21. *Reloj digital de microinterruptores.*
22. *Cerrojo de puerta de microinterruptores.*
23. *Cerrojo de puerta.*

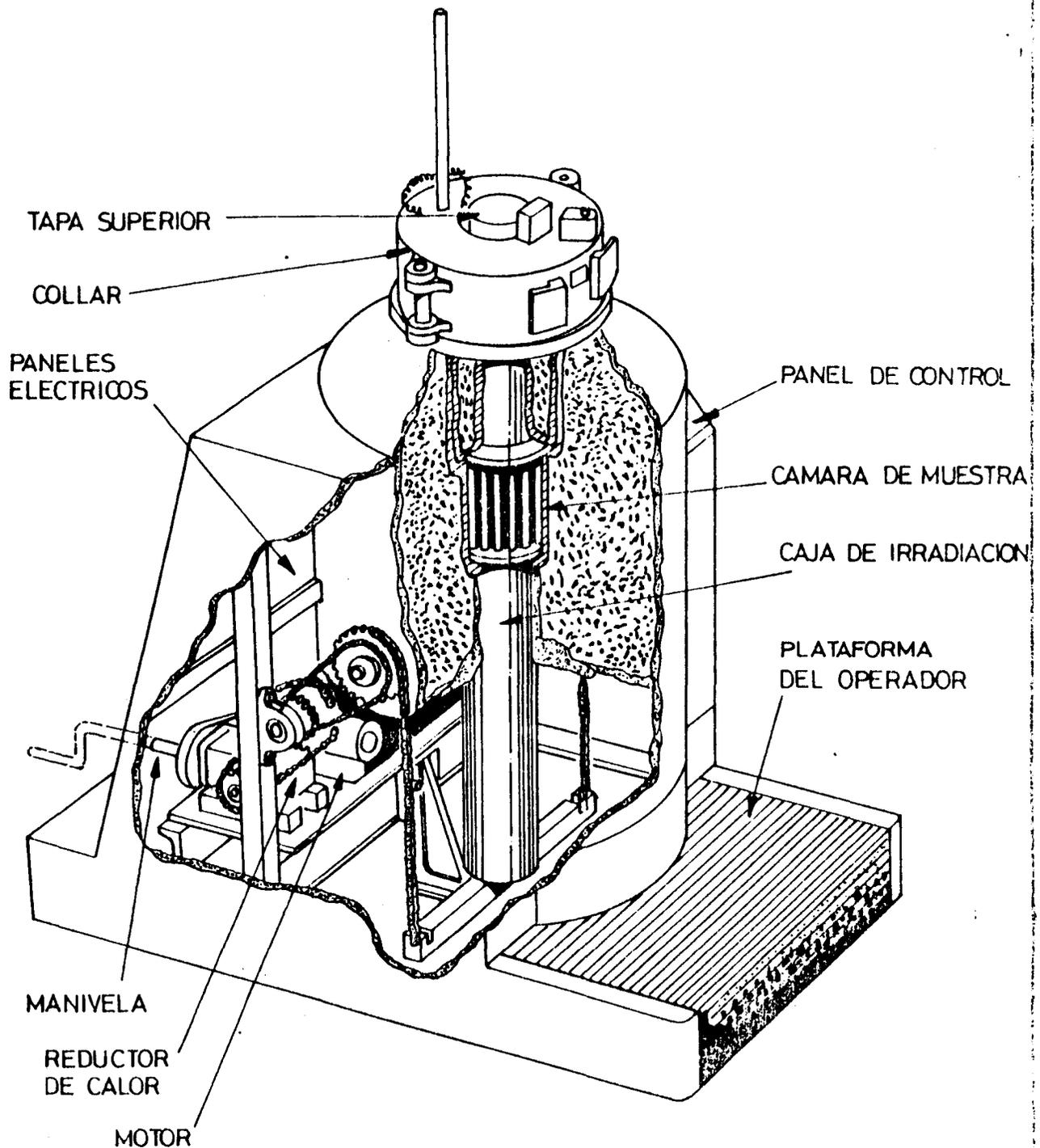
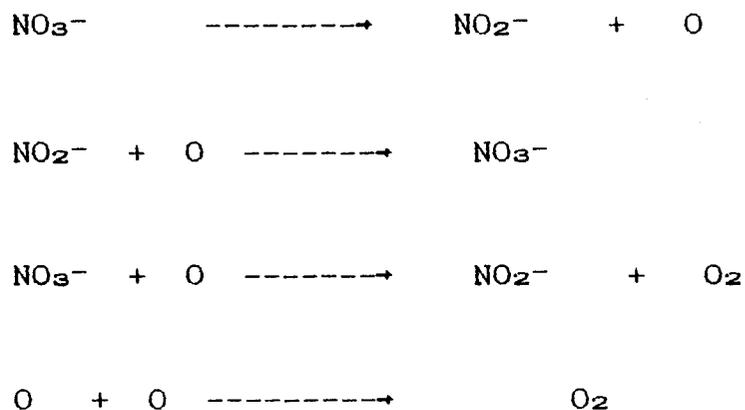


FIG 06: GAMMACELL 220
EN POSICION DE IRRADIACION

6.4. Principio y Proceso Experimental.

6.4.1. Principios.

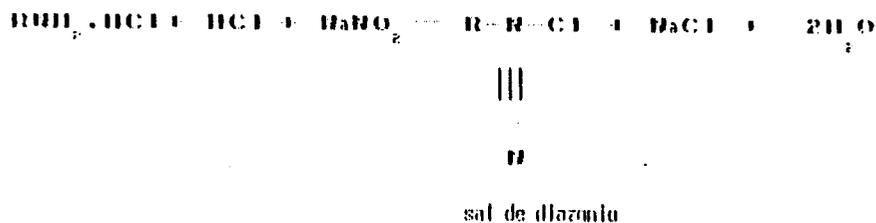
Los cristales de nitrato (NO_3^-), al ser irradiados sufren una reducción radiolítica, encontrándose una correlación entre dosis entregada al sólido y producción de nitrito (NO_2^-), cuyo mecanismo de reacción es el siguiente:



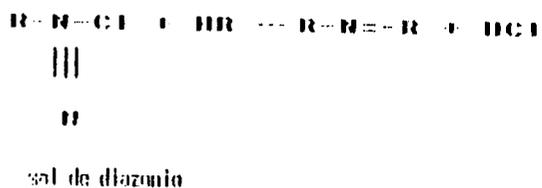
La determinación del NO_2^- producido, es por valoración colorimétrica después de intervenir en una reacción de diazoación y posterior de copulación en determinadas condiciones de estandarización.(7)

Reacción de coloración Diazoación - Copulación.

LA DIAZOACION.



LA COPULACION.



donde *R* representa un radical arilo y *R'* representa un radical alquilo o arilo que puede ser copulado.

Casi todas las aminas primarias aromáticas pueden formar un compuesto diazoico. La utilidad de una amina en la diazoación depende principalmente de las propiedades del colorante que se puede preparar con ella. La diazoación se efectúa tratando una arilamina primaria con ácido nitroso para formar una sal de diazonio. (20)

Los compuestos de diazonio son relativamente inestables y muy reactivos. Se descomponen en estado seco, algunas veces con gran violencia. Su estabilidad es mayor a baja temperatura y en presencia de exceso de un ácido orgánico. Por consiguiente, la mayoría de sales de diazonio se preparan a temperaturas de 0 á 10° C, en un ácido inorgánico fuerte e inmediatamente se copulan, sin separarlas de la solución.

Además, muchos compuestos diazoicos se descomponen a la luz, el calor y deben ser protegidos contra la luz solar directa. (21)

Todos los componentes de la copulación usados para los colorantes azoicos poseen un carácter común: esto es, un átomo activo de hidrógeno ligado a un átomo de carbono. (20)

6.4.2. Procedimiento Experimental.

Recomendaciones previas a la dosimetría:

1. Preparación del material de vidrio y ambiente.
 - A. Lavado del material de vidrio. Esta se realiza con mezcla sulfocrómica. El enjuague debe hacerse con agua destilada. (15)

B. El secado del material de vidrio debe ser hecho en la estufa esterilizadora a una temperatura de 200° C por 3 horas. (15)

C. Se deben separar los materiales de vidrio de cualquier otro tipo de material y los productos químicos orgánicos deben ser manipulados correctamente, así como tener separado un ambiente para la destilación y para el almacén de los materiales de dosimetría. (15)

2. Con respecto al agua:

A. El agua destilada simple o bidestilada debe provenir de un destilador de vidrio.

B. El agua tridestilada debe ser hecha: mezclando el agua destilada con dicromato de potasio al 0.1%, luego mezclar el agua bidestilada con permanganato de potasio al 0.1% y luego destilarlo.

C. El agua tratada se debe recolectar en un envase de vidrio preparado recientemente para su uso en la preparación de soluciones, máximo 24 horas antes. (15)

3. Con respecto a los dosímetros y las muestras a irradiarse.

La preparación y el sellado de los dosímetros debe realizarse en forma correcta con cinta antiadhesiva.

En cuanto a los productos a irradiarse este debe estar limpio y envasado con bolsas de polietileno debidamente cerradas y selladas.(15)

Procedimiento de la dosimetría nitrato/nitrito de potasio para altas dosis.

1. Se envasa el NO_3K seco (0.5 gr en tubos de ensayo de vidrio con tapa que fueron previamente lavados y secados.
2. Se sellan con cinta adhesiva.
3. Luego se procede a irradiar.
4. Para determinar el nitrito (NO_2^-) producido se disuelve en 50 ml de agua contenida en un matraz de 100 ml y se agregan 20 ml de la solución colorante. Otros métodos de determinación del nitrito se presentan en el anexo N°04).

5. Transcurrido exactamente 10 minutos se envasa y se lee la absorbancia de la solución a 546 nm.
6. La coloración se basa en la formación de una sal de diazonio y posterior copulación con el diclorhidrato de n-1 naftilendiamina en medio ácido.

Preparación de la solución colorante.

Solución A :

2 gr de sulfanilamida se disuelven en 1 lt de solución de ácido acético 30%.

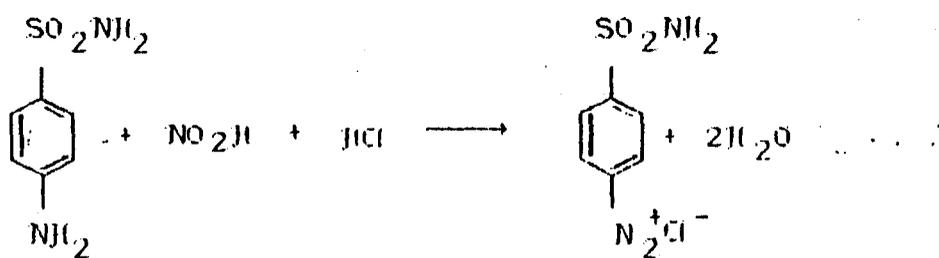
Solución B :

1 gr de diclorhidrato de n-1 naftilendiamina, se disuelven en 1 lt de ácido acético al 30%.

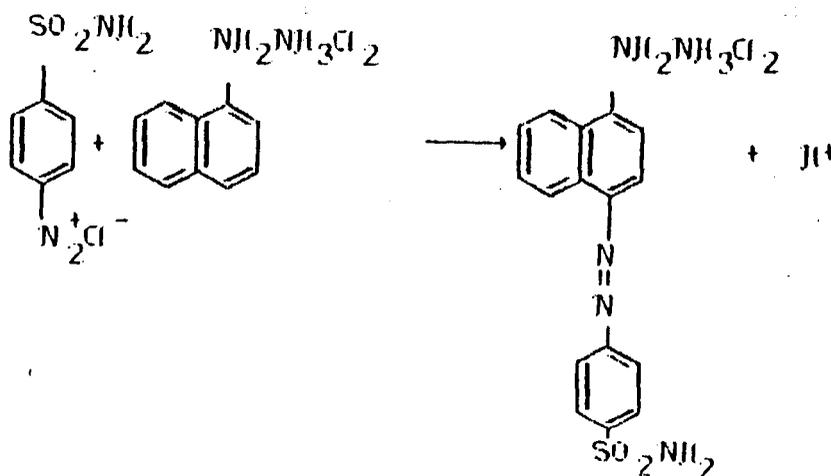
En el momento de llevar a cabo la colorimetría se mezclan A y B (5:1).

Las soluciones A y B se conservan cerradas en oscuridad a bajas temperaturas; en estas condiciones su duración es de dos meses.

La reacción se detalla a continuación:



Formación de la sal de diazonio (cloruro de para sulfonamida benceno diazonio).



Copulación de la sal de diazonio y el diclorhidrato de N-1 Naftilendiamina.

6.5. Ensayos en los laboratorios.

6.5.1. Distribución de dosis.

En productos empacados las medidas de distribución de dosis inicial sirve para identificar las localizaciones de los puntos de dosis máxima y mínima. El producto total, que es empleado e irradiado homogéneamente en una planta de Cobalto 60 no muestra gradientes de dosis abruptas. En una distribución de dosis el producto es independiente de la relación de uniformidad ($DMAX/DMIN$), siendo ésta ≤ 2 .

Estas medidas se llevan a cabo antes de que se inicie el proceso de irradiación del producto. En el caso de productos no empacados las dosis son difíciles o imposibles de mapear.

La distribución de dosis resultante, se determina por la geometría de la fuente-producto, densidad y tiempo de exposición.

La mejor alternativa, puede ser mezclar dosímetros en el producto, mostrando que el proceso se lleva a cabo dentro de límites especificados por un análisis estadístico de las medidas de dosis. (5)

6.5.2. Determinación del Coeficiente de Extinción Molar.

Esta etapa se basa en el tratamiento cuantitativo de la absorción de la energía radiante por la materia dependiendo del principio general conocido como ley de Beer o ley de Lambert Beer.

La enunciación cuantitativa de esta relación es la ley de Beer: Incrementos sucesivos en el número de moléculas idénticas absorbentes que se encuentran en la trayectoria de un haz de radiación monocromática, absorben fracciones iguales de la energía radiante que las atravieza.(11).

En términos de cálculos:

$$\frac{dP}{dn} = -KP \quad \dots (17)$$

en donde dP es la potencia absorbida en el nivel P de potencia por un incremento dn del número de moléculas absorbentes; K es la constante de proporcionalidad.

Integrando la expresión (19) tenemos:

$$\ln \frac{P}{P_0} = -K'' bc \quad \dots(18)$$

La constante K'' se expresa ahora en unidades de masa por unidad de área transversal. En otras palabras, para una área transversal dada la absorción es proporcional a la cantidad de material absorbente en la trayectoria. Por conveniencia reemplazaremos a K'' por la constante E , que incluye el factor de conversión de los logaritmos naturales a los comunes.

$$\log \frac{P_0}{P} = A = E.b.c. \quad \dots(19)$$

La cantidad $\log (P_0/P)$ es denominada absorbancia (A).

Por ello, el enunciado más corto de la ley de Beer es entonces:

$$A = E.b.c \quad \dots(20)$$

donde:

E = absortividad o coeficiente de extinción molar.

(lt/molcm)

b = camino óptico de la luz incidente dentro del espectrofotómetro (cm).

c = concentración del ión formado (mol/lt)

A = absorbancia.

Al ser graficada la absorbancia (A) versus la concentración (c) siendo $b=1$ cm resulta una línea recta donde E es igual a la pendiente. (11)

Esta línea podrá usarse como calibración, si se establece condiciones específicas.

El procedimiento experimental, es el siguiente:

Se utiliza una solución de nitrito de potasio (NO_2K) aprox. 0.1N, que se valora por la técnica Kolthoff, método Lunge. (22)

Para la determinación del coeficiente molar, se toman fioles de 100 ml., de la solución de nitrito valorada 0.1N se prepara una serie de soluciones de concentración decreciente, se agrega a cada una 0.5 grs. de nitrato de potasio sin irradiar y se disuelve en 50 ml. de agua destilada, se controla que el medio sea ácido, luego se añade 20 ml. de la solución colorante.

Luego de 10 minutos en reposo, se enrasa con agua destilada, se tapa y se agita.

Finalmente, se leen las respectivas absorbancias de cada muestra a 546nm.

Estos datos de absorbancia se grafican con sus respectivas concentraciones, se calcula la pendiente, cuyo valor obtenido es el coeficiente de extinción molar. Este ensayo debe realizarse periódicamente.

6.5.3. Determinación de la Curva Concentración vs. Dosis Absorbida en la Irradiación en aire.

Basándonos en el procedimiento descrito en (6.4) y el coeficiente de extinción molar hallado experimentalmente, se construye la curva concentración de nitrito producido por la irradiación en aire de 0.5 grs. de nitrato de potasio versus la dosis absorbida. Esta curva se denominará patrón o estándar, utilizándose para calcular la dosis absorbida para un determinado producto dentro del rango de 1-50 kGy.

Los tiempos referenciales serán los calculados por la extrapolación, de la tasa de dosis experimental del

dosímetro primario Fricke y/o la tasa de dosis teórica del irradiador Gammacell.

Así los tiempos de irradiación corresponden a dosis. Estas dosis a su vez se grafican versus concentraciones de nitrito producidos.

Las concentraciones se hallan mediante la siguiente relación. Despejando la ecuación (4):

$$C = \frac{A}{Exb} \quad \dots\dots(21)$$

Pero de acuerdo a las diluciones de 0.5 gr. de NO_3K irradiado en 100 ml., se hace la siguiente corrección:

$$C = \frac{A}{Exbx10} \quad \dots\dots(22)$$

donde:

C = moles de NO_2^- producido en 0.5 gr. de NO_3K .

6.5.4. Verificación de la Dosis Absorbida en la Irradiación por Productos.

Obtenida la curva anterior se procede a la verificación de la dosis absorbida por un producto alimenticio o médico.

Esta etapa, define la utilidad del sistema como secundario, verificando la dosis recibida, cuyo valor es comparado con la dosis dada por el dosímetro Fricke.

Como base de cálculo se tiene la ecuación de recta obtenida de la curva patrón:

$$C = D \times B + A \quad \dots\dots\dots(23)$$

donde:

C = concentración de NO₂⁻ producido /0.5 gr. de NO₃K.

D = dosis absorbida.

B = pendiente de la recta patrón.

A = constante.

Despejando D:

$$D = \frac{C - A}{B} \quad \dots\dots\dots(24)$$

Con la ecuación (24) se podrá obtener la *dosis absorbida* en una determinada concentración.

Estos valores dependerán de:

1. La distribución de dosis (ver 6.5.1)
2. La densidad de producto.
3. El tiempo de irradiación.

Finalmente se compara, si la *dosis absorbida* es la recibida como lo predijo el dosímetro primario Fricke.

6.5.5. Estabilidad del dosímetro en la post-irradiación.

Este estudio se basa en demostrar si el dosímetro nitrato/nitrito de potasio una vez utilizado puede ser leído luego de transcurrir un periodo de tiempo, sin mostrar alteraciones en sus respuestas.

6.5.6. Efecto del pH sobre la reacción de coloración.

Este efecto se podrá demostrar mediante la curva pH versus absorbancia. La curva se construye a partir de muestras de solución de nitrito de potasio (NO_2K), de

concentración constante, a las cuales se les agrega diferentes volúmenes de ácido clorhídrico en solución en forma creciente. Se obtiene así diferentes valores de pH, luego cada muestra se hace reaccionar con el colorante para leer las absorbancias correspondientes.

Una vez construida la curva se podrá apreciar el rango donde el pH es constante, finalmente obtener el volumen óptimo necesario de ácido para lograr los ensayos de coeficiente de extinción molar y las determinaciones de las dosis absorbidas en aire y producto.

VII. RESULTADOS Y DISCUSION.

7.1. Resultados obtenidos.

Los ensayos en el laboratorio han sido diseñados objetivamente de tal modo se ha logrado determinar la exactitud y precisión del sistema dosimétrico nitrato/nitrito de potasio para altas dosis de radiación gamma. Para lograr ésta precisión ha sido necesario minimizar el error experimental (ver anexo N° 02); calibrando permanentemente los equipos de instrumentación, como también verificando constantemente el decaimiento de la tasa de dosis del irradiador Gammacell 220 con el dosímetro primario Fricke.

Este capítulo pretende demostrar que los datos reportados por los ensayos: coeficiente de extinción molar, curva estandarizada "dosis absorbida versus concentración", verificación de dosis y efecto de post irradiación, han sido analizados estrictamente bajo métodos estadísticos (ver anexo N° 02) que cumplieran los siguientes objetivos:

- A. Juzgar la validez de las medidas, mediante el test t
(3). Resultaron todas ellas válidas.

- B. Elegir el modelo estadístico que se ajustará mejor a los datos de los ensayos del coeficiente de extinción molar y curva estandarizada dosis absorbida vs. concentración de nitrito producido. Los cuales presentaron coeficientes de determinación cercanos a 1, (4,27) para el modelo de regresión lineal simple en ambos casos.
- C. A todos los ensayos de los grupos anteriormente indicados se les estimó las magnitudes de los parámetros estadísticos. Así como se calculó el coeficiente de determinación, valor que permitió elegir el ensayo óptimo de laboratorio.(27)
- D. Se evaluó el intervalo de confianza para la función que se investiga.(para los grupos de ensayos indicados). (27)
- E. Se evaluó mediante los test significativos la validez de los modelos estadísticos seleccionados, (3,27)(para el grupo de ensayos indicados)
- F. En los ensayos de laboratorio óptimos se evaluó el comportamiento de los datos ajustados con los observados para lograr calcular su dispersión.

De ésta forma se evaluó las estimaciones de los errores accidentales, de los parámetros de una dependencia funcional y las correspondientes magnitudes. (27)

- G. Presentación de la curva estandarizada óptima dosis absorbida versus concentración de nitrito de potasio.
- H. Uso de la curva estandarizada en la verificación de la dosis absorbida en el producto. (Para un fácil manejo del dosímetro ver anexo N°03)

7.1.1. pH OPTIMO

Para lograr la determinación del coeficiente de extinción molar y la curva estándar de dosis absorbida versus concentración, fue necesario hallar el pH constante adecuado, la acidez del medio estuvo dada por el ácido clorhídrico (HCl 1N). Para realizar este ensayo se trabajó con una concentración constante de NO_2^- igual a $(2 \times 10^{-6})\text{M}$. A continuación en la tabla N°04 y gráfico N°01 mostramos el ensayo óptimo.

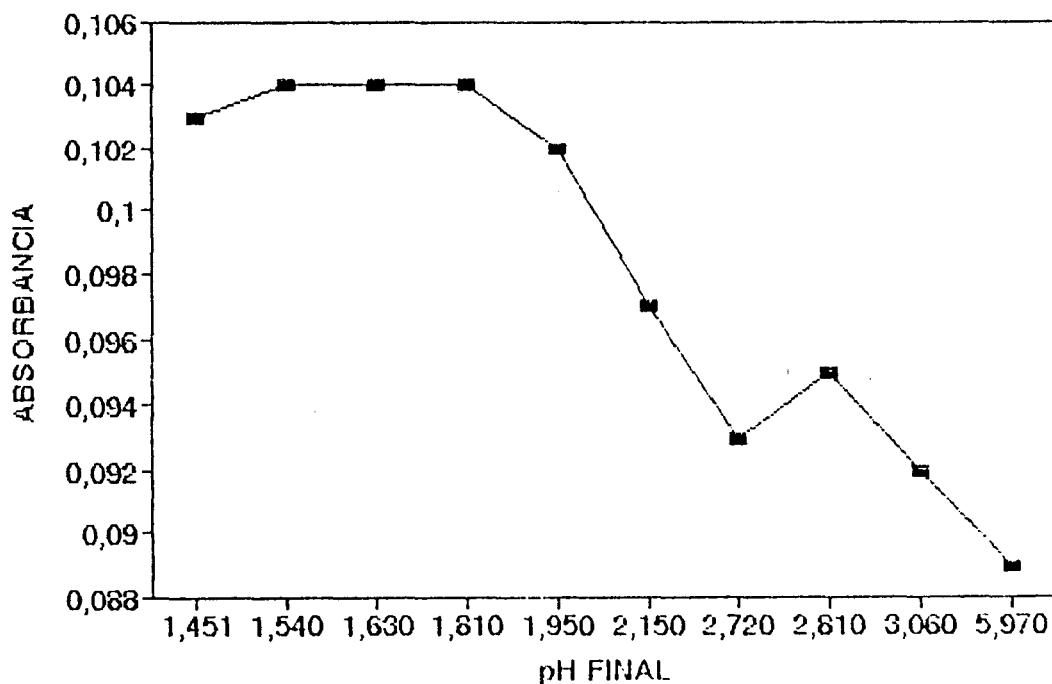
TABLA No.04: DETERMINACION DEL pH OPTIMO

CONCENTRACION DE NITRITO DE POTASIO: 2.000E-03 mol/ltr.

No.DE MUESTRA	pH INICIAL	VOLUMEN AGREGADO DE HCl 1 N	pH FINAL	ABSORBANCIA
1	5.63	1 gota	3.06	0.092
2	5.68	2 gotas	2.81	0.095
3	5.81	0.1 ml	2.72	0.093
4	5.92	0.4 ml	2.15	0.097
5	5.97	0.7 ml	1.95	0.102
6	5.63	1.0 ml	1.81	0.104
7	5.63	1.5 ml	1.63	0.104
8	5.95	2.0 ml	1.54	0.104
9	5.97	2.5 ml	1.45	0.103
10	5.97	-	5.97	0.089

A continuación en el gráfico No.01 se muestra la influencia del pH en el dosímetro

GRAFICO No.01: CURVA DE EFECTO DEL pH EN LA REACCION DE COLORACION



Como se observa en el gráfico N° 01, se logra un pH constante en el intervalo de 2.15 á 1.45, siendo preferible trabajar en el rango de 1.81 á 1.54, al adicionársele de 1 á 2 ml de HCl. 1N. Por ello, en los ensayos sobre coeficientes de extinción molar e irradiaciones en aire y en producto donde se lleve a cabo la reacción de coloración se adicionará 1ml. del ácido para mantener una acidez constante y adecuada para la diazoación y copulación del nitrito.

7.1.2. Coeficiente de Extinción Molar.

Para la determinación del Coeficiente de Extinción Molar se valoró la solución de nitrito de potasio por el método de LUNGE (dos métodos). En el laboratorio se hicieron seis ensayos los cuales trabajaron con las siguientes concentraciones de nitrito de potasio.

Primer y Segundo ensayo: 0.1018 equiv/ltr

Del Tercer al Quinto ensayo : 0.10017 equiv/ltr.

Sexto ensayo (tritisol): 0.10300 equiv/ltr.

TABLA No.05: PRIMER ENSAYO DEL COEFICIENTE DE EXTINCIÓN MOLAR

CONCENTRACION (mol-gr/l) X	ABSORBANCIA Y
2.545E-06	0.122
5.09E-06	0.217
1.018E-05	0.436
1.527E-05	0.647
2.036E-05	0.848
2.545E-05	1.069

ANÁLISIS DE REGRESIÓN Y CORRELACION

ESTIMACION DE LOS PARAMETROS ESTADISTICOS

Coefficiente de determinación (r^2)	0.99981
Coefficiente de regresión (pendiente B)	41367.17173
Ordenada al Origen (constante A)	0.01256
Desviación estándar de estimación (S_e)	0.0564
Número de observaciones (n)	6.00
Grados de libertad (n-2)	4.00

MODELO ESTADISTICO PARA EL ENSAYO:

$$\text{Absorbancia} = -0.01256 + (41367.17173 \times \text{Concentración})$$

TABLA No.06. SEGUNDO ENSAYO DEL COEFICIENTE DE EXTINCION MOLAR

CONCENTRACION (mol-gr/l) X	ABSORBANCIA Y
2.545E-07	0.010
5.09E-07	0.021
1.018E-06	0.042
1.527E-06	0.061
2.036E-06	0.084
2.545E-06	0.104

ANALISIS DE REGRESION Y CORRELACION

ESTIMACION DE LOS PARAMETROS ESTADISTICOS

Coefficiente de determinación (r^2)	0.99956
Coefficiente de regresión (pendiente B)	40972.09140
Ordenada al Origen (constante A)	-0.00021
Desviación estándar de estimación(S_e)	0.00085
Número de observaciones (n)	6.00
Grados de libertad (n-2)	4.00

MODELO ESTADISTICO PARA EL ENSAYO:

$$\text{Absorbancia} = -0.00021 + (40972.09140 \times \text{Concentración})$$

TABLA No.07: TERCER ENSAYO DEL COEFICIENTE DE EXTINCION MOLAR

CONCENTRACION (mol-gr/l) X	ABSORBANCIA Y
2.504E-07	0.009
5.008E-07	0.019
7.513E-07	0.029
1.002E-06	0.039
1.252E-06	0.060
1.503E-06	0.066
1.753E-06	0.073
2.003E-06	0.085
2.254E-06	0.088
2.504E-06	0.114
2.755E-06	0.124
3.005E-06	0.131
3.255E-06	0.138

ANALISIS DE REGRESION Y CORRELACION

ESTIMACION DE LOS PARAMETROS ESTADISTICOS

Coeficiente de determinación (r^2)	0.99008
Coeficiente de regresión (pendiente B)	44192.42129
Ordenada al Origen (constante A)	-0.00247
Desviación estándar de estimación(S_e)	0.00450
Número de observaciones (n)	13.00
Grados de libertad (n-2)	11.00

MODELO ESTADISTICO PARA EL ENSAYO:

$$\text{Absorbancia} = -0.00247 + (44192.42129 \times \text{Concentración})$$

TABLA No 08: CUARTO ENSAYO DEL COEFICIENTE DE EXTINCION MOLAR

CONCENTRACION (mol-gr/l) X	ABSORBANCIA Y
2.504E-07	0.012
5.008E-07	0.024
1.002E-06	0.050
1.544E-06	0.063
2.003E-06	0.091

ANALISIS DE REGRESION Y CORRELACION

ESTIMACION DE LOS PARAMETROS ESTADISTICOS

Coefficiente de determinación (r^2)	0.98519
Coefficiente de regresión (pendiente B)	44171.1076
Ordenada al Origen (constante A)	0.002117
Desviación estándar de estimación (S_e)	0.00442
Número de observaciones (n)	5.00
Grados de libertad (n-2)	3.00

MODELO ESTADISTICO PARA EL ENSAYO:

$\text{Absorbancia} = 0.002117 + (44171.1076 \times \text{Concentración})$
--

TABLA No.09: QUINTO DEL COEFICIENTE
DE EXTINCION MOLAR

CONCENTRACION (mol-gr/l) X	ABSORBANCIA Y
5.008E-07	0.024
1.002E-06	0.044
1.503E-06	0.064
2.003E-06	0.085
2.504E-06	0.108

*ANALISIS DE REGRESION Y CORRELACION
ESTIMACION DE LOS PARAMETROS ESTADISTICOS*

Coefficiente de determinación (r^2)	0.99884
Coefficiente de regresión (pendiente B)	41863.11812
Ordenada al Origen (constante A)	0.00210
Desviación estándar de estimación(S_e)	0.00130
Número de observaciones (n)	5.00
Grados de libertad (n-2)	3.00

MODELO ESTADISTICO PARA EL ENSAYO:

$$\text{Absorbancia} = 0.00210 + (41863.11812 \times \text{Concentración})$$

TABLA No. 10: SEXTO ENSAYO DEL COEFICIENTE
DE EXTINCION MOLAR
(METODO TRITISOL)

CONCENTRACION (mol-gr/l) X	ABSORBANCIA Y
2.575E-07	0.004
5.15E-07	0.018
7.725E-07	0.029
1.03E-06	0.042
1.288E-06	0.054
1.545E-06	0.064

ANALISIS DE REGRESION Y CORRELACION

ESTIMACION DE LOS PARAMETROS ESTADISTICOS

Coefficiente de determinación (r^2)	0.99810
Coefficiente de regresión (pendiente B)	46712.9
Ordenada al Origen (constante A)	-0.0069
Desviación estándar de estimación (S_e)	0.0011
Número de observaciones (n)	6.00
Grados de libertad (n-2)	4.00

MODELO ESTADISTICO PARA EL ENSAYO:

$$\text{Absorbancia} = - 0.00693 + (46712.9 \times \text{Concentración})$$

Grafico No. 2

COEFICIENTE DE EXTINCION MOLAR CUARTO ENSAYO

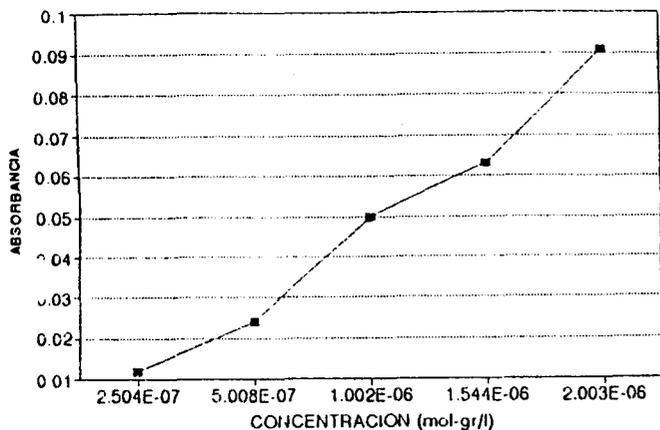


Grafico No. 3

COEFICIENTE DE EXTINCION MOLAR QUINTO ENSAYO

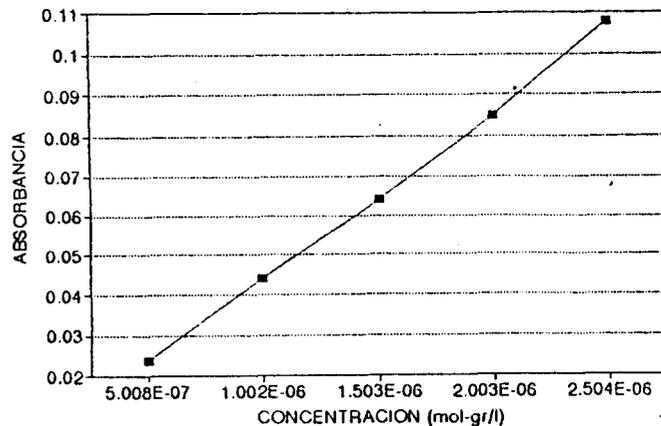
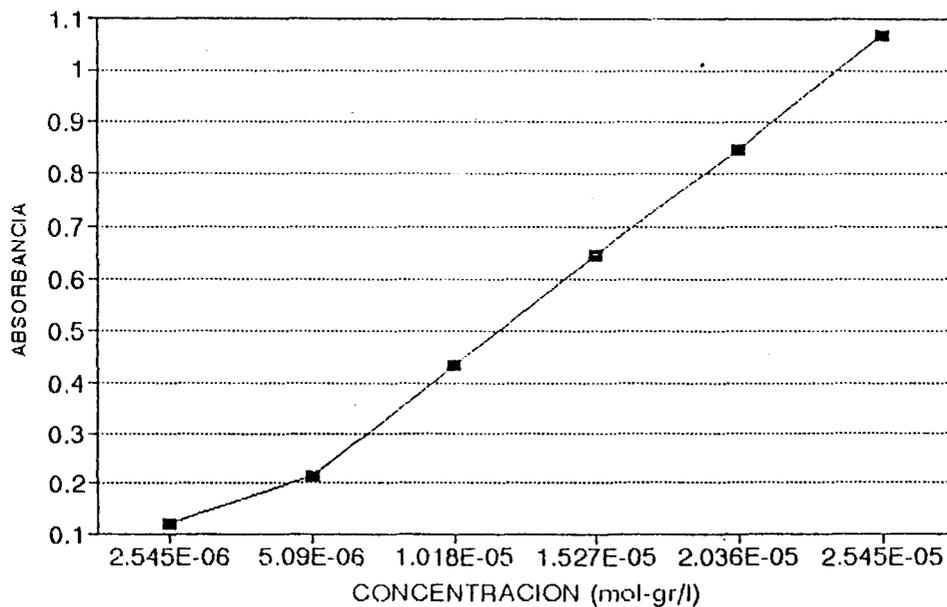


Grafico No. 4

CURVA DE LAMBERT BEER ENSAYO OPTIMO DEL COEF. DE EXT. MOLAR



Síntesis de los ensayos de Coeficiente de Extinción Molar:

1. *De los seis ensayos de laboratorio se eligió óptimo al primer ensayo del coeficiente de extinción molar (ver tabla 5), por presentar un coeficiente de determinación igual a 0.99981. Este parámetro estadístico nos permitió medir la precisión del modelo estadístico permite, a su vez se obtiene el coeficiente de correlación que mide la mutua relación existente entre las variables concentración versus absorbancia.*

Modelo Estadístico del ensayo óptimo:

$$\text{Absorbancia} = 0.01256 + (41367.172 \times \text{Concentración})$$

Análisis estadístico del ensayo óptimo:

Al ensayo experimental elegido, se evaluó, las desviaciones de sus parámetros estadísticos y sus intervalos de confianza de éstos valores, con un nivel de significación del 5%.

Desviaciones:

<i>Desviación estándar (S_e)</i>	0.0564
<i>Desviación estándar de la constante (S_a)</i>	1.256E-05
<i>Desviación de la pendiente (S_b)</i>	284.14442

Intervalos de confianza:

Grados de libertad = 4 Confianza o seguridad=95%

$$"t"(4,95\%) = 2.776$$

Para el coeficiente de regresión (Constante A)

$$0.01252 \leq 0.01256 \leq 0.01259$$

Para el coeficiente de regresión (Pendiente B)

$$40,578.38681 \leq 41,367.17173 \leq 42,155.95665$$

Los intervalos de confianza demuestran que:

1. *Se deberá utilizar con una confianza del 95% el coeficiente de extinción molar (B) y la constante "A", dentro de los intervalos mostrados, donde están los verdaderos valores de los parámetros A y B.*

Pruebas estadísticas:

Objetivo: Comprobar la validez del modelo estadístico

$$(absorbancia = A + (B \times concentración))$$

Caso I: Comprobar que la ordenada al origen (constante A) es mayor o igual a cero.

$$H_0 : A_0 = 0$$

$$H_1 : A_0 > 0$$

$$t_{\text{calc.}} = \frac{A - A_0}{S_a} = 1000$$

$$t_{\text{tablas}(4,95\%)} = 2.776$$

El t calculado es > que el t tabulado, llegando a la conclusión que la hipótesis nula sea rechazada, aceptándose la hipótesis contraria que dice que la constante es mayor que cero; éste valor existe de la relación de los propios datos. No es ningún error experimental sino es el ensayo en blanco del análisis colorimétrico. (3)

Caso II: Comprobar que el coeficiente de regresión (pendiente B) es igual o mayor a cero.

$$H_0 : B_0 = 0$$

$$H_1 : B_0 > 0$$

$$t_{\text{calcul.}} = \frac{B - B_0}{S_b} = 145.585$$

$$t = 2.776$$

tablas(4,95%)

t calculado es > que *t* tabulado; entonces la hipótesis de que la concentración de nitrito no influye en la absorbancia es rechazada a un nivel de significación del 5 %, aceptándose la hipótesis alternativa que el coeficiente de extinción molar es mayor que cero y demostrándose que si existe relación entre las variables. En la tabla N°11 presentamos las dispersiones e intervalos de confianza del parámetro estadístico \bar{Y} .

TABLA No. 11: ESTIMACIONES, DESVIACIONES INDIVIDUALES E INTERVALOS DE CONFIANZA DEL PARAMETRO ESTADISTICO \hat{Y} -ENSAYO OPTIMO DEL COEFICIENTE DE EXTINCION MOLAR

CONCENTRACION (mol-gr/l)	ABSORBANCIA EXPERIMENTAL	ABSORBANCIA ESTIMADA	DESV. DE Y INDIVIDUAL S_y	INTERV. DE CONFIANZA DE \hat{Y}	
				LIMITE MAXIMO L	LIMITE MINIMO U
2.545E-06	0.122	0.118	6.106E-03	0.13479	0.10088
5.090E-06	0.217	0.223	6.143E-03	0.24017	0.20606
1.018E-05	0.436	0.434	6.283E-03	0.45112	0.41623
1.527E-05	0.647	0.644	6.506E-03	0.66229	0.62617
2.036E-05	0.848	0.855	6.804E-03	0.87368	0.83590
2.545E-05	1.069	1.065	7.167E-03	1.08525	1.04545

Los datos observados y ajustados de este ensayo se muestran en el gráfico No. 04.

1. El presente análisis ha estimado los límites de confianza de la pendiente, constante y de la variable dependiente "y". El ensayo óptimo tuvo una pendiente igual a $41,367.17173 \text{ ltr.mol}^{-1}\text{.cm}^{-1}$, cuyo valor ha medido el cambio de absorbancia por unidad de cambio en la concentración y la ordenada o constante 0.01256 midió el ensayo en blanco. Ver gráfico N° 04.
2. Los valores de confianza nos podrán permitir tener una idea del rango de incertidumbre del parámetro estadístico que se investiga. Las incertidumbres mínimas y máximas están dadas por los errores estadísticos. Estos valores son calculados por el producto de las desviaciones estándares del parámetro en estudio y la "t de student" hallada teóricamente.

**7.1.3. Curva estandarizada de la Concentración vs. Dosis
Absorbida en la Irradiación en aire.**

En el laboratorio se han realizado nueve ensayos con irradiaciones en aire usando el dosímetro nitrato/nitrito de potasio, los cuales se presentan a continuación. De ellos se elegirá como óptimo el ensayo que tenga el coeficiente de determinación más cercano a 1.

Las concentraciones para los cálculos en los siguientes ensayos de irradiaciones en aire serán deducidas de su absorbancia leída por el espectrofotómetro, y el coeficiente de extinción molar igual a $41,367.17173 \text{ ltr.mol}^{-1}\text{.cm}^{-1}$.

Al igual que el ítem anterior, se analizará al ensayo óptimo sus parámetros estadísticos.

TABLA No.12: PRIMERA IRRADIACION EN AIRE
TASA DE DOSIS NORDION : 5.805 kGy/h

TIEMPO (min)	ABSORBANCIA DOSIMETRO	ABSORBANCIA PROMEDIO	DOSIS ABSORBIDA kGy
10.00	0.033	0.033	0.968
	0.035		
	0.032		
20.00	0.061	0.062	1.935
	0.062		
	0.064		
30.00	0.094	0.093	2.925
	0.094		
	0.092		
45.00	0.138	0.139	4.354
	0.137		
	0.141		
60.00	0.177	0.179	5.805
	0.182		
	0.179		
90.00	0.237	0.250	8.708
	0.244		
	0.269		

TABLA No.13: RESUMEN DE LA PRIMERA IRRADIACION EN AIRE.

TASA DE DOSIS NORDION: 5.805 kGy/h

ABSORBANCIA PROMEDIO	DOSIS ABSORBIDA X kGy	CONCENTRACION Y Mol/NO ₂ prod./0.5g/NO ₃
0.033	0.968	8.050E-08
0.062	1.935	1.506E-07
0.093	2.925	2.255E-07
0.139	4.354	3.350E-07
0.179	5.805	4.334E-07
0.250	8.708	6.043E-07

ANALISIS DE REGRESION Y CORRELACION

ESTIMACION DE LOS PARAMETROS ESTADISTICOS

Coefficiente de determinación (r ²)	0.99629
Coefficiente de regresión (pendiente B)	6.823E-08
Ordenada al Origen (constante A)	2.435E-08
Desviación estándar de estimación(S _e)	1.319E-08
Número de observaciones (n)	6.00
Grados de libertad (n-2)	4.00

MODELO ESTADISTICO PARA EL ENSAYO:

$$\text{Concentración} = 2.435E-08 + (6.823E-08 \times \text{Dosis})$$

TABLA No.14: SEGUNDA IRRADIACION EN AIRE

TASA DE DOSIS NORDION : 5.792 kGy/h

TIEMPO (min)	ABSORBANCIA DOSIMETRO	ABSORBANCIA PROMEDIO	DOSIS ABSORBIDA kGy
15.00	0.044	0.043	1.448
	0.041		
	0.043		
30.00	0.092	0.088	2.896
	0.088		
	0.083		
120.00	0.294	0.338	11.584
	0.361		
	0.359		
180.00	0.628	0.584	17.376
	0.561		
	0.563		
240.00	0.886	0.909	23.168
	0.973		
	0.869		

TABLA No. 15: RESUMEN DE LA SEGUNDA IRRADIACION
EN AIRE.

TASA DE DOSIS NORDION: 5.792 kGy/h

ABSORBANCIA PROMEDIO	DOSIS ABSORBIDA X kGy	CONCENTRACION Y MolNO2 prod./0.5gNO3
0.043	1.448	1.031E-07
0.088	2.896	2.119E-07
0.338	11.584	9.171E-07
0.584	17.376	1.412E-06
0.909	23.168	2.199E-06

ANALISIS DE REGRESION Y CORRELACION

ESTIMACION DE LOS PARAMETROS ESTADISTICOS

Coeficiente de determinación (r ²)	0.97914
Coeficiente de regresión (pendiente B)	9.29784E-08
Ordenada al Origen (constante A)	-1.01719E-07
Desviación estándar de estimación(S _e)	1.45644-07
Número de observaciones (n)	5.00
Grados de libertad (n-2)	3.00

MODELO ESTADISTICO PARA EL ENSAYO:

$$\text{Concentración} = - 1.01719\text{E-}07 + (9.29784\text{E-}08 \times \text{Dosis})$$

TABLA No.16: TERCERA IRRADIACION EN AIRE
TASA DE DOSIS NORDION : 5.732 kGy/h

TIEMPO (min)	ABSORBANCIA DOSIMETRO	ABSORBANCIA PROMEDIO	DOSIS ABSORBIDA kGy
15.00	0.039	0.040	1.433
	0.040		
	0.041		
30.00	0.087	0.087	2.866
	0.084		
	0.089		
45.00	0.132	0.131	4.299
	0.126		
	0.135		
60.00	0.180	0.178	5.732
	0.176		
	0.178		
75.00	0.212	0.207	7.165
	0.196		
	0.212		
120.00	0.325	0.303	11.464
	0.286		
	0.298		

TABLA No.17: RESUMEN DE LA TERCERA IRRADIACION
EN AIRE.

TASA DE DOSIS NORDION: 5.732 kGy/h

ABSORBANCIA PROMEDIO	DOSIS ABSORBIDA X kGy	CONCENTRACION Y MoINO2 prod./0.5gIIO3
0.040	1.433	9.66950E-08
0.087	2.866	2.09506E-07
0.131	4.299	3.16676E-07
0.178	5.732	4.30293E-07
0.207	7.165	4.99591E-07
0.303	11.464	7.32465E-07

ANALISIS DE REGRESION Y CORRELACION

ESTIMACION DE LOS PARAMETROS ESTADISTICOS

Coefficiente de determinación (r^2)	0.98850
Coefficiente de regresión (pendiente B)	6.30214E-08
Ordenada al Origen (constante A)	3.46839E-08
Desviación estándar de estimación(S_e)	2.70486E-08
Número de observaciones (n)	6.00
Grados de libertad (n-2)	4.00

MODELO ESTADISTICO PARA EL ENSAYO:

$$\text{Concentración} = 3.46839E-08 + (6.30214E-08 \times \text{Dosis})$$

TABLA No.18: CUARTA IRRADIACION EN AIRE

TASA DE DOSIS NORDION : 5.726 kGy/h

TIEMPO (min)	ABSORBANCIA DOSIMETRO	ABSORBANCIA PROMEDIO	DOSIS ABSORBIDA kGy
120.00	0.365	0.357	11.452
	0.348		
	0.357		
180.00	0.530	0.546	17.178
	0.553		
	0.554		
240.00	0.719	0.721	22.904
	0.723		
	0.721		
300.00	0.850	0.879	28.630
	0.902		
	0.886		
360.00	1.026	1.015	34.356
	1.004		
	1.015		
420.00	1.213	1.213	40.082
	1.179		
	1.247		

TABLA No.19: RESUMEN DE LA CUARTA IRRADIACION
EN AIRE.

TASA DE DOSIS NORDION: 5.726 kGy/h

ABSORBANCIA PROMEDIO	DOSIS ABSORBIDA X kGy	CONCENTRACION Y MolNO2 prod./0.5gHIO3
0.357	11.452	8.62197E-07
0.546	17.178	1.31908E-06
0.721	22.904	1.74293E-06
0.879	28.630	2.12568E-06
1.015	34.356	2.45364E-06
1.213	40.082	2.93228E-06

ANALISIS DE REGRESION Y CORRELACION

ESTIMACION DE LOS PARAMETROS ESTADISTICOS

Coefficiente de determinación (r ²)	0.997555
Coefficiente de regresión (pendiente B)	7.05995E-08
Ordenada al Origen (constante A)	3.33762E-08
Desviación estándar de estimación(S _e)	4.18502E-08
Número de observaciones (n)	6.00
Grados de libertad (n-2)	4.00

MODELO ESTADISTICO PARA EL ENSAYO:

$$\text{Concentración} = 3.33762E-08 + (7.05995E-08 \times \text{Dosis})$$

TABLA No. 20: QUINTA IRRADIACION EN AIRE
TASA DE DOSIS NORDION : 5.711 kGy/h

TIEMPO (min)	ABSORBANCIA DOSIMETRO	ABSORBANCIA PROMEDIO	DOSIS ABSORBIDA kGy
60.00	0.185	0.183	5.711
	0.183		
	0.181		
120.00	0.373	0.366	11.422
	0.357		
	0.369		
180.00	0.574	0.561	17.133
	0.550		
	0.560		
240.00	0.731	0.733	22.844
	0.728		
	0.741		
300.00	0.916	0.896	28.555
	0.846		
	0.927		
360.00	1.059	1.050	34.266
	1.051		
	1.040		
420.00	1.184	1.202	39.977
	1.218		
	1.203		

TABLA No.21: RESUMEN DE LA QUINTA IRRADIACION
EN AIRE.

TASA DE DOSIS NORDION: 5.711 kGy/h

ABSORBANCIA PROMEDIO	DOSIS ABSORBIDA X kGy	CONCENTRACION Y Mol/NO2 prod./0.5g/NO3
0.183	5.711	4.42380E-07
0.366	11.422	8.85565E-07
0.561	17.133	1.35695E-06
0.733	22.844	1.77274E-06
0.896	28.555	2.16677E-06
1.050	34.266	2.53824E-06
1.202	39.977	2.90488E-06

ANALISIS DE REGRESION Y CORRELACION

ESTIMACION DE LOS PARAMETROS ESTADISTICOS

Coefficiente de determinación (r^2)	0.99774
Coefficiente de regresión (pendiente B)	7.19331E-08
Ordenada al Origen (constante A)	8.069043E-08
Desviación estándar de estimación(S_e)	4.63184E-08
Número de observaciones (n)	7.00
Grados de libertad (n-2)	5.00

MODELO ESTADISTICO PARA EL ENSAYO:

$$\text{Concentración} = 8.069043E-08 + (7.19331E-08 \times \text{Dosis})$$

TABLA No.22: SEXTA IRRADIACION EN AIRE
TASA DE DOSIS NORDION : 5.689 kGy/h

TIEMPO (min)	ABSORBANCIA DOSIMETRO	ABSORBANCIA PROMEDIO	DOSIS ABSORBIDA kGy
60.00	0.184	0.186	5.689
	0.186		
	0.189		
120.00	0.365	0.366	11.378
	0.367		
	0.365		
180.00	0.537	0.543	17.067
	0.552		
	0.540		
240.00	0.709	0.710	22.758
	0.720		
	0.700		
300.00	0.912	0.907	28.445
	0.914		
	0.894		
360.00	1.047	1.088	34.134
	1.084		
	1.073		
420.00	1.261	1.233	39.823
	1.158		
	1.281		

TABLA No.23: RESUMEN DE LA SEXTA IRRADIACION
EN AIRE.

TASA DE DOSIS NORDION: 5.689 kGy/h

ABSORBANCIA PROMEDIO	DOSIS ABSORBIDA X kGy	CONCENTRACION Y MoINO2 prod./0.5gNO3
0.186	5.689	4.50438E-07
0.366	11.378	8.83954E-07
0.543	17.067	1.31264E-06
0.710	22.758	1.71553E-06
0.907	28.445	2.19175E-06
1.088	34.134	2.58178E-06
1.233	39.823	2.98143E-06

ANALISIS DE REGRESION Y CORRELACION

ESTIMACION DE LOS PARAMETROS ESTADISTICOS

Coefficiente de determinación (r^2)	0.99569
Coefficiente de regresión (pendiente B)	7.45028E-08
Ordenada al Origen (constante A)	3.56851E-08
Desviación estándar de estimación(S_e)	2.08245E-08
Número de observaciones (n)	7.00
Grados de libertad (n-2)	5.00

MODELO ESTADISTICO PARA EL ENSAYO:

$$\text{Concentración} = 3.56851E-08 + (7.45028E-08 \times \text{Dosis})$$

TABLA No.24: SEPTIMA IRRADIACION EN AIRE
TASA DE DOSIS NORDION : 5 674 kGy/h

TIEMPO (min)	ABSORBANCIA DOSIMETRO	ABSORBANCIA PROMEDIO	DOSIS ABSORBIDA kGy
60.00	0.161	0.161	5 674
	0.160		
	0.163		
120.00	0.290	0.306	11.348
	0.334		
	0.305		
180.00	0.501	0.513	17.022
	0.523		
	0.515		
240.00	0.699	0.679	22.696
	0.664		
	0.695		
300.00	0.737	0.809	28.370
	0.844		
	0.845		
360.00	1.005	1.087	34.044
	1.168		
	1.097		
420.00	1.212	1.209	39.718
	1.208		
	1.209		

TABLA No.25: RESUMEN DE LA SEPTIMA IRRADIACION
EN AIRE.

TASA DE DOSIS NORDION: 5.674 kGy/h

ABSORBANCIA PROMEDIO	DOSIS ABSORBIDA X kGy	CONCENTRACION Y MoINO2 prod./0.5gHNO3
0.161	5.674	3.90003E-07
0.306	11.348	7.40523E-07
0.513	17.022	1.24011E-06
0.679	22.696	1.64220E-06
0.809	28.370	1.95485E-06
1.087	34.044	2.62648E-06
1.209	39.718	2.92261E-06

ANALISIS DE REGRESION Y CORRELACION

ESTIMACION DE LOS PARAMETROS ESTADISTICOS

Coeficiente de determinación (r ²)	0.99369
Coeficiente de regresión (pendiente B)	7.60641E-08
Ordenada al Origen (constante A)	- 8.10972E-08
Desviación estándar de estimación(S _e)	8.13847E-08
Número de observaciones (n)	7.00
Grados de libertad (n-2)	5.00

MODELO ESTADISTICO PARA EL ENSAYO:

$$\text{Concentración} = -8.10972\text{E-}08 + (7.60641\text{E-}08 \times \text{Dosis})$$

TABLA No.26: OCTAVA IRRADIACION EN AIRE
TASA DE DOSIS NORDION : 5.632 kGy/h

TIEMPO (min)	ABSORBANCIA DOSIMETRO	ABSORBANCIA PROMEDIO	DOSIS ABSORBIDA kGy
60.00	0.166	0.163	5.632
	0.166		
	0.158		
120.00	0.334	0.333	11.264
	0.329		
	0.335		
180.00	0.502	0.503	16.896
	0.498		
	0.509		
240.00	0.675	0.668	22.528
	0.660		
	0.669		
300.00	0.811	0.809	28.160
	0.793		
	0.824		
360.00	1.460	1.467	50.688
	1.470		
	1.472		
420.00	1.588	1.608	56.320
	1.615		
	1.622		

TABLA No.27: RESUMEN DE LA OCTAVA IRRADIACION
EN AIRE.

TASA DE DOSIS NORDION: 5.632kGy/h

ABSORBANCIA PROMEDIO	DOSIS ABSORBIDA X kGy	CONCENTRACION Y MolNO2 prod /0.5gNO3
0.163	5.632	3.94032E-07
0.333	11.264	8.04986E-07
0.503	16.896	1.21513E-06
0.668	22.528	1.61078E-06
0.809	28.160	1.95646E-06
1.467	50.688	3.54629E-06
1.608	56.320	3.88795E-06

ANALISIS DE REGRESION Y CORRELACION

ESTIMACION DE LOS PARAMETROS ESTADISTICOS

Coeficiente de determinación (r ²)	0.89972
Coeficiente de regresión (pendiente B)	6.89319E-08
Ordenada al Origen (constante A)	3.08573E-08
Desviación estándar de estimación(S _e)	2.46745E-08
Número de observaciones (n)	7.00
Grados de libertad (n-2)	5.00

MODELO ESTADISTICO PARA EL ENSAYO:

$$\text{Concentración} = 3.08573E-08 + (6.89319E-08 \times \text{Dosis})$$

TABLA No.28: NOVENA IRRADIACION EN AIRE

TASA DE DOSIS NORDION : 5.617 kGy/h

TIEMPO (min)	ABSORBANCIA DOSIMETRO	ABSORBANCIA PROMEDIO	DOSIS ABSORBIDA kGy
60.00	0.170	0.174	5.617
	0.175		
	0.178		
120.00	0.364	0.357	11.234
	0.350		
	0.358		
180.00	0.526	0.523	16.851
	0.536		
	0.508		
240.00	0.685	0.682	22.468
	0.680		
	0.681		
300.00	0.840	0.845	28.085
	0.839		
	0.855		
360.00	1.050	1.012	33.702
	0.998		
	0.987		
420.00	1.182	1.182	39.319
	1.163		
	1.200		
480.00	1.360	1.347	44.936
	1.342		
	1.339		
540.00	1.525	1.513	50.553
	1.505		
	1.509		

TABLA No.29: RESUMEN DE LA NOVENA IRRADIACION EN AIRE
 TASA DE DOSIS NORDION: 5.617 kGy/h

ABSORBANCIA PROMEDIO	DOSIS ABSORBIDA X kGy	CONCENTRACION Y MoINO2 prod./0.5gNO3
0.174	5.617	4.21429E-07
0.357	11.234	8.63809E-07
0.523	16.851	1.26509E-06
0.682	22.468	1.64865E-06
0.845	28.085	2.04188E-06
1.012	33.702	2.44558E-06
1.182	39.319	2.85653E-06
1.347	44.936	3.25621E-06
1.513	50.553	3.65749E-06

ANALISIS DE REGRESION Y CORRELACION

ESTIMACION DE LOS PARAMETROS ESTADISTICOS

Coefficiente de determinación (r ²)	0.9998674
Coefficiente de regresión (pendiente B)	7.15129E-08
Ordenada al Origen (constante A)	4.23041E-08
Desviación estándar de estimación(S _e)	1.35418E-08
Número de observaciones (n)	9.00
Grados de libertad (n-2)	7.00

MODELO ESTADISTICO PARA EL ENSAYO:

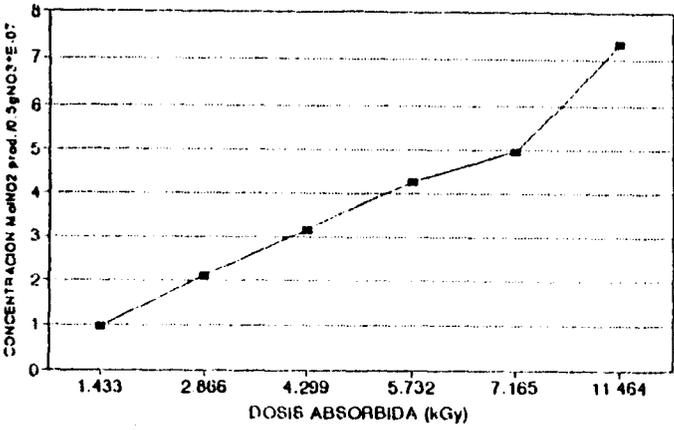
$$\text{Concentración} = 4.23041\text{E-}08 + (7.15129\text{E-}08 \times \text{Dosis})$$

Grafico No. 5

Grafico No. 6

TERCERA IRRADIACION EN AIRE

Dosis vs. Concentración



QUINTA IRRADIACION EN AIRE

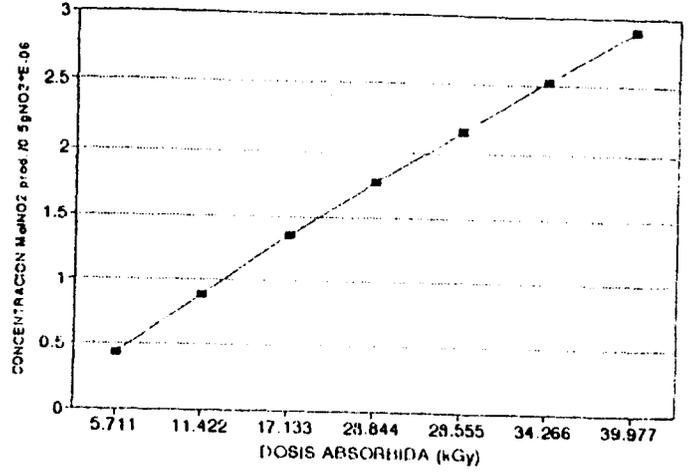
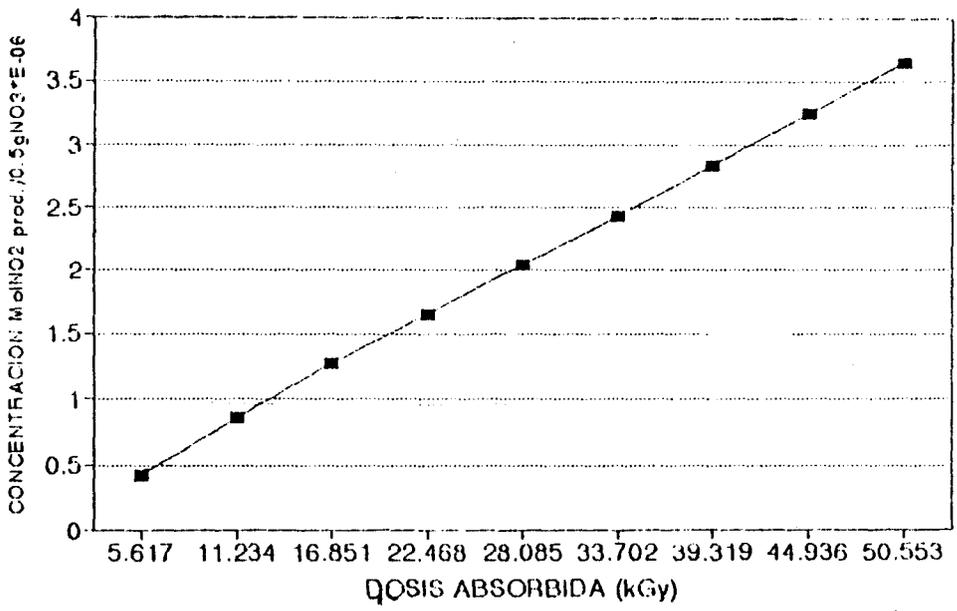


Grafico No. 7

CURVA ESTANDARIZADA Dosis vs. Concentración - Ensayo Optimo



Síntesis de los ensayos irradiaciones en aire para la curva estandarizada Dosis Absorbida vs. Concentración de nitrito producido:

1. *De los nueve ensayos en el laboratorio se eligió óptimo al noveno ensayo de la irradiación en aire (Ver Tabla N° 29) y gráfico N° 07, al tener un coeficiente de determinación igual a 0.9998674. Este parámetro mide el grado de precisión del modelo seleccionado.*
2. *A su vez, éste parámetro estadístico permitió medir la relación existente entre las variables dosis absorbida (kGy) y concentración (moles de nitrito producido en presencia de 0.5 gr. de nitrato de potasio), mediante el denominado coeficiente de correlación (r).*

Modelo estadístico del ensayo óptimo:

$$\text{CONCENTR.} = 4.2304076562E-08 + (7.15128E-08 \times \text{DOSIS})$$

Análisis estadístico del ensayo óptimo:

De forma similar al análisis realizado al ensayo

Óptimo del coeficiente de extinción molar se evaluará las desviaciones de sus parámetros estadísticos y sus intervalos de confianza de éstos valores con una confianza del 95%.

Desviaciones:

Desviación estándar (Se)	1.35418E-08
Desviación estándar de la ordenada al origen (Sa)	8.71840E-19
Desviación estándar de la pendiente (Sb)	3.11241E-10

Intervalos de confianza:

Grados de libertad = 7 Confianza o seguridad = 95%
 $t(7, 95\%) = 2.3646$

Para la ordenada al origen (A):

$4.2304076559E-08 \leq 4.2304076562E-08 \leq 4.2304076564E-08$

Para el coeficiente de regresión pendiente B

$7.07768E-08 \leq 7.15128E-08 \leq 7.22487E-08$

Los intervalos de confianza muestran que al usar la curva estándar dosis absorbida versus concentración de nitrito

producido/0.5gr de nitrato de potasio en la irradiación en aire con una confianza del 95%; deberá tenerse en cuenta los intervalos o incertidumbres mínimas y máximas de los parámetros estadísticos calculados. De ésta forma se logrará la precisión analítica al usada como curva patrón de lectura.

Pruebas estadísticas:

*Objetivo: Comprobar la validez del mdelo estadístico
(Concentración= A +(B x Dosis)).*

Caso I : Comprobar que la ordenada al origen (constante A) es mayor o igual a cero.

$$H_0 : A_0 = 0$$

$$H_1 : A_0 > 0$$

$$t \text{ calculado} = \frac{A - A_0}{S_a} = 4.852275252E+10$$

$$t \text{ tablas (7,95\%)} = 2.3646$$

El t calculado es > que el t tabulado, llegando a la conclusión 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 las variables dosis absorbida (kGy) versus concentración (moles de nitrito prod./0.5 gr.de nitrato de potasio).

Caso II: Comprobar que el coeficiente de regresión (pendiente B) es igual o mayor que cero.

$$H_0 : B_0 = 0$$

$$H_1 : B_0 > 0$$

$$t \text{ calculado} = \frac{B - B_0}{S_b} = 229.7667$$

$$t \text{ tablas (7,95\%)} = 2.3646$$

El t calculado es $>$ que el t tabulado, deduciendo que la dosis absorbida (kGy) está directamente influenciada por la concentración (moles de nitrito prod./0.5gr de Nitrato de potasio), siendo de ésta forma aceptada a un nivel del 5% la hipótesis alternativa. A continuación presentamos las dispersiones del parámetro estadístico \hat{Y} con sus intervalos de confianza individualmente con un nivel de significancia del 5%.(ver tabla N°30).

TABLA No.30: ESTIMACIONES, DESVIACIONES INDIVIDUALES E INTERVALOS DE CONFIANZA DEL PARAMETRO ESTADISTICO \hat{Y} -ENSAYO OPTIMO DE LA IRRADIACION EN AIRE

DOSIS ABSORB. (kGy)	CONCENTRACION EXPERIMENTAL MolNO ₂ prod./0.5gNO ₃	CONCENTRACION ESTIMADA MolNO ₂ prod./0.5gNO ₃	DESV. DE Y INDIVIDUAL S _y	INTERV. DE CONFIANZA DE \hat{Y}	
				LIMITE MAXIMO L	LIMITE MINIMO U
5.617	4.21429E-07	4.43991E-07	2.53746E-08	5.03992E-07	7.39975E-07
11.234	8.63809E-07	8.45679E-07	2.12443E-08	8.95913E-07	7.95444E-07
16.851	1.26509E-06	1.24737E-06	1.77140E-08	1.28925E-06	1.20548E-06
22.468	1.64865E-06	1.64905E-06	1.52074E-08	1.68501E-06	1.61309E-06
28.085	2.04188E-06	2.05074E-06	1.42743E-08	2.08449E-06	2.01699E-06
33.702	2.44558E-06	2.45243E-06	1.52074E-08	2.48839E-06	2.41647E-06
39.319	2.85653E-06	2.85412E-06	1.77140E-08	2.89600E-06	2.81223E-06
44.936	3.25621E-06	3.25580E-06	2.12443E-08	3.30604E-06	3.20557E-06
50.553	3.65749E-06	3.65749E-06	2.53746E-08	3.71749E-06	3.59749E-06

-113-

Los datos observados y ajustados de este ensayo se muestran en el grafico No. 07

Finalmente, podemos concluir en ésta parte que:

1. *El análisis estadístico ha mostrado la estimación de las incertidumbres máximas y mínimas de los parámetros estadísticos calculados del ensayo óptimo.*
2. *Estos rangos deberán ser tomados en cuenta para posteriores cálculos de calibración de ésta curva en el rango de 1-50kGy.*
3. *La curva ha sido presentada en el gráfico N° 07, para un fácil manejo los datos han sido tabulados. (ver anexo N° 03).*

7.1.4. Verificación de la Dosis Absorbida en producto por el Sistema Nitrato/Nitrito de potasio en el rango de 1-50kGy.

Primer ensayo: Producto carmín

Peso : 1 kg. Fecha del ensayo:16/09/93

Dosis requerida por el producto: 10 kGy.

Determinación de la tasa de dosis Fricke al carmin:

Fecha: 18/02/93

Tasa de dosis Nordion: 5.1115 kGy/h

Tasa de dosis Fricke en aire: 4.918 kGy/h

% Error : 3.78

Tasa de dosis Fricke en el carmin:

T.D.Mínima: 5.81kGy/h

T.D.Máxima: 3.27kGy/h

Los detalles se muestran en las tablas N° 31, N° 32.

TABLA No.31: DOSIMETRIA FRICKE EN AIRE

TASA DE DOSIS NORDION : 5.1115kGy/h

DOSIS CORREGIDA = 0.2774 x ABSORBANCIA/(1+ 0.007(T-25 C))

FECHA: 18/02/93

TIEMPO X (seg)	POSIC.	ABSORBANCIA DOSIMETRO	TEMP. CENTIG.	DOSIS CORREGIDA kGy	DOSIS PROMEDIO(Y) kGy
30.00	1	0.183	29.00	0.0572	0.0580
	2	0.183		0.0569	
	3	0.183		0.0600	
70.00	4	0.388	30.2	0.1039	0.1034
	5	0.384		0.1028	
	6	0.386		0.1033	
110.00	7	0.610	29.80	0.1637	0.1635
	8	0.609		0.1634	
	9	0.609		0.1634	
150.00	10	0.795	28.90	0.2147	0.2130
	11	0.786		0.2122	
	12	0.786		0.2122	
190.00	13	0.993	28.90	0.2681	0.2676
	14	0.990		0.2673	
	15	0.990		0.2673	

ANALISIS DE REGRESION Y CORRELACION

ESTIMACION DE LOS PARAMETROS ESTADISTICOS

Coefficiente de determinación (r²)	0.99963
Ordenada al origen (constante A)	9.05625E-03
Coefficiente de regresión (pendiente B)	1.3661E-03
Tasa de Dosis Fricke en aire kGy/h	4.91805
%Error	3.78

TABLA No.32: DOSIMETRIA FRICKE EN CARMIN

DOSIS CORREGIDA = $0.2774 \times \text{ABSORBANCIA} / (1 + 0.007(T-25 \text{ C}))$

FECHA: 18/02/93

TIEMPO X (seg)	POSIC.	ABSORBANCIA DOSIMETRO	TEMP. CENTIG.	DOSIS CORREGIDA kGy	DOSIS PROMEDIO(Y) kGy	DOSIS PROMEDIO DMAX/DMIN
30.00	3	0.218	27.20	0.0596	DMAX:0.0591	1.543
	5	0.214		0.0585		
	6	0.141		0.0385	DMIN:0.0383	
	7	0.139		0.0380		
70.00	3	0.469	27.20	0.1281	DMAX:0.1287	1.773
	5	0.473		0.1292		
	6	0.288		0.0787	DMIN:0.0726	
	7	0.243		0.0664		
110.00	3	0.676	27.10	0.1848	DMAX:0.1846	1.684
	5	0.674		0.1843		
	6	0.420		0.1148	DMIN:0.1096	
	7	0.382		0.1044		
150.00	3	0.928	27.50	0.2530	DMAX:0.2538	1.674
	5	0.934		0.2546		
	6	0.586		0.1598	DMIN:0.1516	
	7	0.526		0.1434		
190.00	3	1.159	27.30	0.3164	DMAX:0.3175	1.663
	5	1.167		0.3186		
	6	0.734		0.2003	DMIN:0.1909	
	7	0.664		0.1813		

Análisis de regresión y correlación

Estimación de los parámetros estadísticos:

	Posición	
	máxima	mínima
Coeficiente de determinación (r^2)	0.99953	0.99842
Ordenada al origen (constante A)	0.01225	6.68E-3
Coeficiente de regres. (pend. B kGy/s)	1.610E-03	9.09E-04
Tasa de dosis Fricke en el carmín para el 18/02/93, en kGy/h	5.81	3.27

Para actualizar las tasas de dosis (T.D) se usa la siguiente relación:

$$T.D. final = T.D. inicial \times e^{(-\ln 2 / 5.272 \text{ años}) \times t} \quad \dots(25)$$

donde:

t : tiempo transcurrido desde la fecha en la que se ha determinado la tasa de dosis (T.D) al producto, hasta la fecha a la que se quiere actualizar.

Usando la ec.(25) tenemos que las tasas de dosis Fricke en el carmín para el 16/09/93 son:

Tasa de dosis máxima: 5.38kGy/h

Tasa de dosis mínima: 3.03kGy/h

Luego, para que el carmín pueda absorber 10 kGy en el irradiador deberá permanecer 3 horas y 18 minutos. De igual manera para verificar dicha dosis se empleará el dosímetro nitrato/nitrito de potasio en el tiempo indicado. Ver tabla N° 33.

TABLA No. 33: DOSIMETRIA NITRATO/NITRITO DE POTASIO PRODUCTO "CARMIN"

POSICION	pH FINAL	ABSORBANCIA	CONCENTRACION MoINO ₂ prod/0.5g.HO ₃	DOSIS ABSORBIDA kGy
MIN D1	1.82	0.305	7.37300E-07	9.72
MIN D1	1.78	0.301	7.27630E-07	9.58
MIN D1	1.80	0.302	7.30047E-07	9.62
MIN D2	1.79	0.303	7.32465E-07	9.65
MIN D2	1.78	0.300	7.25213E-07	9.55
MIN D2	1.78	0.301	7.27630E-07	9.58
MIN D3	1.80	0.300	7.25213E-07	9.55
MIN D3	1.79	0.302	7.30047E-07	9.62
MIN D3	1.78	0.303	7.32465E-07	9.65
MAX D5	1.83	0.514	1.24253E-06	16.78
MAX D5	1.82	0.509	1.23044E-06	16.61
MAX D5	1.82	0.508	1.22803E-06	16.58

DOSIS MINIMA PROMEDIO: 9.613kGy

DOSIS MAXIMA PROMEDIO: 18.859kGy.

ERROR A DOSIS REQUERIDA (10 kGy) 3.87%

Segundo ensayo: Producto carmín.

Peso : 1 kg.

Dosis requerida por el producto: 5kGy.

Fecha de ensayo: 18/09/93

Para éste ensayo se tomará la tasa de dosis mínima Fricke, determinada para el carmín y detallada en el primer ensayo. La tasa de dosis mínima Fricke se actualizará y se calculará el tiempo necesario para alcanzar los 5kGy. El tiempo es de 100 minutos. La verificación de la dosis se muestra en la Tabla N° 34.

TABLA No. 34: DOSIMETRIA NITRATO/NITRITO DE POTASIO PRODUCTO "CARMIN"

POSICION	pH FINAL	ABSORBANCIA	CONCENTRACION Mol/NO ₂ prod/0.5g NO ₃	DOSIS ABSORBIDA kGy
MIN D1	1.77	0.170	4.10954E-07	5.16
MIN D1	1.77	0.180	4.35128E-07	5.49
MIN D1	1.77	0.175	4.23041E-07	5.32
MIN D2	1.77	0.177	4.27876E-07	5.39
MIN D2	1.78	0.164	3.96450E-07	4.95
MIN D2	1.79	0.170	4.10954E-07	5.16
MIN D3	1.82	0.173	4.18206E-07	5.26
MIN D3	1.78	0.177	4.27876E-07	5.39
MIN D3	1.79	0.175	4.23041E-07	5.32
MIN D4	1.77	0.183	4.42380E-07	5.59
MIN D4	1.79	0.173	4.18206E-07	5.26
MIN D4	1.80	0.178	4.30293E-07	5.43
MAX D5	1.79	0.299	7.22795E-07	9.52
MAX D5	1.77	0.298	7.20378E-07	9.48
MAX D5	1.77	0.298	7.20378E-07	9.48

DOSIS MINIMA PROMEDIO: 5.299kGy.

DOSIS MAXIMA PROMEDIO: 9.499kGy.

ERROR A DOSIS REQUERIDA (5kGy): 5.98%

Tercer ensayo : Producto carmisol.

Peso : 1.5 kg.

Dosis requerida por el producto: 10 kGy.

Fecha del ensayo: 30/09/93

Determinación de la tasa de dosis en carmisol:

Fecha : 02/07/93

Tasa de dosis Nordion: 4.860 kGy/h

Tasa de dosis Fricke en aire: 4.660 kGy/h

% Error : 4.127

Tasa de dosis Fricke en carmisol

T.D.mínima: 3.509kGy/h

T.D.máxima: 5.316kGy/h

La tabla N° 35, presenta la dosimetría Fricke en aire para el 02/07/93, la tabla N° 36 la dosimetría Fricke en carmisol y en la tabla N° 37 muestra la dosimetría nitrato/nitrito de potasio verificando la dosis absorbida por el carmisol (10kGy).

TABLA No.35: DOSIMETRIA FRICKE EN AIRE

TASA DE DOSIS NORDION : 4.860kGy/h

TEMPERATURA : 24.7 C

DOSIS CORREG. = $0.2774 \times \text{ABSORBANCIA} / (1 + 0.007(T-25 \text{ C}))$

FECHA: 02/07/93

TIEMPO X (seg)	POSICION	ABSORBANCIA DOSIMETRO	DOSIS CORREGIDA kGy	DOSIS PROMEDIO(Y) kGy
30.00	1	0.174	0.0484	0.0491
	2	0.179	0.0498	
	3	0.177	0.0492	
70.00	4	0.352	0.0979	0.1003
	5	0.363	0.1009	
	6	0.367	0.1020	
110.00	7	0.556	0.1546	0.1540
	8	0.555	0.1543	
	9	0.551	0.1532	
150.00	10	0.731	0.2032	0.2056
	11	0.749	0.2082	
	12	0.738	0.2052	
190.00	13	0.890	0.2474	0.2553
	14	0.933	0.2594	
	15	0.932	0.2591	

ANALISIS DE REGRESION Y CORRELACION

ESTIMACION DE LOS PARAMETROS ESTADISTICOS

Coefficiente de Determinación (r ²)	0.99992
Ordenada al origen (constante A)	0.01049
Coefficiente de regresión (pend.B kGy/s)	1.29425E-03
Tasa de Dosis Fricke en aire kGy/h	4.659
%Error	4.13

TABLA No.36: DOSIMETRIA FRICKE EN CARMISOL

DOSIS CORREGIDA = $0.2774 \times \text{ABSORBANCIA} / (1 + 0.007(T-25 \text{ C}))$

FECHA: 02/07/93

TIEMPO X (seg)	POSICI.	ABSORBANCIA DOSIMETRO	TEMP. CENTIG.	DOSIS CORREGIDA kGy	DOSIS PROMEDIO(Y) kGy	DOSIS PROMEDIO DMAX/DMIN
30.00	3	0.204	26.62	0.0560	DMAX:0.0645	1.843
	5	0.266		0.0730		
	6	0.129		0.0354	DMIN:0.0350	
	7	0.126		0.0346		
70.00	3	0.426	26.62	0.1168	DMAX:0.1155	1.542
	5	0.416		0.1141		
	6	0.288		0.0790	DMIN:0.0749	
	7	0.258		0.0708		
110.00	3	0.652	26.62	0.1788	DMAX:0.1769	1.592
	5	0.638		0.1750		
	6	0.433		0.1188	DMIN:0.1111	
	7	0.377		0.1034		
150.00	3	0.869	26.62	0.2384	DMAX:0.2388	1.558
	5	0.872		0.2392		
	6	0.603		0.1654	DMIN:0.1532	
	7	0.514		0.1410		
190.00	3	1.096	26.62	0.3006	DMAX:0.2982	1.563
	5	1.078		0.2957		
	6	0.749		0.2054	DMIN:0.1908	
	7	0.642		0.1761		

Análisis de regresión y correlación

Estimación de los parámetros estadísticos.

	<i>Posición</i>	
	<i>máxima</i>	<i>minima</i>
<i>Coefficiente de determinación (r²)</i>	0.99945	0.99979
<i>Ordenada al origen (constante A)</i>	0.01636	5.758E-3
<i>Coefficiente de regr. (pend. B kGy/s)</i>	1.477E-03	9.748E-04
<i>Tasa de dosis Fricke en carmisol para el 02/07/93, en kGy/h</i>	5.316	3.509

*Actualizando la tasa de dosis mínima al 30/09/93
tenemos:*

*Tasa de dosis Fricke para el carmisol: 3.38kGy/h,
entonces el tiempo para alcanzar 10kGy es de 3 horas.
minutos.*

*Para verificar se usó el dosímetro en estudio los
resultados se muestran en la tabla N°37.*

TABLA No. 37: DOSIMETRIA NITRATO/NITRITO DE POTASIO PRODUCTO "CARMISOL"

POSICION	pH FINAL	ABSORBANCIA	CONCENTRACION	DOSIS
			MolNO ₂ prod/0.5g.defNO	ABSORBIDA kGy
MIN D1	1.75	0.311	7.51804E-07	9.92
MIN D1	1.75	0.293	7.08291E-07	9.31
MIN D1	1.76	0.303	7.32465E-07	9.65
MIN D2	1.76	0.303	7.32465E-07	9.65
MIN D2	1.76	0.299	7.22795E-07	9.52
MIN D2	1.75	0.308	7.44552E-07	9.82
MIN D3	1.75	0.300	7.25213E-07	9.55
MIN D3	1.74	0.298	7.20378E-07	9.48
MIN D3	1.76	0.299	7.22795E-07	9.52
MAX D4	1.75	0.546	1.31989E-06	17.87
MAX D4	1.76	0.548	1.32472E-06	17.93
MAX D4	1.75	0.547	1.32230E-06	17.90
MAX D5	1.76	0.549	1.32714E-06	17.97
MAX D5	1.75	0.548	1.32472E-06	17.93
MAX D5	1.76	0.548	1.32472E-06	17.93

DOSIS MINIMA PROMEDIO: 9.602kGy.

DOSIS MAXIMA PROMEDIO: 17.921kGy.

ERROR A DOSIS REQUERIDA (10kGy): 3.98%

Cuarto ensayo: Producto médico-ocúmetros

Peso: 230 grs.

Dosis requerida por el producto: 15kGy.

Fecha del ensayo: 10/10/93

Determinación de la tasa de dosis en ocúmetros:

Fecha: 28/02/92

Tasa de dosis Nordion : 5.796kGy/h

Tasa de dosis Fricke en aire: 5.716 kGy/h

%Error: 1.38

Tasa de dosis Fricke en ocúmetros:

T.D. máxima: 6.85kGy/h

T.D. mínima: 4.69kGy/h

*Ver tablas N° 38 y N° 39 y la verificación de la dosis
15kGy se muestra en la Tabla N° 40.*

TABLA No.38: DOSIMETRIA FRICKE EN AIRE

TASA DE DOSIS NORDION : 5.796kGy/h

DOSIS CORREGIDA = 0.2774 x ABSORBANCIA/(1+ 0.007(T-25 C))

FECHA: 28/02/92

TIEMPO X (seg)	POSIC.	ABSORBANCIA DOSIMETRO	TEMP. CENTIG.	DOSIS CORREGIDA kGy	DOSIS PROMEDIO(Y) kGy
30.00	1	0.212	29.00	0.0572	0.0580
	2	0.211		0.0569	
	3	0.222		0.0600	
70.00	4	0.416	29.30	0.1120	0.1115
	5	0.412		0.1109	
	6	0.414		0.1115	
110.00	7	0.696	28.70	0.1882	0.1874
	8	0.701		0.1895	
	9	0.682		0.1844	
150.00	10	0.894	28.20	0.2422	0.2456
	11	0.908		0.2460	
	12	0.918		0.2487	
190.00	13	1.116	28.10	0.3030	0.3085
	14	1.143		0.3103	
	15	1.150		0.3122	

ANALISIS DE REGRESION Y CORRELACION

ESTIMACION DE LOS PARAMETROS ESTADISTICOS

Coefficiente de Determinación (r ²)	0.99892
Ordenada al origen (constante A)	7.548E-03
Coefficiente de regresión (pend.B kGy/s)	1.588E-03
Tasa de Dosis Fricke en aire kGy/h	5.716
χError	1.38

TABLA No.39. DOSIMETRIA FRICKE EN OCUMETROS

DOSIS CORREGIDA = $0.2774 \times \text{ABSORBANÇIA} / (1 + 0.007(T-25 \text{ C}))$

FECHA: 28/02/92

TIEMPO X (seg)	POSIC.	ABSORBANÇIA DOSIMETRO	TEMP. CENTIG.	DOSIS CORREGIDA kGy	DOSIS PROMEDIO(Y) kGy	DOSIS PROMEDIO DMAX/DMIN
30.00	2	0.271	28.0	0.0746	DMAX 0.0722	1.562
	3	0.263		0.0715		
	4	0.258		0.7000		
	5	0.267	28.0	0.7250	DMIN:0.0462	
	6	0.174		0.0473		
	7	0.166		0.0451		
70.00	2	0.548	28.00	0.1489	DMAX:0.1510	1.583
	3	0.559		0.1519		
	4	0.557		0.1513		
	5	0.559	28.00	0.1519	DMIN:0.0954	
	6	0.351		0.0954		
	7	0.351		0.0954		
110.00	2	0.842	28.20	0.2285	DMAX:0.2286	1.569
	3	0.853		0.2314		
	4	0.841		0.2282		
	5	0.834	28.00	0.2263	DMIN:0.1457	
	6	0.541		0.1470		
	7	0.531		0.1443		
150.00	2	1.109	27.90	0.3024	DMAX:0.3049	1.663
	3	1.127		0.3064		
	4	1.145		0.3113		
	5	1.102	27.20	0.2996	DMIN:0.1833	
	6	0.679		0.1855		
	7	0.663		0.1811		
190.00	2	1.336	27.60	0.3640	DMAX:0.3761	1.431
	3	1.377		0.3752		
	4	1.390		0.3787		
	5	1.418	27.60	0.3863	DMIN:0.2629	
	6	0.965		0.2629		
	7	0.965		0.2629		

Análisis de regresión y correlación

Estimación de los parámetros estadísticos.

	<i>Posición</i>	
	<i>Máxima</i>	<i>Mínima</i>
<i>Coefficiente de determinación (r²)</i>	0.99982	0.99927
<i>Ordenada al origen (constante A)</i>	0.01709	3.3425E-03
<i>Coefficiente de regr. (pend. B kGy/s)</i>	1.904E-03	1.3033E-03
<i>Tasa de dosis Fricke en ocúmetros para el 28/02/92, en kGy/h</i>	6.855	4.692

Actualizando la tasa de dosis mínima Fricke tenemos 3.70kGy/h, entonces el tiempo para alcanzar 15kGy es de 4 horas y 10 minutos. La verificación de la dosis absorbida se muestra en la tabla N°40.

TABLA No. 40: DOSIMETRIA NITRATO/NITRITO DE POTASIO PRODUCTO 'OCUMETROS'

POSICION	pH FINAL	ABSORBANCIA	CONCENTRACION Mol/NO ₂ prod/0.5g. NO ₃	DOSIS ABSORBIDA kGy
MIN D1	1.79	0.476	1506709E-06	15.499
MIN D1	1.81	0.474	1.126497E-06	15.431
MIN D1	1.80	0.482	1.165175E-06	15.702
MIN D2	1.81	0.478	1.155505E-06	15.566
MIN D2	1.80	0.485	1.172427E-06	15.803
MIN D2	1.83	0.476	1.150671E-06	15.499
MIN D3	1.76	0.485	1.172427E-06	15.803
MIN D3	1.78	0.484	1.170009E-06	15.770
MIN D3	1.79	0.489	1.182097E-06	15.938
MAX D4	1.80	0.799	1.931483E-06	26.417
MAX D4	1.81	0.796	1.885553E-06	25.775

DOSIS MINIMA PROMEDIO: 15.668kGy

DOSIS MAXIMA PROMEDIO: 26.096kGy.

ERROR A DOSIS REQUERIDA (15 kGy) 4.45%

De los ensayos realizados se concluye que las dosis absorbidas por los productos y medidos por el sistema nitrato/nitrito de potasio tienen errores menores del 6% con respecto a la tasa de dosis estimada por el sistema dosimétrico Fricke. Este porcentaje de error es aceptable para dosímetros secundarios o de rutina.

7.1.5. Lectura de Dosis Absorbida en la Post Irradiación.

Para demostrar el posible efecto de post-irradiación se realizaron cuatro ensayos; dos irradiaciones en aire para determinar si existe alguna alteración en el modelo estadístico planteado y dos ensayos en productos similares a los ensayos de lectura inmediata.

**TABLA No.41: PRIMER ENSAYO DE POST-IRRADIACION, LECTURA AL CABO DE UN MES
TASA DE DOSIS NORDION : 5.599kGy/h**

TIEMPO (min)	ABSORBANCIA DOSIMETRO	ABSORBANCIA PROMEDIO	DOSIS ABSORBIDA kGy
60.00	0.175	0.169	5.599
	0.168		
	0.165		
120.00	0.330	0.343	11.198
	0.353		
	0.347		
180.00	0.523	0.517	16.797
	0.522		
	0.505		
240.00	0.700	0.668	22.396
	0.679		
	0.625		
300.00	0.859	0.824	27.995
	0.789		
	0.824		
360.00	1.002	1.013	33.594
	1.019		
	1.018		
420.00	1.160	1.140	39.193
	1.141		
	1.120		

TABLA No.42 RESUMEN DEL PRIMER ENSAYO DE LECTURA,
DESPUES DE UN MES DE IRRADIADO EN AIRE.

TASA DE DOSIS NORDION: 5.599kGy/h

ABSORBANCIA PROMEDIO	DOSIS ABSORBIDA X kGy	CONCENTRACION Y Mol/10 ² prod./0.5g/10 ³
0.169	5.599	4.09342E-07
0.343	11.168	8.29966E-07
0.517	16.797	1.24898E-06
0.668	22.396	1.61481E-06
0.824	27.995	1.99192E-06
1.013	33.594	2.44880E-06
1.140	39.193	2.75661E-06

ANALISIS DE REGRESION Y CORRELACION

ESTIMACION DE LOS PARAMETROS ESTADISTICOS

Coefficiente de determinación (r ²)	0.99878
Coefficiente de regresión (pendiente B)	8.87140E-08
Ordenada al Origen (constante A)	7.030371E-08
Desviación estándar de estimación(S _e)	3.27585E-08
Número de observaciones (n)	7.00
Grados de libertad (n-2)	5.00

MODELO ESTADISTICO PARA EL ENSAYO:

$$\text{Concentración} = 7.03071E-08 + (8.87140E-08 \times \text{Dosis})$$

**TABLA No.43: SEGUNDO ENSAYO DE POST-IRRADIACION, LECTURA AL CABO DE DOS MESES DE IRRADIADO
TASA DE DOSIS NORDION : 5.568kGy/h**

TIEMPO (min)	ABSORBANCIA DOSIMETRO	ABSORBANCIA PROMEDIO	DOSIS ABSORBIDA kGy
10.78	0.030	0.030	1.00
	0.030		
	0.031		
32.33	0.088	0.090	3.00
	0.096		
	0.085		
53.88	0.147	0.150	5.00
	0.154		
	0.148		
75.43	0.207	0.204	7.00
	0.204		
	0.202		
96.98	0.263	0.253	9.00
	0.263		
	0.234		
118.53	0.305	0.305	11.00
	0.305		
	0.306		

TABLA No.44: RESUMEN DEL SEGUNDO ENSAYO DE LECTURA,
DESPUES DE DOS MESES DE IRRADIADO EN AIRE.
TASA DE DOSIS NORDION: 5.568kGy/h

ABSORBANCIA PROMEDIO	DOSIS ABSORBIDA X kGy	CONCENTRACION Y MoINO2 prod./0.5gNO3
0.030	1.00	7.33271E-08
0.090	3.00	2.16758E-07
0.150	5.00	3.61801E-07
0.204	7.00	4.93950E-07
0.253	9.00	6.12402E-07
0.305	11.00	7.38105E-07

ANALISIS DE REGRESION Y CORRELACION

ESTIMACION DE LOS PARAMETROS ESTADISTICOS

Coefficiente de determinación (r ²)	0.99976
Coefficiente de regresión (pendiente B)	7.03097E-08
Ordenada al Origen (constante A)	3.97140E-08
Desviación estándar de estimación(S _e)	3.27595E-08
Número de observaciones (n)	7.00
Grados de libertad (n-2)	5.00

MODELO ESTADISTICO PARA EL ENSAYO:

$$\text{Concentración} = 3.97140\text{E-}08 + (7.03097\text{-}08 \times \text{Dosis})$$

TABLA No. 45: TERCER ENSAYO DE POST-IRRADIACION, LECTURA AL CABO DE DOS MESES "PRODUCTO CARMIN"

POSICION	pH FINAL	ABSORBANCIA	CONCENTRACION MoINO ₂ prod/0.5g NO ₃	DOSIS ABSORBIDA kGy
MIN D1	1.80	0.300	7.25213E-07	9.55
MIN D1	1.82	0.305	7.37300E-07	9.72
MIN D1	1.83	0.304	7.34882E-07	9.68
MIN D2	1.78	0.300	7.25213E-07	9.55
MIN D2	1.79	0.305	7.37300E-07	9.72
MIN D2	1.77	0.302	7.30047E-07	9.62
MIN D3	1.78	0.300	7.25213E-07	9.55
MIN D3	1.79	0.305	7.37300E-07	9.72
MIN D3	1.78	0.301	7.27630E-07	9.58
MAX D5	1.80	0.505	1.22077E-06	16.48
MAX D5	1.85	0.507	1.22561E-06	16.55
MAX D5	1.83	0.509	1.23044E-06	16.61

DOSIS MINIMA PROMEDIO: 9.632kGy

DOSIS MAXIMA PROMEDIO: 16.547kGy.

ERROR A DOSIS REQUERIDA (10 kGy) 3.68%

TABLA No. 46: CUARTO ENSAYO DE POST-IRRADIACION, LECTURA AL CABO DE DOS MESES 'PRODUCTO CARMIN'

POSICION	pH FINAL	ABSORBANCIA	CONCENTRACION Mo/NO ₂ prod/0.5g.NO ₃	DOSIS ABSORBIDA kGy
MIN D1	1.78	0.301	7.27630E-07	9.58
MIN D1	1.79	0.311	7.51804E-07	9.92
MIN D1	1.80	0.305	7.37300E-07	9.72
MIN D2	1.83	0.305	7.37300E-07	9.72
MIN D2	1.76	0.298	7.20378E-07	9.48
MIN D2	1.75	0.308	7.44552E-07	9.82
MIN D3	1.78	0.300	7.25213E-07	9.55
MIN D3	1.75	0.305	7.37300E-07	9.72
MIN D3	1.80	0.305	7.37300E-07	9.72
MAX D4	1.78	0.540	1.30538E-06	17.66
MAX D4	1.79	0.545	1.31747E-06	17.83
MAX D4	1.80	0.547	1.32230E-06	17.90
MAX D5	1.78	0.549	1.32714E-06	17.97
MAX D5	1.78	0.548	1.32472E-06	17.93
MAX D5	1.79	0.546	1.31989E-06	17.87

DOSIS MINIMA PROMEDIO: 9.692kGy

DOSIS MAXIMA PROMEDIO: 17.859kGy.

ERROR A DOSIS REQUERIDA (10 kGy) 3.08%

Como se observa en los dos ensayos de irradiación en aire el modelo estadístico no se ha modificado e incluso mantiene en uno de ellos un alto coeficiente de determinación al igual que los ensayos leídos inmediatamente. Por otro lado se han leído en los productos sin tener ninguna alteración.

Finalmente, se puede asegurar que no habrá ningún efecto en la lectura por lo menos durante dos meses después de irradiado.

7.2. Evaluación de resultados.

El sistema dosimétrico nitrato/nitrito de potasio para altas dosis de radiación gamma, ha sido mejorado en cuanto a la técnica, el único camino que queda para el mejoramiento de la precisión es la reproducibilidad.

Este capítulo pretende demostrar en detalle la evaluación estricta realizada a los ensayos de lectura de dosis absorbida, que han sido presentados en el capítulo anterior.

Esta información puede ser analizada por el método

conocido como análisis de variancia o ANOVA. (16) Ver anexo N° 02.

Se trata de una técnica consistente en aislar y estimar las varianzas separadamente, que contribuyen a la varianza total del experimento.

Es entonces, es posible analizar si ciertos factores producen significativos resultados, diferentes de las variables ensayadas y así poder evaluar la reproducibilidad de las lecturas del dosímetro en el rango de 1-50kGy.

Primer análisis: Producto carmín (10kGy)

Para éste análisis se ha trabajado con los datos de dosis mínimas de la tabla N° 33.

El objetivo es considerar la hipótesis nula del experimento suponer que no hay diferencias entre los tratamientos.

$$H_0 = \sigma^2 = 0$$

$$H1 = \sigma^2 \text{ diferente de } 0.$$

De acuerdo a las ecuaciones (26) á (34) del anexo N° 02, los cálculos correspondientes son :

$$\text{Corrección} = \frac{86.52^2}{89} = 831.746$$

$$\begin{aligned} \text{Suma total de cuadrados} &= 831.77 - 831.746 \\ &= 0.024 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Suma de cuadrados de los tratamientos} &= 831.749 - 831.746 \\ &= 3.067E-03 \end{aligned}$$

$$\text{Error analítico:} \quad 0.024 - 3.067E-03 = 0.020933$$

Los datos resultantes se indican en la tabla N° 47.

Esta nos conduce al ANOVA mostrado en la tabla N° 48. Ya que $F \text{ calculado} = 0.44 < F(95\%), (2,6) = 5.29$. Los valores críticos F se encuentran tabulados en el anexo N° 02.

De aquí que la hipótesis nula sea aceptada y que podamos decir que hay una probabilidad del 95% de que la diferencia entre las dosis mínimas no sea significativa.

Además puesto que el número de observaciones por tratamiento es el mismo para cada uno de ellos el error estándar de una media de tratamiento es:

$$\sqrt{(3.4833E-03/3)} = \pm 0.0341 \text{ kGy}$$

Con éste valor se podrá hallar la estimación del intervalo de confianza de la dosis mínima promedio del ensayo.

$$\text{Para un } t(95\%, 6) = (9.61 \pm 0.06625) \text{ kGy}$$

TABLA No.47: DOSIS MINIMAS DE NUEVE MUESTRAS DE CARMIN (10kGy)

ANALISIS OBSERVACION CADA 3 HORAS 18 MINUTO	TRATAMIENTO			TOTAL
	DOSIS MINIMAS (kGy)			
	MIN.D1	MIN.D2	MIN.D3	
1	9.72	9.65	9.55	
2	9.58	9.55	9.62	
3	9.62	9.58	9.65	
TOTALES	28.92	28.78	28.82	86.52
No.OBSERVACIONES	3	3	3	9
MEDIAS	9.64	9.59	9.61	9.61

TABLA No.48: ANOVA PARA LOS DATOS DE LA TABLA No.47

CAUSA DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO DE MEDIAS	F
ENTRE LAS DOSIS MINIMAS	2	0.003067	1.5335E-04	0.440
ERROR EXPERIMENTAL	6	0.0209	3.48333E-03	
TOTAL	8	0.024		

Segundo análisis: Producto carmín (5 kGy)

Para éste análisis los datos se han tomado de la tabla N° 34. Se ha considerado la misma hipótesis nula

anterior que $H_0: \sigma^2 = 0$, contra la hipótesis alternativa

que $H_0: \sigma^2$ diferente de 0. Los cálculos correspondientes

se han realizado de la misma forma que en el primer análisis.

Los resultados se presentan en la Tabla N° 49. El ANOVA para éste ensayo se presenta en la Tabla N° 50. De lo presentado $F_{\text{calc.}} = 1.288 < F(95\%), (3,8) = 4.07$. De aquí que la hipótesis nula sea aceptada y que hay una confianza del 95% de que la diferencia entre las dosis mínimas sea significativa. El error estándar de la media de la dosis es ± 0.095 kGy. El intervalo de confianza para la dosis mínima promedio es: 5.309 ± 0.1767 kGy para $t(95\%,8) = 1.86$

TABLA No.49: DOSIS MINIMAS DE DOCE MUESTRAS DE GARMIN (5kGy)

ANALISIS OBSERVACIONES	TRATAMIENTO				TOTAL
	DOSIS MINIMAS (kGy)				
CADA 1 HORA 40 MINUTOS	MIN.D1	MIN.D2	MIN.D3	MIN.D4	
1	5.16	5.39	5.26	5.59	
2	5.49	4.95	5.39	5.26	
3	5.32	5.16	5.32	5.43	
TOTALES	15.97	15.50	15.97	16.28	66.52
No.OBSERVACIONES	3	3	3	3	9
MEDIAS	5.32	5.17	5.32	5.43	9.61

TABLA No.50: ANOVA PARA LOS DATOS DE LA TABLA No.49

CAUSA DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO DE MEDIAS	F
ENTRE LAS DOSIS MINIMAS	3	0.1035	0.03451	1.288
ERROR EXPERIMENTAL	8	0.2143	0.02678	
TOTAL	11	0.3178		

Tercer análisis: Producto carmisol (10 kGy)

Se realizó el análisis de forma análoga a los anteriores. En la tabla N° 51 y en la tabla N° 52 se presentan los datos y resultados de los cálculos correspondientes al ensayo de la tabla N° 37. Donde $F_{\text{calc.}} = 0.499 < F(95\%)(2,6) = 5.14$, siendo la hipótesis nula aceptada. El error estándar de la media del tratamiento es ± 0.114 . El intervalo de confianza para un $t(95\%,6) = 1.943$ es 9.60 ± 0.222 kGy.

TABLA No.51: DOSIS MINIMAS DE NUEVE MUESTRAS DE CARMISOL (10kGy)

ANALISIS OBSERVACION CADA 3 HORAS 10 MINUTO	TRATAMIENTO			TOTAL
	DOSIS MINIMAS (kGy)			
	MIN.D1	MIN.D2	MIN.D3	
1	9.92	9.65	9.55	
2	9.31	9.52	9.48	
3	9.65	9.82	9.52	
TOTALES	28.88	28.99	28.55	86.42
No.OBSERVACIONES	3	3	3	9
MEDIAS	9.63	9.66	9.52	9.60

TABLA No.52: ANOVA PARA LOS DATOS DE LA TABLA No.51

CAUSA DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO DE MEDIAS	F
ENTRE LAS DOSIS MINIMAS	2	0.039	0.0195	0.499
ERROR EXPERIMENTAL	6	0.2346	0.0391	
TOTAL	8	0.2736		

Cuarto análisis: Producto médico ocúmetros (15 kGy)

El análisis se realizó en forma similar que los anteriores, los datos son los de la tabla N° 40.

Los resultados se muestran en las Tablas N° 53 y N° 54. El F calculado = 3.873 < $F(95\%)(2,6) = 5.1$. De ésta forma estamos incapacitados de rechazar la hipótesis nula. El error estándar de la muestra media del tratamiento es ± 0.04 kGy. El intervalo de confianza para el ensayo es 15.668 ± 0.077 kGy.

TABLA No.53: DOSIS MINIMAS DE NUEVE MUESTRAS DE OCUMETROS (15kGy)

ANALISIS OBSERVACION CADA 4 HORAS 10 MINUTOS	TRATAMIENTO			TOTAL
	DOSIS MINIMAS (kGy)			
	MIN.D1	MIN.D2	MIN.D3	
1	15.50	15.57	15.80	
2	15.43	15.80	15.77	
3	15.70	15.50	15.94	
TOTALES	46.63	46.87	47.51	141.01
No.OBSERVACIONES	3	3	3	9
MEDIAS	15.44	15.62	15.84	15.67

TABLA No.54: ANOVA PARA LOS DATOS DE LA TABLA No.53

CAUSA DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO DE MEDIAS	F
ENTRE LAS DOSIS MINIMAS	2	0.1377	0.0688	3.873
ERROR EXPERIMENTAL	6	0.1066	0.0178	
TOTAL	8	0.2443		

Del análisis se concluye que:

1. *El ANOVA, ha mostrado que los datos reportados de lectura de dosis mínimas de los productos: carmín, ocúmetros, carmisol, sus diferencias en cada una de ellas no son significativas, dando como resultado un 95% de confianza.*

Por lo tanto, se ha demostrado de ésta forma la reproducibilidad de los datos obtenidos.

2. *También éstos análisis permitieron conocer el error de la media entre las dosis mínimas, así como evaluar los intervalos de confianza alrededor del verdadero valor o dosis promedio de cada uno de los ensayos analizados.*

7.3. Precisión y Exactitud.

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.

La confianza vá a depender del uso del procedimiento

adecuado y de técnicas dosimétricas que cuenten con el respaldo de normas técnicas emitidas por organizaciones o asociaciones científicas de reconocido prestigio internacional. (10)

La presente investigación ha mostrado el estricto tratamiento estadístico a los datos logrando la precisión, minimizando los errores. Para que las medidas de dosis sean de significativas es necesario conocer la incertidumbre en las medidas. (24) De ésta forma se ha calculado los intervalos de confianza de los parámetros estadísticos en estudio. Mediante los ensayos en los laboratorios se han confeccionado, la curva estándar dosis absorbida vs. concentración de nitrito producido en presencia de 0.5 g. de nitrato, con una confianza del 95%.

Las lecturas en los productos reportaron un error no mayor del 4% comparado con el dosímetro Fricke. En éste capítulo pretende demostrar la precisión del dosímetro, comparándolo con el dosímetro secundario Perspex, al haberse leído en ocúmetros, determinando así el error experimental. Ver tabla N° 55.

TABLA 55: INTERCOMPARACION CON EL DOSIMETRO PERSPEX ROJO EN EL PRODUCTO MEDICO OCUMETROS (15kGy)

POSICION	ABSORB.	ESPESOR cm	ABSORB.CM-1	DOSIS PERSPEX	DOSIS NITRATO/NITRITO
MIN D1	0.4270	0.297	1.4377	13.30	15.499
MIN D1	0.4262	0.284	1.5007	14.00	15.431
MIN D1	0.4202	0.305	1.3776	12.00	15.702
MIN D2	0.4005	0.292	1.3716	12.00	15.566
MIN D2	0.3949	0.291	1.3570	12.00	15.803
MIN D2	0.3821	0.278	1.3744	12.00	15.499

	DOSIS MINIMAS PROMEDIOS	ERROR RELATIVO
		15kGy.
DOSIMETRO PERSPEX	12.55 kGy.	6.33%
DOSIMETRO NITRATO/NITRITO DE POTASIO	15.58 kGy	3.87%
DOSIMETRO PRIMARIO FRICKE	15.00 kGy.	

De lo mostrado se puede aseverar que el sistema dosimétrico Nitrato/Nitrito de potasio tiene un error menor que el dosímetro perspex. El dosímetro de calibración para determinar el tiempo por extrapolación, ha sido para los dos ensayos el Fricke.

7.4. Ventajas y desventajas.

7.4.1. Ventajas.

1. *El Sistema Nitrato/Nitrito de potasio, mantiene una buena linealidad, después de haber sido calibrado, en el rango de 1-50 kGy, que es el intervalo de dosis de radiación absorbida de múltiples aplicaciones en alimentos y en la esterilización de productos médicos.*
2. *No se vé afectado por la temperatura ambiental.*
3. *Ha mostrado buena reproducibilidad al ser irradiado en aire e invariabilidad en las lecturas de dosis en los productos.*

7.4.2. Desventajas.

1. *Si no se mantienen constantes los parámetros como temperatura, pH y tiempo de reacción en la coloración, puede resultar otros compuestos, dando concentraciones de nitrito erróneos.*
2. *Al ser rutinario su calibración es dependiente a la tasa de dosis de otro dosímetro primario.*

VIII. CONCLUSIONES

El presente estudio ha demostrado la factibilidad del Sistema Nitrato/Nitrito de potasio en el laboratorio para altas dosis, en el rango de 1-50kGy. Para tal efecto, la investigación dá a conocer los parámetros e intervalos de trabajo más importantes que se debe considerar en la técnica.

1. El pH óptimo deberá estar en el rango de 2.15 á 1.45, cuando se disuelve el nitrito en agua, o adicionar 1ml. de HCl 1N.
2. El coeficiente de extinción molar deberá calibrarse cada 3 á 4 meses, y el resultado deberá estar en el intervalo de $41,367.17173 \pm 788.79$ ltr.mol⁻¹.cm⁻¹. Para lograr buenos resultados la solución de nitrito deberá valorarse por el método de Lunge.
3. Se ha calibrado la curva estandarizada dosis absorbida vs.concentración de NO₂ prod./0.5gr.NO₃K, siendo su modelo estadístico el de una regresión lineal simple:

$$\text{CONCENTRACION} = 4.023040765E-08 + (7.15128E-08 * \text{DOSIS})$$

teniendo como intervalos de confianza al 95% para la pendiente: $7.15128E-08 \pm 7.359605E-10$ y la constante $4.2304075E-08 \pm 2.0615529E-18$, con un coeficiente de determinación (r^2) = 0.9998674.

Deberá considerarse los intervalos señalados, para lograr una buena precisión en la lectura.

4. La reproducibilidad en la lectura de la dosis, ha sido sometida a pruebas estadísticas, que indican que entre las dosis mínimas evaluadas no existen diferencias significativas.
5. En toda la Investigación se ha realizado la reacción de coloración para la determinación del nitrito, para lograr buenos resultados el diazotante y el copulante deben estar refrigerados a temperaturas de 0-5°C, pues si no se obtendrán otros compuestos diazoderivados.
6. El error relativo del dosímetro Perspex rojo con la dosis teórica es de 6.33%, mientras que el error del dosímetro Nitrato/Nitrito de potasio en la lectura

del mismo producto es de 3.87%. De lo que se demuestra que el error del dosímetro en estudio es mucho menor.

7. El dosímetro Nitrato/Nitrito de potasio al ser leído después de dos meses de irradiado no presenta ninguna alteración, manteniendo su linealidad en aire y su reproducibilidad de la lectura en los productos.
8. Es de bajo costo.

IX. RECOMENDACIONES

1. *En cuanto a la limpieza del material de vidrio se recomienda usar en la dosimetría lo siguiente:*

Usar mezcla sulfocrómica previa al enjuague de los materiales de vidrio con agua potable. No usar detergente.

Dejar el material en la mezcla sulfocrómica durante 12 horas como mínimo.

El secado debe realizarse en una estufa a 200° C durante 3 horas.

2. *En lo que se refiere a la dosimetría Nitrato/Nitrito de Potasio se recomienda lo siguiente:*

El almacenaje de los colorantes debe ser a la temperatura de 4° C para realizar una buena diazoación y posterior copulación.

El agua a usar en la dosimetría debe ser destilada.

Para el enrasamiento con agua destilada a 100ml en cada una de las fiolas debe usarse de preferencia dispensadores, para mantener así un volumen exacto y constante.

X. BIBLIOGRAFIA Y ANEXOS

- (1) ASTM D. 1671-72 "Absorbed Gamma Radiation Dose in the Fricke Dosimeter. pág. 682.
- (2) ATOMIC ENERGY OF CANADA-"Catálogo del Irradiador Gammacell 220.
- (3) BAUER E.L.-"Manual de Estadística para Químicos"- Primera Edición española 1974. Editorial Alhambra S.A. Impreso en España, pag 1-35;59-63
- (4) CANTATORE DE FRANK, NORMA M. "Manual de Estadística Aplicada." Editorial Hemisferio Sur S.A.. Impreso y editado en la Argentina. 1° edición 1980, pág 41-42.
- (5) CHADWICK, BRUSSEL - "Dosimetry Concepts for the Gamma Irradiation of Food - págs. 405-406; 411-412; 428-429.
- (6) DESROISER NORMAN W. - "Conservación de Alimentos" Cia Editorial Continental S.A. México - 1980 (10ma impresión, cap. 10), págs. 374, 375, 379, 383, 387, 388.

- (7) DORDA, E. M. MUÑOZ S. - "Dosímetro de Nitrato/
Nitrito de Potasio para altas dosis" HIGH - DOSE
DOSIMETRY (Symposium Vienna 1984) IAEA, Vienna
(1985), págs. 193-202.
- (8) DORDA, E. M - " Dosimetry Methods and Quality control
of Industrial Irradiation Plants in Argentina " HIGH
DOSE Dosimetry (Symposium Vienna 1990 editada 1991),
págs. 349.
- (9) DU PLESSIS T. A. - ROEDIGER A,H,A - "Quality Control
through dosimetry at a contract radiation processing
facility" - HIGH DOSE DOSIMETRY Symposium en Viena
1984 editado 1985, págs. 13-17;20-21.
- (10) ESPINOZA, J "Dosimetría : Desarrollo y experiencia en
Chile" - HIGH - DOSE DOSIMETRY Symposium en Viena
IAEA -SM (3/4/29) 1990 edit 1991, págs. 235;238-
239;245;247;250.
- (11) EWING G. W. - " Métodos Instrumentales de Análisis
Químicos". Mc. Graw Hill 1979 pág. 49-52; 54.
- (12) FARKAS, J. "Principios de la Irradiación de
Alimentos" Symposium en Vienna 19- impreso por el
OIEA en Austria págs 11-15.

- (13) FRISANCHO, -. "Fisica Nuclear" pag. 122;124-126.
- (14) GAMBOA LOYARTE, J.M. -"Manual de Radioquímica-The Radiochemical Centre Amersham -Editorial Alhambra Madrid-Barcelona Bilbao Editorial B.J. Wilson. 1ª edición española 1974, págs 5-6;8.
- (15) GOPAL, Dr. N.G.S. Inatom Expert "Dosimetría" separata conferencias 1988.
- (16) GOPAL, Dr. N.G.S, Inatom expert "Statistical Aspects" Separata Conferencia 1988.
- (17) HARWELL, Catálogo del dosímetro Perspex.
- (18) IPEN - CSEN-"Curso de Radiobiología Básica para profesores "Del 02 al 07 de marzo de 1987, págs 8-11;17-18.
- (19) JARRET, R.D. and I.W. Halliday "Dosimetri in Support of Wholesomeness studies" - Publication January 30, 1979, págs 154-159.

- (20) KIRK, RAYMOND E; OTHMER, DONALD F.-"Encyclopedia de Tecnología Química 1° edición. Impreso en México 1962 -Unión Tipográfica Editorial Hispano americana. Tomo V, págs. 287-288.
- (21) KIRK, RAYMOND E; OTHMER, DONALD F.-"Encyclopedia de Tecnología Química 1° edición. Impreso en México 1962- Unión Tipográfica Editorial Hispano americana. Tomo VI, págs. 466; 471-472.
- (22) KOLTHOFF, SANDELL-" Química Analítica cuantitativa" págs. 856; 878-879.
- (23) Mc. LAUGHLIN, W.L. "Novel Radiation Dosimetry Systems" HIGH Dosimetry Symposium en Viena IAEA - SM 3/4/39 1990 edit. 1991 págs. 3-5.
- (24) MILLER A. "Role of Dosimetry ur Quality Control" Symposium en Viena IAEA sm 3/4/92 1990 edit. 1991, pág 37; 41-42.
- (25) MUNOZ, B.J. M. SANCHEZ, VACA "Preservación de Alimentos por Irradiación" Quito Escuela Politécnica Nacional Ecuador, 1985, pág. 56-59; 84-87; 89; 93-95; 215-225; 324-327.

(26) O'DONNELL, JAMES H - Sanester David F. Arnold Edward
"Principles Radiation Chemistry" Published London
1970 pág 8;10-11.

(27) OSTLE, BERNARD-"Estadística Aplicada Editorial Limusa
S.A. 1965 Impreso en México 1977. págs 185-217; 251-
257.

ANEXOS

ANEXO N° 01: LA IRRADIACION DE ALIMENTOS Y EL DIAGRAMA DE FLUJO DEL CENTRO DE TECNOLOGIA PICO ONDA.

ANEXO N° 02: TRATAMIENTO ESTADISTICO A LOS DATOS EXPERIMENTALES.

ANEXO N° 03: TABULACION DE LA DOSIS ABSORBIDA VERSUS CONCENTRACION EN EL RANGO DE 1-50kGy.

ANEXO N° 04: TEST ANALITICOS PARA LA DETERMINACION DEL NITRITO.

ANEXO Nº 01

LA IRRADIACION DE ALIMENTOS

CUADRO 01: EFECTOS DE CONSERVACION DE LAS RADIACIONES IONIZANTES EN LOS ALIMENTOS

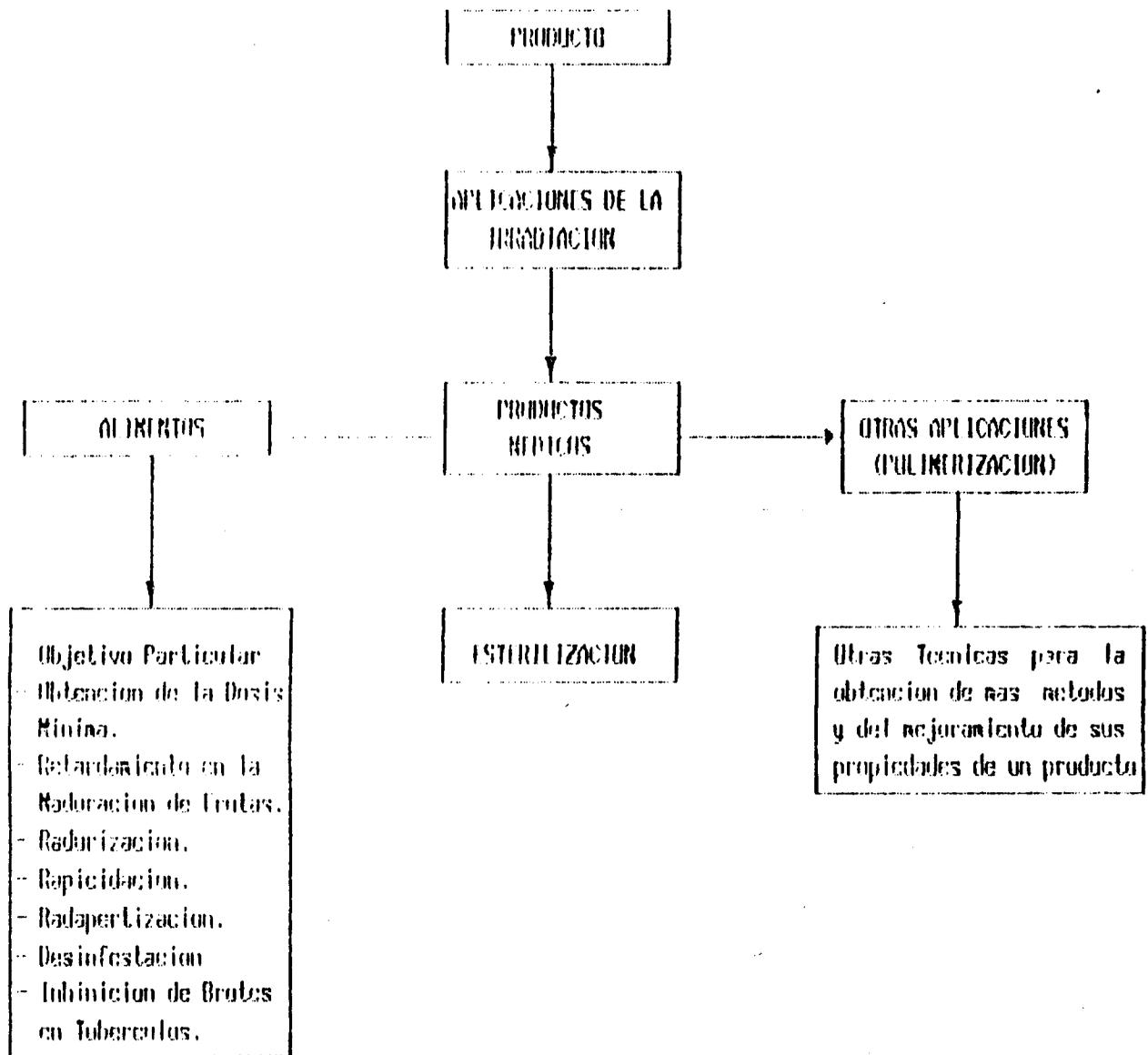
Efecto	Resultados
Inhibición de la germinación	Aumento del Periodo de conservación de tubérculos y bulbos; reducción de las pérdidas por germinación.
Disminución de la post maduración y retardo del envejecimiento de determinadas frutas y verduras.	Aumento del período de conservación de frutas y verduras.
Destrucción y esterilización de insectos	Desinfestación de insectos de alimentos.
Prevención del crecimiento y reproducción de los parásitos transmitidos por los alimentos	Prevención de enfermedades parasitarias.
Reducción de la población microbiana	Menor contaminación de los alimentos; mayor período de conservación de los alimentos, prevención de intoxicaciones alimentarias.

**CUADRO N° 02: DOSIS NECESARIAS PARA DIVERSAS APLICACIONES DE LA
IRRADIACION DE ALIMENTOS**

TIPO DE APLICACION	DOSIS NECESARIA (KGy)
Inhibición de la germinación de patatas y cebollas.	0.03 - 0.12
Desinfestación de insectos de productos en forma de semillas, harinas, frutas frescas y secas, etc.	0.2 - 0.8
Desinfestación de parásitos de la carne y de otros alimentos.	0.1 - 3.0
Radurización de artículos alimenticios perecederos (frutas, verduras, carnes, volatería, pescado)	0.5 - 10
Radiación de carne congelada, volatería, huevos y otros alimentos y piensos	3.0 - 10
Reducción o eliminación de la población microbiana en ingredientes alimenticios secos (especias, almidón, preparados enzimáticos, etc.)	3.0 - 20
Radappertización de productos cárnicos, de aves y de pescado	25 - 60

Los detalles de las dosis necesarias para cada alimento son específicos para ese alimento.

DIAGRAMA GENERAL DE FLUJO DEL CENTRO DE TECNOLOGIA PICO ONDA



ANEXO N° 02

TRATAMIENTO ESTADISTICO A LOS DATOS EXPERIMENTALES

ERROR EXPERIMENTAL

"En Química Analítica el error experimental se clasifican en determinados e indeterminados. Los determinados aquellos que pueden ser evitados una vez que son conocidos éstos pueden ser:

1. Inadecuada calibración de los equipos o inadecuada estandarización de los reactivos.
2. Error personal.
3. Avería del equipo.
4. Error del método.

A su vez los errores determinados introducen una desviación en las medidas.

Los errores indeterminados, por el contrario no pueden ser eliminados, sino que existen por la propia naturaleza del dato medido; ejemplo las interpolaciones (por no conocer si la magnitud es positiva o negativa."(3)

PROMEDIO

"La manera más común de minimizar el error experimental consiste en efectuar una serie de medidas sobre la misma dosis y calcular su promedio. El promedio se define como la suma de todas las medidas dividida entre el número de medidas:

$$\bar{X} = (X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n) / n \quad \dots (01)$$

A éste término también se le denomina valor central o representativo."(3)

EXACTITUD Y PRECISION

"La exactitud puede ser definida como la corrección de una medida. Si:

μ = verdadero valor

X = valor obtenido experimentalmente

E = Error

Entonces:

$$\boxed{\mu = X \pm E} \quad \dots\dots (02)$$

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 reproducibilidad de las medidas.

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

- A. Mediante la desviación promedio.
- B. Mediante la varianza.
- C. Mediante el rango."(3)

A. DESVIACION PROMEDIO.

"Si sumamos las desviaciones de "x" (es decir $X - \bar{X}$), independientemente de que sean positivas o negativas, obtendremos la desviación total. Dividiendo ésta suma por el número de desviaciones, encontraremos la desviación promedio (DP):

$$\boxed{DP = \Sigma (X - \bar{X}) / n} \quad \dots\dots(03)$$

Ref.(3)

B. LA VARIANZA Y DISTRIBUCION ESTANDAR

"La Varianza (V) es la suma de los cuadrados de las desviaciones con respecto al promedio dividida por los grados de libertad. La desviación estándar es igual a la raíz cuadrada de la varianza.

$$V = \frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n - 1} \quad \dots(04)$$

$$S = V^{1/2} \quad \dots\dots\dots (05)$$

donde:

S = desviación estándar de una muestra (σ si fuera de una población).

n - 1 = grados de libertad (Degrees o Freedom)

Se usa "n-1" porque ésta expresión hace referencia al número de cuadrados independientes en el numerador de la fórmula, es decir:

$$\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \quad \dots\dots(06)$$

el último valor queda determinado automáticamente, la razón de ello es la presencia de \bar{X} en la expresión y a su vez el hecho de que una de las características de X es que:

$$\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}) = 0 \quad \dots(07)$$

(3)

C. EL RANGO.

"El rango es la diferencia entre el valor más alto y el más bajo en una serie de datos, de modo que si clasificamos éstos datos en orden descendente, el rango es igual a:

$$X_n \dots\dots\dots X_{n-1} \dots\dots\dots X_{n-2} \dots\dots\dots X_1$$

$$R = X_n - X_1 \quad \dots(08)$$

$$S = \frac{R}{C_1} \quad \dots\dots(09)$$

donde:

S= desviación estándar a partir del rango

C₁=valor de tablas (FUENTE: TABLA A-5 (3))

La desviación promedio no es una medida exacta de la precisión a causa de que dá un sesgo (tendencia de un laboratorio determinado a obtener siempre bajos o altos resultados) a las medidas y las hace aparecer más precisas de lo que realmente son.

La desviación estándar y la varianza son las más eficaces medidas de precisión y por tanto, las bases de todos los test estadísticos. Reconociendo lo laborioso, de éstos cálculos, los estadísticos opinan que mediante el rango es el método alternativo, aunque no es tan eficiente como la desviación

estándar por lo fácil de su cálculo que lo ha hecho popular".(3)

LA DISTRIBUCION t

"Supongamos que un analista realiza un gran número de medidas de la absorbancia de un misma solución, por ejemplo, mil, y coloca la magnitud de cada medida frente a la frecuencia de su ocurrencia. Encontraría a las medidas situadas en forma de campana, con la mayoría de ellas en el centro e igual número distribuido en forma decreciente, a cada lado de dicho centro.

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 no podemos permitirnos el realizar un gran número de observaciones, por ello el nuevo concepto introducido por GOSSET, se conoce como "t de Student".

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{S_x} \quad \dots (10)$$

donde:

\bar{X} = promedio

μ = verdadero valor

$S_x = S/\sqrt{n}$, error estándar

Student, demostró que la distribución t, sólo depende del tamaño de la muestra (n). Para fines prácticos usamos, la distribución normal para muestras mayores de 30."(3)

MEDIDAS INVALIDADAS

"Sucede algunas veces, al tomar una serie de medidas, que varias observaciones se encuentran juntas agrupadas estrechamente, mientras que una aparece separada, como si estuviera fuera de situación. Esta observación puede, ser parte de esa distribución que se estudia y ha de considerarse como válida, pero también puede ser causada por algún error desconocido y entonces ha de ser desechada.

Hay varios criterios para juzgar la validez de las medidas. El criterio se describe a continuación. Se calcula t_1 :

$$t_1 = \frac{|X - \bar{X}|}{R} \quad \dots (11)$$

donde:

X = valor sospechoso.

\bar{X} = promedio de las medidas.

R = rango.

t_1 = valor crítico hallado.

Este valor (t_1) se compara con un valor t de la tabla A-18 (3):

Si $t_1 > t$ tabulado se rechaza la observación sospechosa.

Si $t_1 < t$ tabulado se acepta". (3)

RELACIONES FUNCIONALES ENTRE VARIABLES

"Cuando poseemos información acerca de dos o más variables relacionadas es natural buscar un modo de expresar la forma de las relaciones funcionales.

Además, es deseable conocer la consistencia de la relación. Esto es, no buscamos únicamente una función matemática que no diga de que manera están relacionadas las variables, sino que queremos saber también con que precisión se puede predecir el valor de una variable si no conocemos los valores de las variables asociadas.

Las técnicas utilizadas para lograr éstos dos objetivos se conocen como métodos de regresión y métodos de correlación. Los métodos de regresión se usan para determinar la "mejor" relación funcional entre las variables mientras que los métodos de correlación se utilizan para medir el grado de asociación de las distintas variables" (27)

Las relaciones funcionales se pueden representar por:

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_k)$$

donde:

Y representa la variable dependiente

X_k representa las variables independientes (k=1,2,3,...,n)

La forma de la ecuación que caracteriza la relación entre las variables da el nombre a la relación; así, una ecuación lineal describe una relación lineal, una parabólica describe una relación parabólica.

REGRESION LINEAL SIMPLE

"De acuerdo a los datos el modelo que mejor ajusta es el de una regresión lineal simple por lo que se detallará a continuación el análisis de ésta función:

MODELO MATEMATICO

La forma algebraica del modelo matemático es la siguiente:

$$Y_i = A + B * X_i \quad \dots(12)$$

donde A y B son parámetros, A se denomina "ordenada al origen" y dice cuál es el nivel de Y cuando X es igual a cero; B es el coeficiente de pendiente" (coeficiente de regresión) que expresa la variación de Y dividida la correspondiente variación de X.

En la ecuación (12), Y es la variable dependiente y X es la independiente. Por ejemplo, si A = 2 y B = 5, se tiene que $Y = 2 + 5 X$. Si X aumenta en 1 unidad Y lo hará en 5. La pendiente de la recta es positiva cuando B es positiva y negativa cuando B es negativa.

MODELO ESTADISTICO

Es posible que el experimentador descubra que una relación funcional lineal como (12) no describa los datos con los cuales está trabajando. Pero si se supone que los datos observados fueron generados por una "ecuación lineal estocástica o aleatoria", tal como :

$$Y_i = A + B * X_i + E_i \quad \dots (12)$$

donde E_i es un término llamado "error". La ecuación permite que Y sea mayor o menor que $A + B * X$, lo cual depende que E_i sea positivo o negativo. Lo ideal es que el término error sea tan pequeño como sea posible. En general, los datos a utilizar 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 .

Para cada observación (Y_i, X_i) existe un término de error E_i . Se supone que en un "diagrama de dispersión" como el que aparece en la figura 3, se encuentra la observación (Y_i, X_i) ; si se conocieran los valores de los parámetros A y B se podría trazar en este diagrama la función de regresión $A + B \cdot X$. Los términos de error son iguales a la distancia entre los puntos observados (Y_i, X_i) y los puntos correspondientes en la línea de regresión $(A + B \cdot X_i)$.

Se puede ahora desarrollar el "modelo de regresión", el cual consiste en un conjunto de supuestos sobre la distribución de los términos del error y las relaciones entre las variables X e Y .

Supuestos:

- A. La relación entre X e Y es lineal.
- B. La variable X es prefijada por el experimentador, o sea X no es una variable aleatoria.
- C. La media del error es cero, o sea:

$$\boxed{E(e_i) = 0} \quad \dots (15)$$

- D. Para un valor dado de X , la varianza del error E_i , es siempre σ^2 , o sea:

$$\boxed{E(e_i^2) = \sigma^2} \quad \dots (16)$$

E. El error de una observación es independiente del error de otra observación o sea,

$$E(e_i, e_j) = 0 \quad \dots(17) \text{ para } i \text{ diferente a } j$$

F. Los errores se distribuyen normalmente.

Se debe verificar que el número de observaciones disponibles sea mayor que el de parámetros de la ecuación de regresión. Por lo expuesto para ajustar una regresión lineal simple se necesitarán como mínimo tres observaciones. Es importante destacar con respecto a los supuestos enunciados que:

1. Los supuestos A, B y C son necesarios para poder demostrar que las estimaciones de los parámetros obtenidos por el método de mínimos cuadrados son insesgadas, o sea que:

$$E(\hat{A}) = A$$

$$E(\hat{B}) = B$$

donde \hat{A} y \hat{B} son los estimadores obtenidos por mínimos cuadrados de A y B respectivamente.

2. Los supuestos A, B, y C permiten escribir:

$$E(Y_i) = A + B \cdot X_i \quad \dots(14)$$

o sea que las medias de las distribuciones Y/X pasan sobre la recta $A + B \cdot X_i$. El supuesto d se representa en la figura 4, la cual demuestra que las distribuciones de Y para diferentes valores de X tienen todas la misma dispersión.

3. El supuesto f , es necesario para poder utilizar las distribuciones t y F , cuando se quieren contrastar hipótesis con respecto a los valores de los parámetros o bien se quieren construir intervalos de confianza.

ESTIMACION DE LOS PARAMETROS ESTADISTICOS

Dado que es habitual trabajar con muestras, el problema estadístico consiste en la forma de estimar lo más correctamente posible los parámetros A , B y S^2 . (σ = población y S = muestra).

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

$$\hat{Y}_i = \hat{A} + \hat{B} * X_i \quad \dots (18)$$

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

$$e_i = Y_i - \hat{Y}_i = Y_i - (\hat{A} + \hat{B} * X_i) \quad \dots (19)$$

El método de los mínimos cuadrados consiste en adoptar como estimadores de los parámetros, los valores que minimizan la suma de los cuadrados de los desvíos.

ERROR ESTANDAR DE ESTIMACION

Resulta razonable pensar que se pueden utilizar los residuos o errores de la línea de regresión por mínimos cuadrados para estimar la varianza de los términos del error σ^2 . La varianza muestral de estos residuos es igual a:

$$\sigma^2_{Ei} = \frac{\sum (e_i - \bar{e})^2}{n-2} \quad \dots (20)$$

Si suponemos la normalidad de los errores, este estimador σ^2_{Ei} que es un estimador sesgado, puede transformarse en insesgado multiplicando por $1/(n-2)$.

Este nuevo estimador se suele simbolizar como $S_{y.x}^2$, también se puede expresar como varianza del error $(S_e)^2$, y su raíz cuadrada:

$$S_e = \sqrt{\frac{\sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n-2}} \quad \dots (21)$$

se denomina "error estándar" de estimación. Esta es una medida de la variabilidad de la distribución de Y para valores fijos de X. En su cálculo se utilizan todos los errores de la línea de regresión ajustada porque se supone que todas las distribuciones de Y tienen igual varianza.

El uso de $n-2$ en el denominador significa que para poder computar los errores (e_i) deben estimarse primero dos parámetros A° y B° . En el trabajo de investigación, la nomenclatura de éstos parámetros son A y B.

ESTIMACION DE LAS DESVIACIONES DE LOS PARAMETROS ESTADISTICOS

Para la ordenada en el origen (constante A):

$$S_b = S_o \sqrt{1/\Sigma (X-\bar{X})^2} \dots (22)$$

Para el coeficiente de regresión (pendiente B):

$$S_a = \left(\frac{1}{n} + \frac{\bar{X}^2}{\Sigma(X-\bar{X})^2} \right) * S_o^2 \dots (23)$$

INTERVALO DE CONFIANZA DE LOS PARAMETROS ESTADISTICOS

Con una Probabilidad del $(1- \alpha)$ elegido arbitrariamente, los intervalos están dados de la siguiente forma:

Para la ordenada en el origen (constante A):

$$A - (t \text{ tablas} * S_a) \leq A \leq A + (t \text{ tablas} * S_a) \quad (24)$$

Para el coeficiente de regresión (pendiente B):

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

La t tablas se anexa al final, ver tabla A-19."(4)

"TEST DE SIGNIFICACION"

"Una característica del experimento diseñado estadísticamente, es proporcionar una prueba estadística de que existe, o no, diferencia significativa. Una prueba estadística no es una prueba en el estricto sentido del término, sino que es solo una probabilidad, alta, de que determinada hipótesis sea

verdadera o falsa. Una hipótesis estadística es una suposición sobre la población que está siendo ensayada. El procedimiento para ensayar una hipótesis es:

1. Formular la hipótesis de que no existe una diferencia significativa. Se designa simbólicamente por H_0 .
2. Formular la hipótesis contraria (H_1).
3. Seleccionar la prueba estadística apropiada, la cual depende de lo que el experimentador esté comparando y de lo que desee conocer.
4. Adoptar el nivel de significación de la prueba. Este nivel es escogido en forma arbitraria por el experimentador y depende del riesgo que quiera asumir, es decir el Grado de Confianza: "siempre que tomamos una decisión, se corre el riesgo de que sea equivocada. Ello, en un trabajo estadístico, puede suceder en dos sentidos: Riesgo, designado por α , de despreciar un buen resultado. Riesgo, designado por β , de aceptar uno erróneo.

Fundándonos en los límites de confianza, deseamos evitar el error un gran porcentaje de veces (90,95 ó 99 por 100). Por tanto, haremos los cálculos para mantener α en 0.1, 0.05 ó 0.01.

El nivel de significación es el valor de la prueba, donde H_0 debe ser desechado 100α por 100 de las veces, si H_0 es verdadero. Por ejemplo, para un valor $\alpha = 0.05$, un falso rechazo de la hipótesis tendría lugar el 5% de las veces.

5. Volver a realizar la prueba y recoger el dato requerido.
6. Aplicar la prueba de significación adecuada y aceptar o rechazar a H_0 ."(3)

TESTS DE SIGNIFICACION PARA EL ANALISIS DE REGRESION SIMPLE

De acuerdo, a lo revisado en (4) y (27), se podrá analizar la validez del modelo estadístico elegido planteando las siguientes hipótesis:

CASO I : VALIDEZ DE LA ORDENADA EN EL ORIGEN (CONSTANTE A)

CASO II: VALIDEZ DEL COEFICIENTE DE REGRESION (PENDIENTE b)

CASOS	Hipótesis Nula (H_0)	Hipótesis alternat. (H_1)	Test "t" calculado
CASO I	$A_0 = 0$	$A_0 > 0$	$t = \frac{A - A_0}{S_a}$
CASO II	$B_0 = 0$	$B_0 > 0$	$t = \frac{B - B_0}{S_b}$

TABLA DE DECISION

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

Para la lectura de t en tablas ver la tabla A-19 (3) que se anexa.

ANALISIS DE VARIANZA (ANOVA) PARA REPRODUCIBILIDADES EN LA LECTURA

"Se trata de una técnica consistente en aislar y estimar las varianzas separadas que contribuyen a la total varianza del experimento. Es entonces ensayar si ciertos factores producen significativos resultados diferentes de las variables ensayadas"(3).

"En un experimento, que se intente analizar la reproducibilidad de los datos el experimentador conocerá el valor X_i , pero, desde luego no conocerá los valores de μ , T_i y e_i , los cuales son parámetros de la población que se investiga. La estadística puede usarse para estimar dichos parámetros.

El promedio total \bar{X} (promedio de promedios) es una estimación de μ . La diferencia entre el promedio del tratamiento y el promedio total es una estimación del efecto del tratamiento al que se aluda, y la diferencia entre el valor observado y el promedio del tratamiento es una estimación del error.

Al analizar se establece que la desviación de cualquier observación con respecto al promedio total es la suma de las desviación del promedio del tratamiento con respecto al promedio del total, más la desviación de la observación con respecto al promedio del tratamiento.

Sin embargo, la suma de las desviaciones resulta igual a cero (ha sido anteriormente explicado). Para evitarlo sumaremos los cuadrados, con lo cual entramos en el campo de la ecuación fundamental del análisis de varianza.

$$\text{SUMA TOT. } (X_{ij} - \bar{X})^2 = \text{SUMA TOT. } (X_{ij} - \bar{X})^2 + \text{SUMA TOT. } (X_{ij} - \bar{X}_j)^2$$

.... (26)

Esta ecuación establece que la suma de los cuadrados de las desviaciones con respecto al promedio total es igual a la suma de los cuadrados de las diferencias entre los promedio de los tratamientos con respecto al promedio total, más los cuadrados de las desviaciones entre las observaciones y los promedio de los tratamientos. Este es el principio básico en el que se apoyan todos los tipos de ANOVA.

La hipótesis nula del experimento es suponer que no hay diferencias entre los tratamientos. El ANOVA, con los datos de la tabla que se muestra se desarrolla como sigue:

ANALISIS	TRATAMIENTO				
	1	2	3	4	
A	X1	X4	X7	X10	
B	X2	X5	X8	X11	
C	X3	X6	X9	X12	
TOTAL DEL TRAT.	$\Sigma X(1,3)$	$\Sigma(4,6)$	$\Sigma(7,9)$	$\Sigma(10,12)$	ΣX_i
PROMED. DEL TRAT.	$\bar{X}(1,3)$	$\bar{X}(4,6)$	$\bar{X}(7,9)$	$\bar{X}(10,12)$	\bar{X}

1. Calcúlese la corrección elevando al cuadrado la suma de los totales de los tratamientos y dividiendo por el número total de análisis:

$$C = (\text{suma total } X_{1,12})^2/n \quad \dots (27)$$

2. Súmense los cuadrados de cada una de las observaciones, restándoles la corrección. Esto se denomina "suma total de cuadrados":

$$S_{tC} = ((X_1)^2 + (X_2)^2 + \dots + (X_{12})^2) - C \quad \dots (28)$$

3. Súmense los cuadrados de cada una de las sumas de las columnas (tratamientos), divídase por el número de análisis y réstese la corrección. Esto se llama la suma de cuadrados debido a los tratamientos":

$$S_{Ctra} = ((X(1,3))^2 + X(4,6))^2 + X(7,9))^2 + X(10,12))^2) - C \quad \dots (29)$$

4. Réstese la suma total de cuadrados y la de las cuadrados debido a los tratamientos. Resultará la "suma de cuadrados debido al error analítico", que en éste caso es la variación entre los análisis en cada tratamiento:

$$S_{Cerror} = S_{tC} - S_{Ctra} \quad \dots (30)$$

5. Cada una de las sumas de cuadrados debe ser dividida por los grados de libertad asociados a ellas, los cuales determinan como se indica más abajo. Si llamamos t al número de tratamientos y r al número de replicaciones en

cada tratamiento, los grados de libertad (gl)son:

Para los tratamientos : $(t-1) = 4-1 = 3$

Para el error : $t(r-1) = 4(3-1) = 8$

Para el total : $((tr)-1) = 11$

6. Formemos la siguiente tabla de ANOVA:

Causa de Variación	gl	Suma de cuadrados	Cuadrado de medias	F
Entre los tratam.	3	SC _{tra}	$M_0 = SC_{tra}/3$	M_0
En los tratam.error	8	SC _{error}	$M_1 = SC_{error}/8$	M_1
Total	11	StC		

El cuadrado de la media es la estimación de la varianza para cada causa de variación y se obtiene dividiendo la suma de cuadrados por los grados de libertad.

7. El test de significación plantea que se hallará el cálculo de F calcul. y el F o.05 de tablas.

$$F = M_0 / M_1 \quad \dots (31)$$

La tabla A-10 expresan la distribución de F, que es la distribución de la razón entre las dos varianzas. La tabla A-10 da los valores críticos para F_{0.05}, los cuales deberían ser excedidos, acaso, sólo cinco veces en cien. Para calcular F en las tablas, usamos la columna de $f_1 = 3$ y $f_2 = 8$, resulta F_{0.05}. Si F calcul. es $> F_{0.05}$, la hipótesis nula sea desechada y que podamos decir que hay una alta probabilidad de que la diferencia entre los tratamientos sea significativa".(3)

8. Consecuentemente, la varianza estimada de la media del i ésimo tratamiento, en un diseño completamente azarizado con una observación experimental está dada por:

$$\begin{aligned}
 V(y_i) &= \frac{\text{cuadrado medio del error experimental}}{\text{número de observac.en el } i\text{ésimo tratam.}} \\
 &= E/n_i = S^2/n_i
 \end{aligned}$$

....(32)

Y el error estándar de la media del i ésimo tratamiento está dado por:

$$\sqrt{(E/n_i)} = \sqrt{(S^2/n_i)} \quad \dots (33)$$

Por supuesto, si cada $n_i=n$, el mismo error estándar estaría asociado a cada media de muestra. un intervalo de 100 % de confianza para la estimación de μ_i , se determinaría calculando:

$$\bar{X}_i \pm t (\% \text{ conf., g.l.error}) * \sqrt{(E/n_i)} \quad \dots(34)$$

"ref.(27)

TABLA A-10
Valores críticos de F al nivel del 5 por 100*

Denominador, f_2	Numerador, f_1										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12
1	161	200	216	225	230	234	237	239	241	242	244
2	18.5	19.0	19.2	19.2	19.3	19.3	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4
3	10.1	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.74
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.91
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.68
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.00
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.57
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.28
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.07
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.91
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.80	2.85	2.79
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.90	2.75	2.69
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.60
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.53
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.48
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.42
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.38
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.34
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.31
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.28
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.25
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.23
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.20
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.18
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.16
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.09
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.00
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.92
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.83
∞	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.83	1.75

* Esta tabla se reproduce con permiso del Prof. E. S. FRANKS de MERRINGTON, N. y THOMPSON, C. M.: «Tablas de porcentaje de puntos de la distribución beta invertida (F)», *Biometrika* 33, pág. 73, 1946.

TABLA A-18

Valores críticos para medidas no válidas, rechazadas

n	t_1
3	1,53
4	1,05
5	0,86
6	0,76
7	0,69
8	0,64
9	0,60
10	0,58
11	0,56
12	0,54
13	0,52
14	0,51
15	0,50
20	0,46

La probabilidad es, aproximadamente, 0,95 de que si $t_1 = |X - \bar{X}|/R$ es mayor que el tabulado de t_1 , el valor que se investiga no es válido.

TABLA A-19

Distribución t^*

gl	α			
	0,1	0,05	0,01	0,001
1	6,314	12,71	63,66	636,6
2	2,920	4,303	9,925	31,60
3	2,353	3,182	5,841	12,94
4	2,132	2,776	4,601	8,610
5	2,015	2,571	4,042	6,859
6	1,943	2,447	3,707	5,959
7	1,895	2,365	3,499	5,405
8	1,860	2,306	3,355	5,041
9	1,833	2,262	3,250	4,781
10	1,812	2,228	3,169	4,587
11	1,796	2,201	3,106	4,437
12	1,782	2,179	3,055	4,318
13	1,771	2,160	3,012	4,221
14	1,761	2,145	2,977	4,140
15	1,753	2,131	2,947	4,073
16	1,746	2,120	2,921	4,015
17	1,740	2,110	2,898	3,965
18	1,734	2,101	2,878	3,922
19	1,729	2,093	2,861	3,883
20	1,725	2,086	2,845	3,850
21	1,721	2,080	2,831	3,819
22	1,717	2,074	2,819	3,792
23	1,714	2,069	2,807	3,767
24	1,711	2,064	2,797	3,745
25	1,708	2,060	2,787	3,725
26	1,706	2,056	2,779	3,707
27	1,703	2,052	2,771	3,690
28	1,701	2,048	2,763	3,674
29	1,699	2,045	2,756	3,659
30	1,697	2,042	2,750	3,646
∞	1,645	1,960	2,576	3,291

(una cola)

α	0,05	0,025	0,005	0,0005
----------	------	-------	-------	--------

* Valores de t que serán excedidos con una probabilidad α , para gl grados de libertad (dos colas).

ANEXO No.03

TABULACION DE LA DOSIS ABSORBIDA VS. CONCENTRACION

EN EL RANGO DE 1-50kGy

$$\text{DOSIS} = (\text{CONCENTRACION} - 4,23041\text{E-}08) / 7,15129\text{E-}08$$

$$\text{CONCENTRACION} = \text{ABSORBANCIA} / (41367,17173 \times 10)$$

DOSIS kGy	CONCENTRACION molNO ₂ prod./0,5g NO ₃	ABSORBANCIA
1,00	1,13817E-07	0,04708
1,50	1,49573E-07	0,06187
2,00	1,85330E-07	0,07667
2,50	2,21086E-07	0,09146
3,00	2,56843E-07	0,10625
3,50	2,92599E-07	0,12104
4,00	3,28356E-07	0,13583
4,50	3,64112E-07	0,15062
5,00	3,99869E-07	0,16541
5,50	4,35625E-07	0,18021
6,00	4,71382E-07	0,19500
6,50	5,07138E-07	0,20979
7,00	5,42894E-07	0,22458
7,50	5,78651E-07	0,23937
8,00	6,14407E-07	0,25416
8,50	6,50164E-07	0,26895
9,00	6,85920E-07	0,28375
9,50	7,21677E-07	0,29854
10,00	7,57433E-07	0,31333
10,50	7,93190E-07	0,32812
11,00	8,28946E-07	0,34291
11,50	8,64702E-07	0,35770
12,00	9,00459E-07	0,37249
12,50	9,36215E-07	0,38729
13,00	9,71972E-07	0,40208
13,50	1,00773E-06	0,41687
14,00	1,04348E-06	0,43166
14,50	1,07924E-06	0,44645
15,00	1,11500E-06	0,46124

DOSIS kGy	CONCENTRACION mol/NO ₂ prod./0,5g NO ₃	ABSORBANCIA
15,50	1,15075E-06	0,47603
16,00	1,18651E-06	0,49083
16,50	1,22227E-06	0,50562
17,00	1,25802E-06	0,52041
17,50	1,29378E-06	0,53520
18,00	1,32954E-06	0,54999
18,50	1,36529E-06	0,56478
19,00	1,40105E-06	0,57957
20,00	1,47256E-06	0,60916
20,50	1,50832E-06	0,62395
21,00	1,54408E-06	0,63874
21,50	1,57983E-06	0,65353
22,00	1,61559E-06	0,66832
22,50	1,65134E-06	0,68311
23,00	1,68710E-06	0,69791
23,50	1,72286E-06	0,71270
24,00	1,75861E-06	0,72749
24,50	1,79437E-06	0,74228
25,00	1,83013E-06	0,75707
27,50	2,00891E-06	0,83103
30,00	2,18769E-06	0,90499
32,50	2,36647E-06	0,97894
35,00	2,54526E-06	1,05290
37,50	2,72404E-06	1,12686
40,00	2,90282E-06	1,20081
42,50	3,08160E-06	1,27477
45,00	3,26038E-06	1,34873
47,50	3,43917E-06	1,42269
50,00	3,61795E-06	1,49664

ANEXO N° 04

Tests analíticos

Nitritos				
Almacenar entre +15° y +25°C, * Almacenar entre +2° y +8°C				
Denominación	Método	Graduación	Num. de pedido	Cantidad
Merckoquant [®] Test del nitrito*	Varillas	0.1-0.3-0.6-1-2-3 mg/l	10022.0001	para 100 determinaciones
Merckoquant [®] Test del nitrito*	Varillas	1-5-10-20-40-80 mg/l	10007.0001	para 100 determinaciones
Aquamerck [®] Nitritos en agua dulce y del mar	colorimétrico con comparador de colores	0.05-0.15-0.25-0.5-1.0 mg/l	14658.0001	para 100 determinaciones
Aquamerck [®] Nitritos	colorimétrico con comparador de colores	0.05-0.1-0.25-0.5-1.0 mg/l	11118.0001	para 150 determinaciones
Aquamerck [®] Nitritos	colorimétrico con comparador de colores	0.025-0.05-0.075-0.1-0.15-0.2-0.3-0.5 mg/l	8025.0001	para 150 determinaciones
Aquamerck [®] Nitritos adicionalmente necesaria probeta 8037.0001	colorimétrico	0.025-0.05-0.1-0.25-0.5-1.0-2.0-5.0-10-20 mg/l	8036.0001	para 50 determinaciones
Aquamerck [®] Nitritos adicionalmente necesaria probeta 8037.0001	colorimétrico	0.025-0.05-0.1-0.25-0.5-1.0-2.0-5.0-10-20 mg/l	11158.0001	para 150 determinaciones
Aquamerck [®] Nitritos a la vez envase de repuesto para 11158.0001			11128.0001	para 100 determinaciones
Aquamerck [®] Nitritos	colorimétrico	0.1-0.2-0.3-0.4-0.6-0.8-1.0-1.3-2.0 mg/l	14424.0001	para 400 determinaciones
Aquamerck [®] Nitritos	colorimétrico	0.005-0.012-0.02-0.03-0.404-0.05-0.06-0.08-0.1 mg/l	14408.0001	para 110 determinaciones
Microquant [®] Nitritos	colorimétrico	0.1-0.2-0.4-0.6-1.0-1.8-3.0-6.0-10 mg/l	14774.0001	para 400 determinaciones
Spectroquant [®] Nitritos	fotométrico, Acido sulfanílico y N-(1-Naftil)-etileno-diamonio dicloruro	0.02-3 mg/l	14776.0001	para 400 determinaciones
Spectroquant [®] test en cubetas Nitritos	fotométrico, Acido sulfanílico y N-(1-Naftil)-etileno-diamonio dicloruro	0.05-2 mg/l	14547.0001	para 25 determinaciones

Tests analíticos listos para el uso

El debate profundizado sobre el medio ambiente, la necesidad económica de controlar mejor los procesos de producción, de recoger generalmente más informaciones analíticas, hizo que aumentara drásticamente el número total de muestras en los últimos años. Las encuestas muestran que el número de muestras seguirá creciendo también en el futuro.

Los costos ligados al análisis convencional son de decisiva importancia, además del tiempo limitado, y de las capacidades de personal y de aparatos.

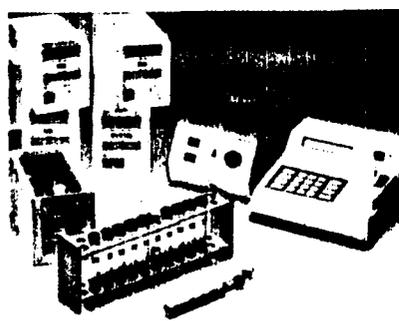
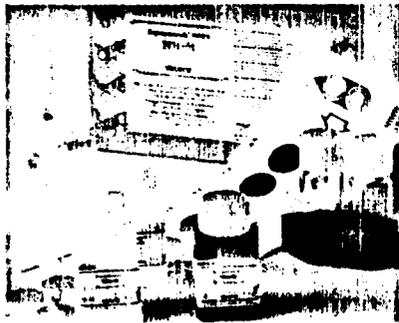
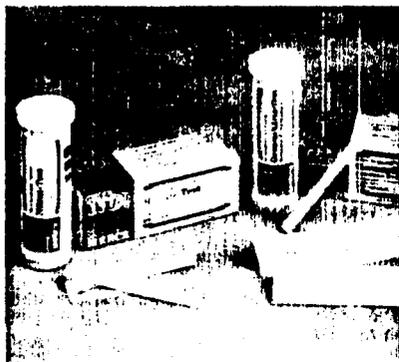
Como un complemento adecuado a los métodos de laboratorios establecidos se promociona un instrumento analítico de precio favorable, que según cual sea la finalidad prevista permite una selección rápida de las muestras en "críticas" y "menos críticas", una que luego se necesita tan solo analizar exactamente las muestras "críticas", una tal herramienta representa un ahorro efectivo de tiempo y costos. Nuestros sistemas de tests analíticos listos para el uso son extraordinariamente adecuados para tener bajo control el torrente de muestras.

Otro punto de vista es la urgencia con que se necesitan los resultados de los análisis. En las situaciones de urgencia, que requieren una rápida actuación, no pueden esperarse los resultados de los análisis instrumentales clásicos. Nuestros sistemas de tests listos para el uso son en este caso la solución.

Frecuentemente se necesitan resultados analíticos allí donde se encuentra la muestra, in situ. Se deben evitar largos caminos de transporte y de información. Por este motivo para los sistemas de tests analíticos listos para el uso hemos acuñado la expresión "análisis móvil".

El análisis móvil se rige por la filosofía de que la obtención de la información necesitada mediante un análisis esté en relación económica con el esfuerzo implicado. El análisis móvil sirve para que mediante un diagnóstico temprano se evite luego una terapia necesaria.

El análisis móvil debe poderse ajustar a las tareas específicas del lugar. Tanto si se requiere un resultado cualitativo en el sentido de "contenido - no contenido", tanto si se desea una determinación semicuantitativa de un intervalo de concentración o si es necesaria una determinación cuantitativa de las sustancias contenidas, nuestro programa de tests listos para el uso, que hemos estructurado adecuadamente, se ajusta a sus problemas especiales.



El programa móvil del pionero del análisis

Merckoquant® - Varillas analíticas

El microchip químico para análisis in situ es un minilaboratorio de unos sólo pocos milímetros cuadrados de área, pero adecuado para proporcionar informaciones analíticas en forma selectiva con una exactitud impresionante. Las varillas analíticas Merckoquant® están concebidas como tests previos y para determinar los intervalos de concentración.

Aquamerck®

Aplicable casi universalmente, el pequeño laboratorio Aquamerck® presenta en gran medida las propiedades: sencillez - rapidez - fiabilidad. Tanto si es para métodos volumétricos o colorimétricos, este sistema de tests listos para el uso es utilizable sin problemas por personas ajenas a la especialidad y por personal no entrenado.

Aquaquant®

Lo mejor para él son las pequeñas concentraciones. Este sistema es un desarrollo posterior consecuente de la línea Aquamerck®. La tecnología es tan convincente que la hemos patentado. El "sensible" es extraordinariamente adecuado para soluciones problemas en la calidad de agua potable.

Microquant®

Un envase resistente, un sistema compacto de comparación de color compuesto de un disco giratorio de plástico, protegido frente la humedad, caracterizan este sistema. El proceso por transparencia permite también el análisis de soluciones de muestras turbias. El "sistema robusto, de visión transparente", disfruta de estimación creciente en la rutina diaria.

Spectroquant®

Es la simbiosis convincente de química optimada, destacada tecnología de aparatos y asesoramiento profesional sobre el empleo. La química optimada consta de reactivos preparados, fácilmente dosificables o aún más sencillo, de tests de cubetas que solamente tienen que llenarse con el material de muestra. Nuestro innovador fotómetro SQ 118, junto con el asesoramiento profesional sobre el uso y la preparación de aplicaciones, completan el sistema.