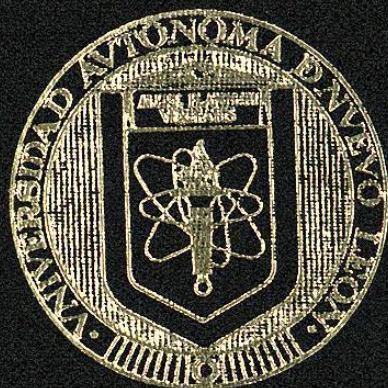


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

**FACULTAD DE CIENCIAS FISICO-MATEMATICAS
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO**



**DETECCION, MEDICION Y MODELO
MATEMATICO DE LA RADIACION IONIZANTE
PRODUCIDA EN TELEVISORES COMERCIALES**

T E S I S

**Que como requisito parcial para obtener el grado
de Maestría en Ciencias con Especialidad
en Metrología de la Radiación**

PRESENTA

Víctor Manuel Puente Tristán

ASESOR:

Dr. Bernabé Luis Rodríguez Buenrostro

San Nicolás de los Garza, N. L. Diciembre de 1998

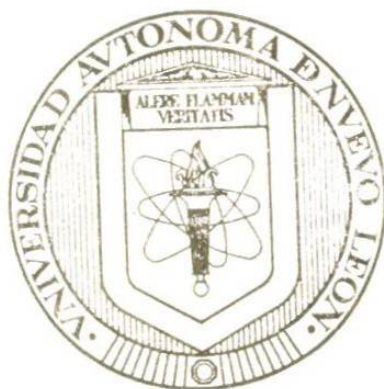


1020124895

ENCUADERNACIONES MODERNAS AMERICANAS
JESUS M. GARZA # 1217 OTE.
COL. TERMINAL
MONTERREY, N. L. MEXICO
TEL. 374-02-59

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE CIENCIAS FISICO-MATEMATICAS
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



DETECCION, MEDICION Y MODELO
MATEMATICO DE LA RADIACION IONIZANTE
PRODUCIDA EN TELEVISORES COMERCIALES

T E S I S

Que como requisito parcial para obtener el grado
de Maestría en Ciencias con Especialidad
en Metrología de la Radiación

P R E S E N T A

Víctor Manuel Puente Tristán

A S E S O R:

Dr. Bernabé Luis Rodríguez Buenrostro

San Nicolás de los Garza, N. L. Diciembre de 1998

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO-MATEMÁTICAS
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO**

**DETECCIÓN, MEDICIÓN Y MODELO MATEMÁTICO DE LA
RADIACIÓN IONIZANTE PRODUCIDA
EN TELEVISORES COMERCIALES.**

T E S I S

**Que como requisito parcial para obtener el grado de Maestría en
Ciencias con Especialidad en Metrología de la Radiación**

PRESENTA

Víctor Manuel Puente Tristán

ASESOR

Dr. Bernabé Luis Rodríguez Buenrostro

San Nicolás De Los Garza, N.L.

Diciembre de 1998

AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento al Dr. Bernabé Luis Rodríguez Buenrostro por la constancia y asesoría brindada a lo largo del presente trabajo, sin lo cual esta no hubiera sido posible.

A la Universidad Autónoma de Nuevo León por el apoyo económico otorgado, al Laboratorio de Metrología de las Radiaciones de la Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas por las facilidades para llevar a cabo la preparación de los cristales termoluminiscentes y sus respectivas lecturas, a los directores de las preparatorias 8 y 22 por permitirme utilizar las instalaciones donde se llevaron a cabo una parte de los experimentos, al Lic. Carlos Mata Martínez, por su desinteresado apoyo y valiosos comentarios, al Ing. Enrique Gerardo García Garza y a la Srta. Irma Leticia Hernández Gómez por el trabajo de formato y revisión ortográfica del documento.

Y a todas las personas que de alguna forma colaboraron para hacer posible la culminación de esta tesis.

DEDICATORIA

A MIS PADRES:

**Bernabé Puente Cortéz (†)
Ma. Guadalupe Tristán de Puente**

A MI ESPOSA:

Patricia Olivia Guardado de Puente

A MIS HIJOS:

**Víctor Emanuel
Yaneth Yudith**

**DETECCIÓN, MEDICIÓN Y MODELO MATEMÁTICO
DE LA RADIACIÓN IONIZANTE PRODUCIDA
EN TELEVISORES COMERCIALES.**

**Tesis presentada por Víctor Manuel Puente Tristán como
requisito parcial para obtener el grado de Maestría en
Ciencias con Especialidad en Metrología de la Radiación,
aprobada por el siguiente jurado:**

PRESIDENTE:

DR. BERNABÉ LUIS RODRÍGUEZ BUENROSTRO

SECRETARIO:

DRA. NORA ELIZONDO VILLARREAL

VOCAL:

DR. RUBÉN MORONES IBARRA

CONTENIDO

	Página
INTRODUCCIÓN	6
CAPÍTULO I	
RADIACIÓN IONIZANTE SU DETECCIÓN Y DOSIMETRÍA	
1.1 Generalidades	8
1.2 Detección de radiación	10
1.3 Dosimetría	12
1.4 Dosis absorbida	14
1.5 Unidades de exposición	17
1.6 Relación entre exposición y dosis	20
1.7 Dosis equivalente	21
1.8 Medición de la dosis absorbida y principio de Bragg-Gray	23
1.9 Kerma	
1.10 Materiales termoluminiscentes	24
CAPÍTULO II	
DAÑOS BIOLÓGICOS DE LA RADIACIÓN IONIZANTE	27
CAPÍTULO III	
PROPUESTA DE LA TESIS	33
CAPÍTULO IV	
PROCEDIMIENTO	35
CAPÍTULO V	
PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	37
CAPÍTULO VI	
CONCLUSIONES Y COMENTARIOS	38
REFERENCIAS	39

INTRODUCCIÓN

La problemática concerniente a la radiación ionizante producida por aparatos comerciales de televisión pasó prácticamente desapercibida hasta el advenimiento de las computadoras personales, dado que los usuarios de éstas, empezaron a mostrar síntomas de fatiga visual y otras molestias, debido principalmente a la cercanía entre la pantalla de los monitores de computadora y los órganos de la visión (ojos). Esto generó un conjunto de acciones precautorias y de investigación sobre los orígenes de tales circunstancias. Una de esas acciones implicó el monitorear la radiación ionizante emitida por terminales de video de microcomputadoras y también en aparatos comerciales de televisión, para así poder evaluar los riesgos que esta representa para la salud.

En nuestro país no hay todavía una normatividad ni metodologías aprobadas a nivel nacional para detectar, medir y evaluar la radiación emitida por aparatos comerciales de televisión.

La presente tesis se circunscribe en esta problemática y se realizó utilizando tecnología termoluminiscente.

En el capítulo I se incluye lo relativo a la detección y dosimetría de la radiación ionizante, para continuar en el capítulo II los daños biológicos que resultan al exponerse a ella. La propuesta de esta tesis se presenta en el capítulo III, el procedimiento experimental en el capítulo IV, para incluir en el capítulo V la presentación y análisis de resultados. Las conclusiones y comentarios están contenidas en el capítulo VI, y las Referencias respectivas posteriormente.

CAPÍTULO I

RADIACIÓN IONIZANTE Y SU DOSIMETRÍA

1.1 GENERALIDADES

La radioactividad es el nombre que recibió originalmente el fenómeno de emisión de partículas y u ondas electromagnéticas por parte de átomos ó núcleos atómicos. Por la época en que W. Roentgen descubría los rayos X (1895), H. Becquerel realizó el descubrimiento de la desintegración espontánea llamada radioactividad, al observar que ciertas sales de uranio emiten espontáneamente radiaciones, cuyas características fueron originalmente estudiadas sometiéndolas a campos eléctricos y magnéticos. (Ref.1).

Poco después, los esposos Curie (1897) obtuvieron a partir del elemento uranio, las sustancias que llamaron polonio y radio, las cuales mostraban marcadamente el fenómeno de la desintegración espontánea (Ref.2). En la actualidad a este fenómeno se le denomina radioactividad natural.

Las sustancias radioactivas emiten, según sus características propias, radiaciones semejantes a los rayos X, que se denominaron:

-Rayos alfa.

Forma los por partículas que ahora se sabe son núcleos de átomos de helio, o sea átomos de helio doblemente ionizados.

Rayos beta

Son partículas de carga negativa.

-Rayos gamma.

Son de carácter electromagnético como los rayos X.

Se dice que una radiación es ionizante cuando posee suficiente energía para generar iones a su paso por sustancias.

Actualmente, se conocen otras partículas producto de la desintegración nuclear atómica como las siguientes: n^0 , e^- , mesones, etc.

1.2 DETECCIÓN DE RADIACIÓN

En el estudio de las características de cualquier tipo de radiación, (energía, penetración, dispersión, efectos, etc.), es importante seleccionar apropiadamente los instrumentos de detección para tal fin.

Los detectores de radiación aprovechan algunos efectos de esta para intensificarla y así detectarla mejor. Con esta idea se han desarrollado diversos tipos de detectores y a continuación se presentan algunos. (Tabla 1)

Placa fotográfica	Rayos X, Beta, Electrones
Trazas	Alfa, Productos de fisión
Termoluminiscencia	Alfa, Beta, Neutrones
Electroscopio	Beta, Electrones
Cámara de Niebla	Alfa, Protones. Electrones
Cámara de burbujas	Protones de alta energía
Contador Geiger- Muller	Alfa o Beta
Contador de Centelleo	Gamma, Rayos X

Tabla 1. Detectores y su principal aplicación

- El contador GEIGER- MULLER. (Ref.4).

Consiste en un alambre coaxial dentro de un cilindro metálico con un potencial muy alto con respecto a ese cilindro, el alambre se descarga momentáneamente cuando una partícula cargada alfa ó beta entra al tubo por una ventana muy delgada.

- La cámara de niebla de WILSON. (Ref.4).

La cámara de niebla de Wilson inventada en 1911 utiliza un conjunto de iones que produce el desplazamiento de electrones, protones, ó partículas alfa móviles, es un aparato donde se condensan las gotillas de vapor de agua sobre diminutas partículas cuando el vapor se dilata.

-La cámara de burbujas.

La cámara de burbujas emplea hidrógeno líquido sobresaturado para formar las huellas de las trayectorias de las partículas.

- Los contadores de centelleo. (Ref.4).

Consisten en muchas fotoceldas orientadas de tal forma que pueden multiplicar diminutas corrientes eléctricas.

- Contadores de estado sólido. (Ref.4).

Convierten directamente la radiación incidente en corriente eléctrica de la misma manera que una celda de silicio convierte la energía luminosa en electricidad.

1.3 DOSIMETRÍA

Introducción:

En los primeros intentos de medición de dosis de radiación se utilizaba una película para radiografía dental con un clip adjunto. Con una fuente de exposición diaria se detectaba una sombra, la cuál fue considerada como la dosis máxima permisible. Para grandes dosis y propósitos de terapia la “unidad eritema de la piel” fue la unidad de dosis mas frecuentemente utilizada. Además se comprobó que la radiación absorbida por el cuerpo humano depende de la energía. (Ref.5).

1.4 DOSIS ABSORBIDA

El daño por radiación depende de la absorción de esta y es aproximadamente proporcional a la concentración de la energía absorbida en el tejido.

Por esta razón la unidad básica de dosis de radiación se expresa en términos de energía absorbida por unidad de masa del tejido, y es llamada Gray o Gy, y es definido como.

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J kg}^{-1}$$

y se aplica a todos los tipos de radiación ionizante debido a fuentes externas.

Antes de la adopción del SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES (S.I.) la dosis de radiación fue denominada R.A.D. (Radiation absorbed dose) que se define como la dosis de radiación absorbida de 100 ergs por gramo.

$$1 \text{ Rad} = 100 \text{ erg gr}^{-1}$$

Convenientemente se adoptó que:

$$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rads} = 1 \text{ J kg}^{-1}$$

1.5 UNIDADES DE EXPOSICIÓN

La dosis absorbida en algún punto dentro del organismo depende del tipo de energía de la radiación. La profundidad dentro y fuera del organismo del punto al cual la dosis absorbida es requerida y la constitución física ambiental del medio absorbente en ese punto, por ejemplo los huesos compuestos de Calcio y Fósforo cuyos números atómicos son mayores que los de los compuestos de tejido suave,

(Carbono, Oxígeno e Hidrógeno) absorbe mas energía de un haz de rayos X por unidad de masa del absorber, que el tejido suave. Por esta razón, el campo de rayos X al cual un organismo puede ser expuesto, se especifica por unidades de exposición. La unidad de exposición es una medida del flujo fotónico y está relacionada a la cantidad de energía transferida del campo de rayos X a una unidad de masa de aire. (Ref.1).

Una unidad de exposición se define como. La cantidad de radiación X ó gamma que produce en el aire iones de cualquier signo y que lleva una carga de 1 coulomb por kg

$$1 \text{ unidad X} = 1 \text{ C Kg(aire)}$$

La unidad de exposición está basada en la ionización del aire, debido a la relativa facilidad con que dicha ionización se puede medir, en un rango que va de algún kev hasta algunos mev, por lo cual el uso de la unidad de exposición es limitada para rayos X o gamma, cuyas cantidades de energía no exceden a 3 mev. Para fotones de alta energía, la exposición queda expresada en unidades de watt segundo por metro. La definición operacional de la unidad de exposición puede ser convertida en unidades de energía absorbida por unidad de masa de aire. Como la carga de un ión simple es de 1.6×10^{-19} C y la energía promedio disipada en la producción de un simple par iónico es aire es 34 ev, entonces:

$$1 \text{ X unit} = 1 \frac{\text{C}}{\text{kg(aire)}} \times \frac{1 \text{ ión}}{1.6 \times 10^{-19}} \times 34 \frac{\text{eV}}{\text{ión}} \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ J eV} \times 1 \frac{\text{Gy}}{\text{J / Kg}}$$

$$34 \text{ Gy (aire)}$$

Podemos notar que la unidad de exposición es una medida integrada de exposición e independiente del tiempo sobre el cual la exposición ocurre. La

intensidad de un campo de rayos X ó gamma, usualmente se expresa como una razón de exposición tal como coulomb por Kg. por hora. La exposición total, es el producto de razón de exposición y tiempo.

Antes de que el Sistema Internacional S.I. fuera adoptado, las unidades de rayos X de exposición fueron llamadas Roentgen y eran simbolizadas por R.

El Roentgen era definido como la cantidad de radiación X ó gamma que produce iones portando un stat-coulomb de carga por cm^3 de aire a $0^\circ C$ y 760 mm. de Hg.

$$1R = \frac{1.5C}{cm^3}$$

Puesto que un ion acarrea una carga de 4.8×10^{-10} sc. Y la masa de $1cm^3$ de aire es 0.001293g. una exposición de un Roentgen corresponde a una absorción de 87.7 erg. por gramo de aire.

$$1R = \frac{87.7 \text{ erg}}{g_a}$$

ó a una dosis a el aire de 0.877 Rads.

Cuando la exposición se mide en Roentgens. la intensidad del campo de los rayos X ó gamma es medida en unidades tales como Roentgens por minuto ó miliroentgens por hora.

La relacion entre la unidad de exposición y el Roentgen es:

$$1R = 3881R$$

1.6 RELACIÓN ENTRE EXPOSICIÓN Y DOSIS

La radiación absorbida por el cuerpo humano depende de la energía de esta, por el cual es necesario distinguir entre dosis absorbida de radiación y exposición a la radiación, (Tabla 2.)

Unidad Tradicional		Unidad en el Sistema Internacional (S.I.)	
Magnitud	Nombre	Nombre	Conversión
Exposición	Roentgen	C/Kg	1X=3881 R
Dosis absorbida	Rad	Gray	1 Gy=100 rad
Dosis equivalente	Rem	Sievert	1Sv = 100 rem

Tabla 2. Unidades de radiación y dosis.

En la cámara de pared de aire como lo indica su nombre, se mide la energía absorbida en el aire, sin embargo en la mayoría de los casos nos interesa medir la energía absorbida en el tejido. Puesto que la energía absorbida es aproximadamente proporcional a la densidad electrónica del absorber en la región de energía donde las unidades de exposición son válidas, se puede mostrar que la dosis en el tejido no es necesariamente igual a la dosis en el aire producida por algún campo de radiación. (Ref.1).

Datos del tejido muscular llevan al cálculo de la absorción de energía en Joules Kg de tejido correspondiente a la exposición de 1 C Kg $- 37 \text{ J Kg}_{\text{tejido}}$

Una exposición de 1R $= 57.8 \text{ erg g}_{\text{aire}}$ conduce a la Absorción de $0.95 \text{ erg g}_{\text{tejido}}$

1.7 DOSIS EQUIVALENTE

El Sievert es la unidad de radiación para dosis equivalente, la cual es usada para propósitos de protección de radiación. La dosis equivalente expresada en Sieverts, considera el Qf (Factor de Calidad) de la radiación así como la dosis absorbida.

Cuando la dosis absorbida en rads es multiplicada por el factor de calidad y otros factores modificantes, el resultado es la dosis expresado en rems.

El rem es la unidad de radiación ionizante igual a la cantidad que produce el mismo daño al hombre que un roentgen de rayos X de 250 kv.

En el sistema C.G.S. donde la dosis es expresada en rads, la unidad de dosis equivalente es el rem, el cual es definida como:

$$\text{Dosis Equivalente (Rem)} = \text{Dosis Absorbida (Rad)} \times \text{QF}$$

La unidad de dosis que se utiliza actualmente es el Sievert, el cual esta en función del Gray y se define como:

$$\text{Dosis Equivalente (Sv)} = \text{Dosis Absorbida (Gy)} \times \text{QF}$$

El valor de factor de calidad depende de la densidad de ionización causada por la radiación, que refleja la habilidad del tipo particular de radiación de causar daños biológicos.

1.8 MEDICIÓN DE LA DOSIS ABSORBIDA Y EL PRINCIPIO DE BRAGG-GRAY

De acuerdo al principio de Bragg-Gray la cantidad de ionización producida en una pequeña cavidad de gas rodeada por un medio absorbente sólido es proporcional a la energía absorbida por el sólido.

Para aplicaciones prácticas de este principio se requiere que la cantidad de gas sea suficientemente pequeña comparada con la masa del sólido absorbente para que se mantengan sin cambio las distribuciones angulares y la velocidad de los electrones primarios. Este requerimiento es satisfecho si los electrones primarios pierden sólo una pequeña fracción de su energía al atravesar la cavidad de gas.

Si la cavidad es rodeada por un medio sólido de espesor apropiado para establecer equilibrio electrónico (número de electrones que entran al volumen activo igual al número de electrones que salen de él), entonces la energía absorbida por unidad de masa del medio absorbente, dE_m/dM_m , está relacionada con la energía absorbida por unidad de masa de gas en la cavidad, dE_g/dM_g .

$$\frac{dE_m}{dM_m} = \frac{S_m}{S_g} \cdot \frac{dE_g}{dM_g}$$

Donde S_m es el poder frenado de masa de material de la pared y S_g es el poder frenado de masa de gas.

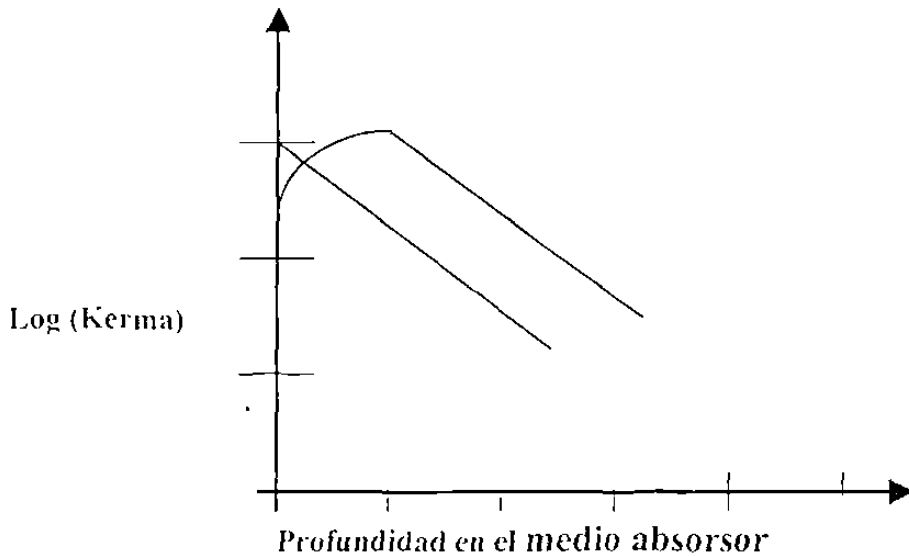
Puesto que la ionización por unidad de masa de gas es una medida directa de dI_g/dM_g , la ecuación anterior puede ser escrita como:

$$\frac{dI_m}{dM_m} = \rho \cdot W \cdot J$$

1.9 KERMA

El kerma se define como la energía cinética inicial de las partículas ionizantes primarias (fotoelectrones, electrones compton, par positrón, electrón, núcleos dispersados), producidos por la interacción de la radiación indirectamente ionizantes e incidente por unidad de masa del medio absorbente.

En otras palabras, el kerma es la suma de las energías cinéticas iniciales de todas las partículas liberadas por radiación ionizante de partículas sin carga (neutrones y fotones), en una muestra de materia, dividido por la masa de la muestra. El kerma se mide en $J\ kg$ o Gy. El kerma juega un papel importante en dosimetría de radiación porque es la energía liberada por unidad de masa de un material, y está estrechamente relacionada con la energía absorbida por unidad de masa de un material.



Gráfica 1.- Relación entre el Kerma y la dosis para radiación de fotones

Como se desprende de la gráfica 1, el kerma decrece continuamente al aumentar la profundidad en el medio absorbente a causa de la disminución continua en el flujo de la radiación indirectamente ionizante. Por otro lado, la dosis absorbida aumenta con la profundidad a medida que la densidad de las partículas ionizantes primarias y las partículas secundarias que estas producen aumenta, hasta que un máximo es alcanzado, después del cual la dosis absorbida disminuye al incrementarse la profundidad.

1.10 MATERIALES TERMOLUMINISCENTES

Algunos materiales inorgánicos cuando son expuestos a radiación ionizante emiten luz en forma fosforescente. Existen cristales, como los de fluoruro de litio, que al recibir cierto tipo de radiación, sus electrones pueden ser excitados y permanecer en estados con vidas medias muy largas (Ref. 4).

Los cristales termoluminiscentes también se usan como dosímetros personales, y tienen la ventaja de que una vez que emitieron la luz almacenada pueden volver a usarse, repitiéndose el ciclo varias veces.

De muchos materiales termoluminiscentes se ha comprobado que el LiF es ampliamente utilizado, ya que el desvanecimiento de este es despreciable a la temperatura ambiente y tiene además bajo número atómico, por lo cual no difiere mucho de un tejido o el aire. La energía depositada en el LiF está relacionada con la exposición a rayos gamma y neutrones.

CAPÍTULO II

DAÑOS BIÓLOGICOS DE LA RADIACIÓN IONIZANTE

La radiación ionizante da lugar a alteraciones o transformaciones químicas en las sustancias. La característica básica de la radiación ionizante es que requiere de energía para producir la ionización, y esa energía debe estar concentrada en espacios muy pequeños para poder transmitirse a los electrones atómicos. Una vez ionizados los átomos, pueden re combinarse o formar nuevos compuestos químicos, cuyo cambio puede ser permanente o de gran duración (Ref.1).

Sabemos que la radiación afecta a los organismos y la ionización que produce puede dar lugar a transformaciones químicas en la materia, si es materia viva interfieren estos cambios en las funciones vitales de las células que reciben radiación. Como algunas radiaciones pueden penetrar en el cuerpo estos efectos se pueden producir en órganos ó en células de muy diversas funciones, estos daños pueden resultar permanentes si suceden en órganos que no se regeneran (Ref.4).

Los efectos biológicos de la radiación en los órganos vitales se han clasificado en cuatro grupos:

1. Los que producen cáncer.
2. Las mutaciones genéticas.
3. Los efectos en los embriones durante el embarazo.
4. Las quemaduras por exposiciones excesivas.

En el primer grupo el cáncer se produce cuando una célula recibe daño en su aparato genético, lo cual da lugar a una reproducción desmedida, y por lo tanto a

un tumor. El cáncer se puede dar en muchas partes del cuerpo, pero principalmente en los pulmones, el colon, el recto y otras partes del aparato digestivo; en los hombres en la próstata en las mujeres en el pecho y en el útero. También se da en la sangre apareciendo como un exceso anormal de glóbulos blancos, la leucemia. Los primeros casos de muerte atribuible a la radiación fueron Marie Curie y su hija Irene pioneras en la separación de elementos radioactivos ver tabla 3.

Tiempo después de la exposición	Síntomas observados
0-48 horas	Pérdida de apetito, náusea, vómito, fatiga y postración
2 días a 2-3 semanas	Los síntomas enlistados arriba desaparecen y el paciente se recupera gradualmente
2 días a 2-3 semanas a 6-8 semanas	Amorotado y con hemorragia, diarrea, pérdida de pelo, fiebre y letargo severo. Es durante este período que ocurre fatalidad
6-8 semanas varios meses	Esta es la etapa de recuperación durante el cual el paciente sobreviviente comienza a mostrar una mejoría y los síntomas severos tienden a desaparecer

Tabla 3. Síntomas observados después de una dosis de exposición de 400-600 rem

El segundo grupo de efectos de la radiación comprende a las mutaciones genéticas. La mutación se debe a una alteración del orden de las moléculas en el ADN, que puede ser causada por la radiación o por otros factores, como la talidomida por ejemplo. Por otra parte, no podemos decir con certeza si sucederá una mutación, y por lo tanto se recurre al tratamiento estadístico de datos. Para tratar de dilucidar el papel que tiene la radiación en la producción de mutaciones genéticas, se han hecho experimentos en insectos los cuales son mucho más resistentes a los efectos de la radiación que los humanos, se han encontrado

algunas deformaciones como las alas y los ojos. Estos estudios no se pueden hacer con los humanos. Es posible que la radiación ambiental que producen mutaciones sea factor importante en la evolución de las especies. Esto posiblemente se aclare a medida que avance el estudio de la evolución.

El tercero es una etapa de la vida en que el organismo es sensible por estarse reproduciendo sus células a un ritmo acelerado. Los embriones son más sensibles a la radiación cuanto menos tiempo de vida tienen porque su crecimiento es más acelerado. Por eso una mujer embarazada debe evitar radiación hasta donde sea posible.

El cuarto grupo sucede en accidentes o radiaciones nucleares que pueden causar quemaduras y muerte de inmediato o cuando mucho, en unos pocos días. Una dosis letal para humanos es de 10,000 rads, llega en pocos días por daño a partes que no se regeneran, como el cerebro y el intestino. Ver tabla 4

Efecto	Período medio más reciente	Evidencias
Leucemia	8-10 años	Víctimas de la bomba atómica, tratamientos médicos, rayos X
Cáncer en los huesos	15 años	Instrumentos de pintura de radio lumínico
Cáncer de tiroides	15- 30 años	Víctimas de la bomba atómica, tratamientos médicos.
Cáncer pulmonar	10-20 años	Trabajadores de minas
Formación de cataratas	5-10 años	Víctimas de la bomba atómica

Tabla 4. Algunos efectos de radiación a largo plazo.

Los efectos que produce la radiación ionizante sobre la salud no son únicos muchas otras sustancias tienen efectos parecidos. Sin embargo, los producidos por la radiación se conocen mejor, por lo que permite fijar niveles de seguridad y establecer sistemas de medida y reglamento que nos protejan de los posibles daños. La radiación siempre ha existido en el medio ambiente por lo que es inevitable recibir ciertas dosis.

La interacción de la radiación ionizante con el cuerpo humano surge por diversos tipos de radiación ionizante, por fuentes externas ó por contaminación interna del cuerpo, debido a sustancias radioactivas, por tal motivo algunos mecanismos utilizados para detectar los daños de radiación son clasificados en dos categorías: Efectos estocásticos y efectos no estocásticos (Ref.1).

Los efectos estocásticos son aquellos que ocurren por casualidad y ellos ocurren entre gente expuesta así como a individuos expuestos.

Los efectos no estocásticos caen dentro de efectos biológicos y se caracterizan por tres categorías.

1. Una dosis mínima puede ser excedida antes que el efectos particular sea observado.
2. La magnitud de los efectos se incrementa con el tamaño de la dosis.
3. Cuando la magnitud del efecto, responde a una dosis dada.

La responsabilidad básica para condicionar las guías en materias de seguridad de radiación han sido resumidas por la International Commission on Radiological Protection. Esta organización fue establecida en 1928 por el segundo congreso de internacional rayos X y la comisión de protección de radio. La política adoptada por esta comisión consiste en un convenio con las principales bases de protección de radiación, la responsabilidad de introducir recomendaciones técnicas (Ref.4.)

Para propósitos de normas de seguridad la I.C.R.P. reconoce tres categorías de exposición.

1.- Exposición de riesgo profesional a los adultos los cuales son expuestos a radiación ionizante en el curso de su trabajo. Personas en esta categoría pueden ser llamados trabajadores de radiación (P.O.E.) “Personal Ocupacionalmente Expuesto”.

Esta categoría contiene dos sub-grupos:

- a) **Mujeres embarazadas.**
- b) **Todos los trabajadores de radiaciones.**

2.- *Miembros del público en general*, esta categoría esta considerada en dos niveles.

- a) **Miembros individuales del público.**
- b) **Grupos de población.**

3.- Exposición médica, esta categoría establece con la exposición intencional de pacientes por diagnóstico y propósitos terapéuticos por medios calificados técnicamente y personal paramédico. No incluye la exposición al personal envuelto en la administración de radiación a pacientes.

Para exposiciones de normas de seguridad, la I.C.R.P. recomienda los siguientes límites de dosis equivalente:

1.- Al prevenir efectos no estocásticos:

a).- 0.5 Sv (50) rem en todos los tejidos excepto el cristalino de los ojos.

b).- 0.15 Sv (15) rem al cristalino de los ojos. Estos límites aplicables a los tejidos son expuestos uno por uno junto con los órganos.

2.- Para limitar efectos estocásticos el límite de dosis equivalente de radiación para todo el cuerpo es de 50mSv (5) rem por un año.

CAPÍTULO III

PROPUESTA DE LA TESIS

El presente trabajo de tesis se origina en investigaciones realizadas en el Departamanto de Metrología de las Radiaciones de la F.C.F.M. de la U.A.N.L. (ref. 7 y ref. 10), y tiene como propósito el establecer una metodología que permita medir las dosis de radiación ionizante emitidas por aparatos comerciales de televisión utilizando dosímetros termoluminiscentes, para luego evaluar los riesgos que representan para la salud así como el modelo matemático correspondiente.

Por lo antes expuesto nuestra propuesta de tesis consiste en :

- Demostrar que los niveles de radiación X y la ultravioleta que se producen en aparatos comerciales de televisión pueden ser detectados utilizando dosímetros termoluminiscentes.
- Con base en lo anterior, evaluar los riesgos que dicha radiación representa para la salud.
- Consolidar un modelo matemático que permita entender y corroborar el carácter aditivo de las microdosis absorbidas según el tiempo de exposición.

CAPÍTULO IV

PROCEDIMIENTO

Se diseñó y construyó una rejilla de madera la cual consistió de 6 hileras de hilo de plástico, donde se colocaron de 10 a 15 dosímetros termoluminiscentes como detectores de radiación frente a la pantalla de un televisor comercial (ref.11), y a una pulgada de distancia.

Además fueron colocados dosímetros como testigos para medir la radiación de fondo en diferentes direcciones y a distancias de la fuente de entre 3,4 y 5 mts. (Fig. 1 y 2).

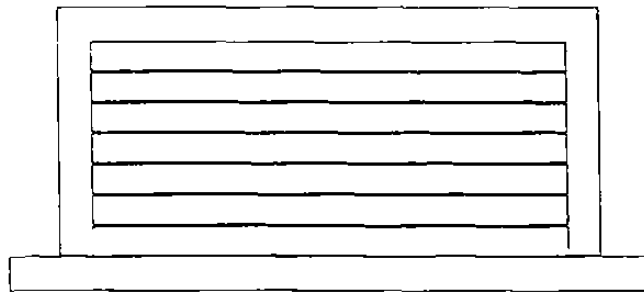


Fig. 1.- Soporte para dosímetros termoluminiscentes.

Cada dosímetro se preparó para el experimento calentándolo a 400° C durante 3 horas en un horno marca Thermolyne, modelo 47900, trazado al NIST.

Terminada cada una de las pruebas se analizaron cada una de las dosis absorbidas por los cristales a los cuales se les dió lectura con un lector de dosímetros marca Victoreen, modelo 2800 M, también trazado al NIST.

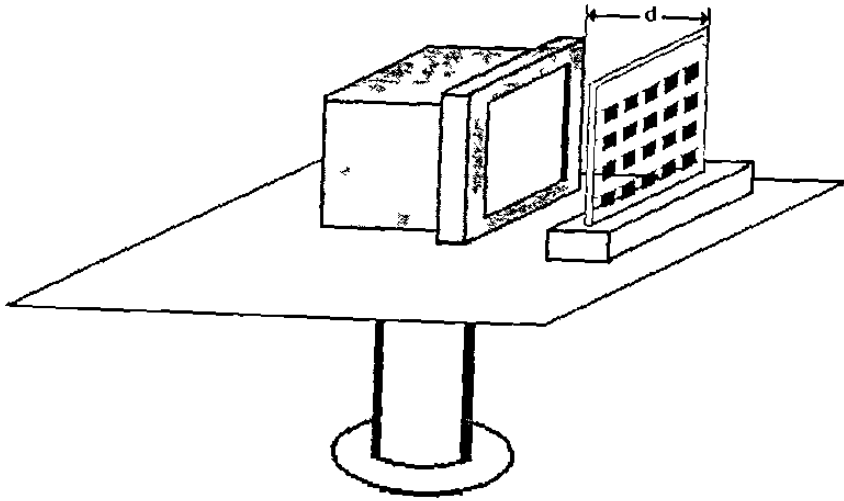


Fig. 2. Diseño del esquema experimental

CAPÍTULO V

PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados experimentales obtenidos se presentan en las tablas 5, 6, 7, 8 y 9, una vez efectuados los descartes correspondientes a las primeras cuatro, así como sus respectivas medias y desviaciones típicas (std.)

En las gráficas 2, 3, 4, 5 y 6 se encuentran representadas las medias de las dosis absorbidas por los dosímetros frente a monitor, así como la diferencia entre ambas.

En las tablas también está incluida la información sobre los intervalos de tiempo en que se efectuaron las mediciones en el presente año de 1998. y que son:

- 1.- 150 horas del 4 de febrero al 14 de febrero.**
- 2.- 300 horas del 3 de junio al 16 de junio.**
- 3.- 500 horas del 17 de junio al 8 de julio.**
- 4.- 500 horas del 23 de julio al 12 de agosto.**
- 5.- 500 horas del 25 de agosto al 17 de septiembre.**

4-Febrero-1998, hora 8:00 A.M.

14-Febrero-1998, hora 12:00 P.M.

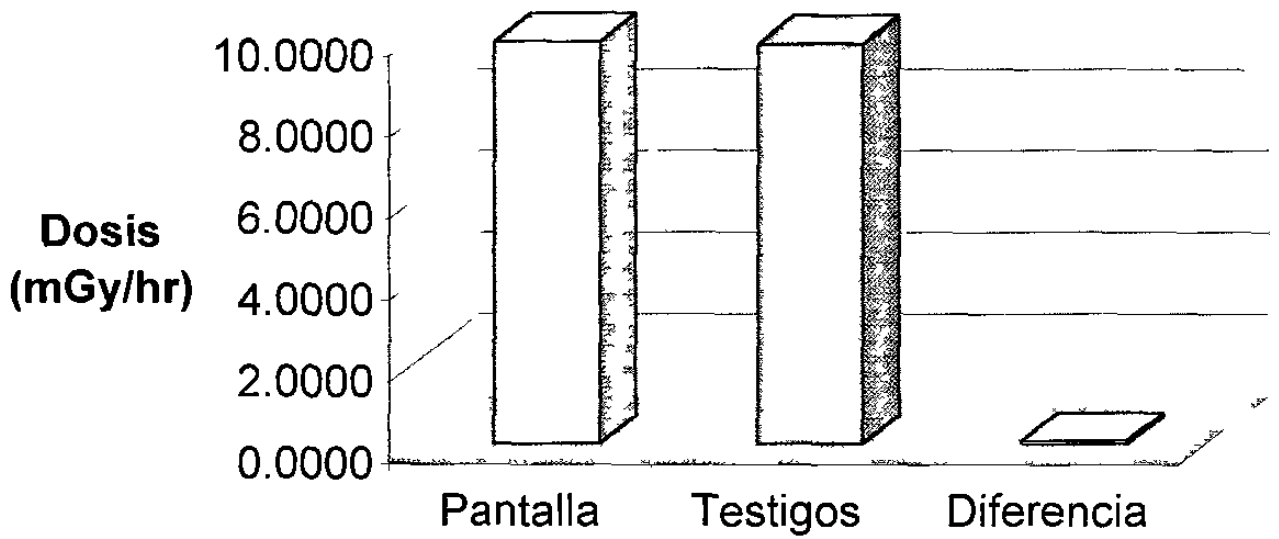
	LLEGADA AL LABORATORIO	DATOS CORREGIDOS
No.	mGy	mGy
1	10.09	10.09
2	9.87	9.87
3	9.67	9.67
4	9.64	9.64
5	9.86	9.86
6	9.71	9.71
7	9.98	9.98
\bar{X}	9.9240	
σ_{n-1}	0.3950	
8	9.68	9.68
9	9.87	9.87
\bar{X}	9.9567	
σ_{n-1}	0.3287	

Tabla No. 5

Datos corregidos de la dosis de radiación absorbida por los cristales en mGy después de 150 horas de exposición.

En resumen :

	Pantalla	Testigos	Diferencia
Media	9.8520	9.7750	0.0770
Desviación estandar	0.1677	0.1344	



GRÁFICA 2.-MEDIA ARITMÉTICA DE LOS DATOS DE LA TABLA No. 5

3-Junio-1998, hora 10.45 A.M.

16-Junio-1998, hora 11:00 A.M.

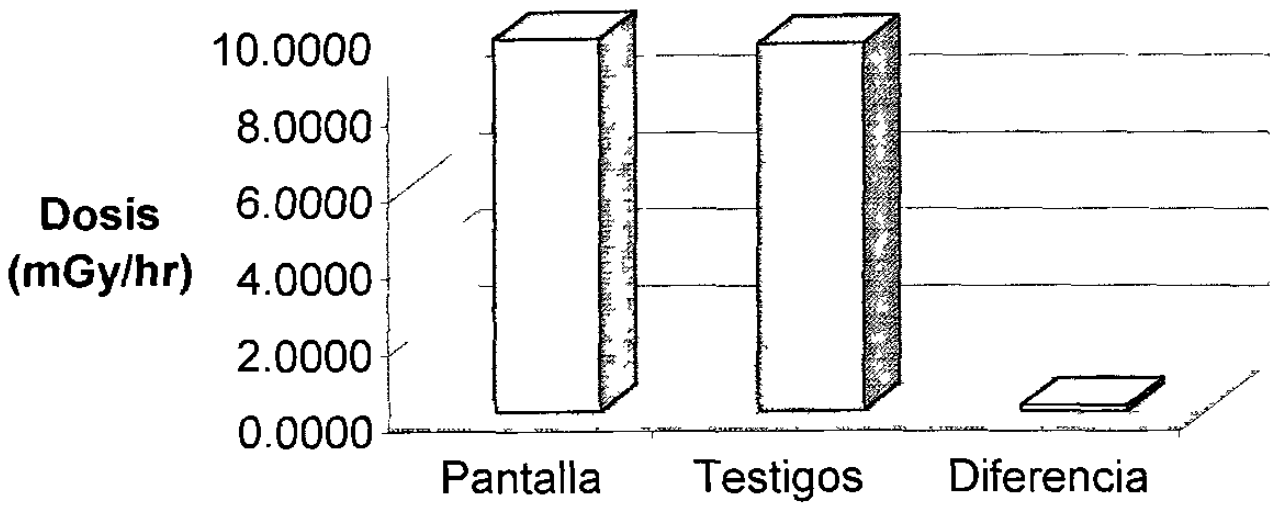
	LLEGADA AL LABORATORIO	DATOS CORREGIDOS
No.	mGy	mGy
1	9.45	9.45
2	9.95	9.95
3	9.70	9.70
4	9.93	9.93
5	9.51	9.51
6	9.43	9.43
7	9.73	9.73
8	9.93	9.93
9	9.38	9.38
10	9.90	9.90
\bar{X}	9.6707	
σ_{n-1}	0.3074	
11	9.52	9.52
12	9.58	9.58
\bar{X}	9.9467	
σ_{n-1}	0.6877	

Tabla No. 6

Datos corregidos de la dosis de radiación absorbida por los cristales en mGy después de 300 horas de exposición.

En resumen :

	Pantalla	Testigos	Diferencia
Media	9.6910	9.5500	0.1410
Desviación estandar	0.2315	0.0424	



GRÁFICA 3.- MEDIA ARITMÉTICA DE LOS DATOS DE LA TABLA No. 6

17-Junio-1998, hora 10.15 A.M

8-Julio-1998, hora 11.00 A.M

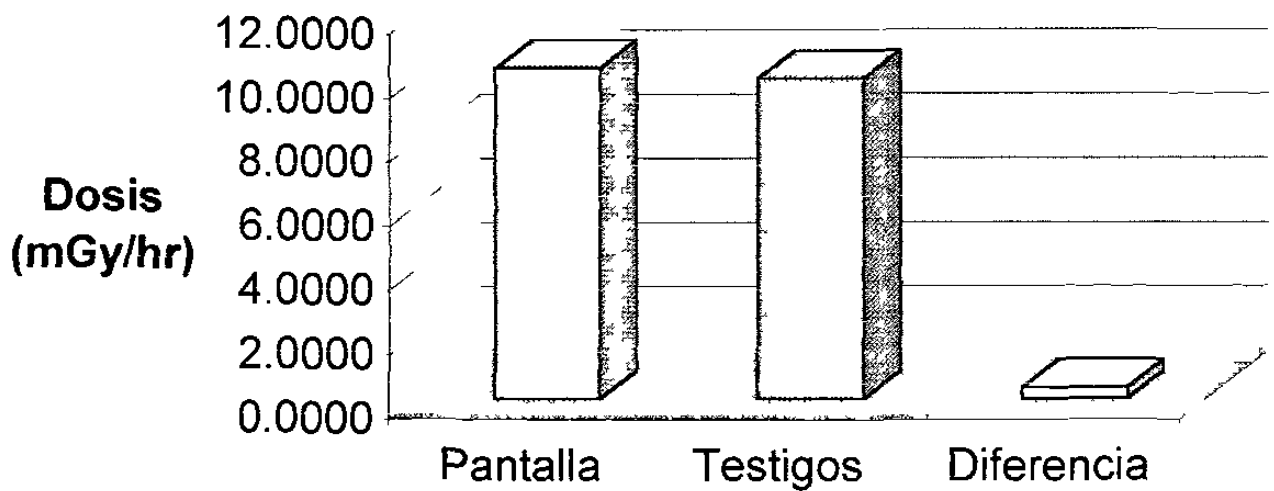
	LLEGADA AL LABORATORIO	DATOS CORREGIDOS
No.	mGy	mGy
1	9.68	9.68
2	9.72	9.72
3	10.02	10.02
4	10.16	10.16
5	10.11	10.11
6	10.20	10.20
7	10.97	10.97
8	11.08	11.08
9	10.52	10.52
10	10.05	10.05
11	10.31	10.31
12	11.11	11.11
13	10.21	10.21
\bar{X}	10.6287	
$\sigma_n - 1$	0.9583	
14	10.32	10.32
15	9.67	9.67
16	10.05	10.05
17	10.41	10.41
18	10.10	10.10
19	9.66	9.66
20	9.64	9.64
\bar{X}	9.9240	
$\sigma_n - 1$	0.5028	

Tabla No. 7

Datos corregidos de la dosis de radiación absorbida por los cristales en mGy después de 500 horas de exposición.

En resumen :

	Pantalla	Testigos	Diferencia
Media	10.3185	9.9786	0.3399
Desviación estandar	0.4737	0.3250	



GRÁFICA 4.- MEDIA ARITMÉTICA DE LOS DATOS DE LA TABLA No. 7

23-Julio-1998, hora 10.00 A.M.

12-Agosto-1998, hora 1:00 P.M.

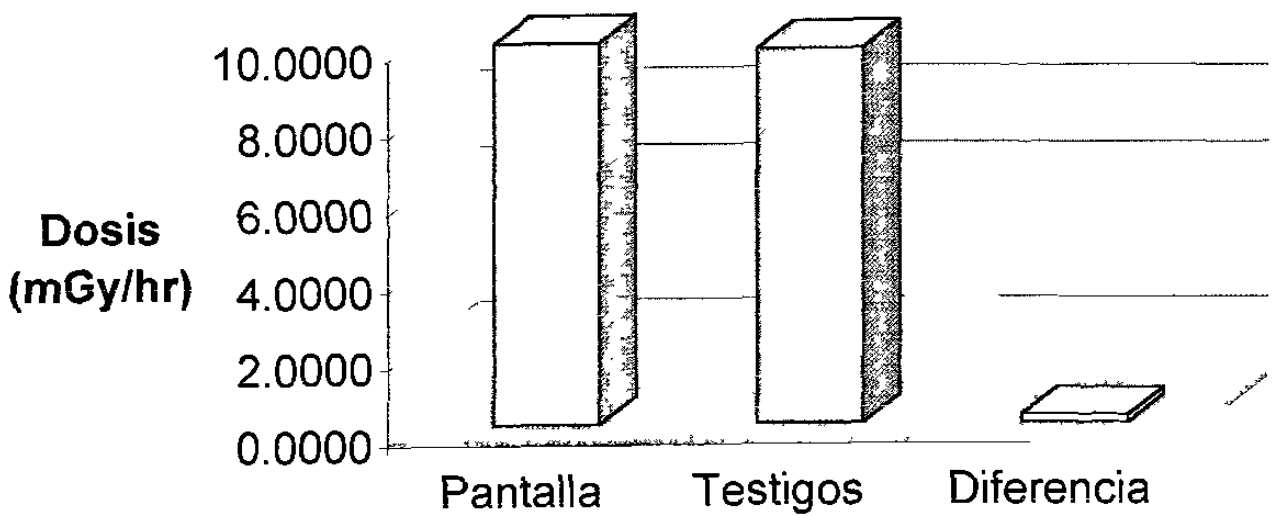
	LLEGADA AL LABORATORIO	DATOS CORREGIDOS
No.	mGy	mGy
1	9.85	9.85
2	9.87	9.87
3	9.82	9.82
4	10.30	10.30
5	10.09	10.09
6	9.89	9.89
7	10.18	10.18
8	9.55	9.55
9	9.62	9.62
10	9.80	9.80
\bar{X}	9.9180	
σ_{n-1}	0.4046	
11	9.68	9.68
12	9.75	9.75
13	9.50	9.50
14	9.50	9.50
15	9.79	9.79
16	10.02	10.02
\bar{X}	9.7310	
σ_{n-1}	0.3293	

Tabla No. 8

Datos corregidos de la dosis de radiación absorbida por los cristales en mGy después de 500 horas de exposición.

En resumen :

	Pantalla	Testigos	Diferencia
Media	9.8970	9.7067	0.1903
Desviación estandar	0.2346	0.1965	



GRÁFICA 5.- MEDIA ARITMÉTICA DE LOS DATOS DE LA TABLA No.8

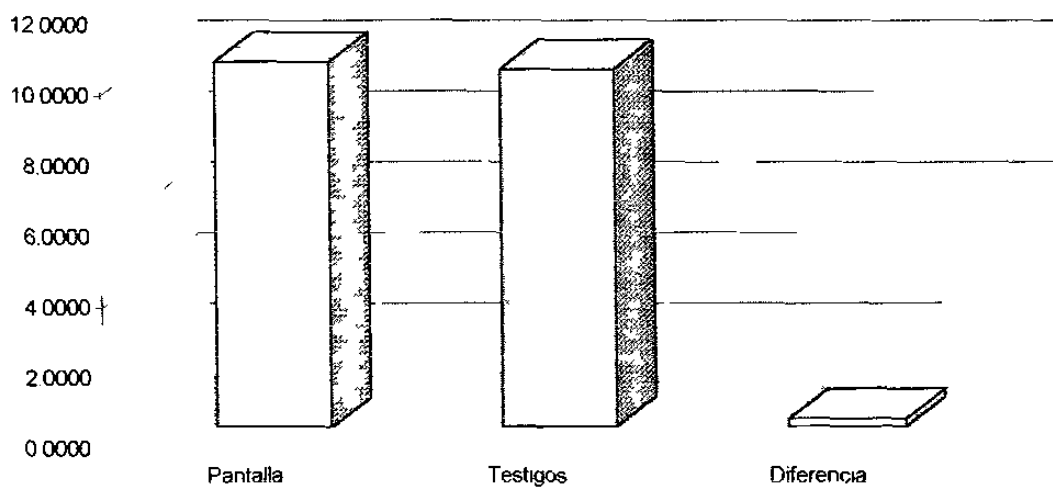
SALIDA DEL HORNO		LLEGADA AL LABORATORIO	
No.Cristal	mGy	No.Cristal	mGy
1	8.83	1	9.89
2	8.87	2	11.03
3	8.88	3	9.83
4	8.93	4	10.14
5	8.79	5	10.04
6	8.93	6	10.71
7	8.81	7	9.86
8	8.92	8	10.37
9	8.57	9	10.23
10	8.73	10	10.81
11	8.63	11	9.81
12	8.69	12	9.88
13	8.80	13	10.78
14	8.75	14	10.60
15	8.76	15	10.83
16	8.80	16	10.16
17	8.80	17	9.54
18	8.76	18	10.28
19	8.81	19	10.52
20	8.84	20	9.59
21	8.66	21	9.77
22	8.63	22	10.38
23	8.68	23	10.54
24	8.73	24	10.11

Tabla No. 9

Datos significativos de la dosis absorbida por los cristales en después de 500 horas de exposición.

En resumen :

	Pantalla	Testigos	Diferencia
Media	10 3207	10 0989	0 2218
Desviacion estandar	0 4357	0 3820	



GRÁFICA 6.-MEDIA ARITMÉTICA DE LOS DATOS DE LA TABLA No. 9

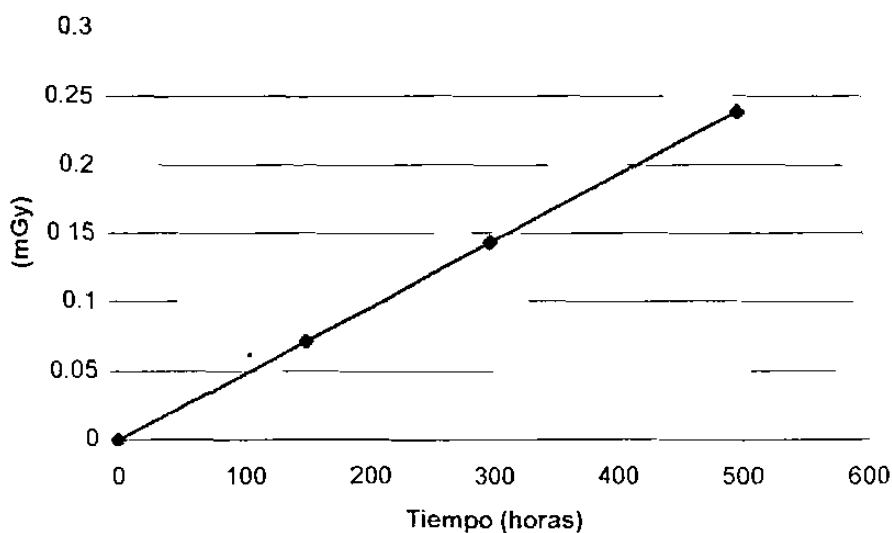
Además, en la gráfica 8 se presenta la línea recta que se obtuvo para este caso utilizando el método de mínimos cuadrados (ref. 12), cuya ecuación resultó ser:

$$Y = 0.00047754 t + 0.000262 \quad (4)$$

Con un coeficiente de correlación:

$$\rho = 0.99875 \quad (5)$$

En el apéndice 1, se muestra la forma en que se obtuvieron estos valores y en la gráfica 8 se representa a la recta correspondiente a la ecuación 4.



Gráfica 8.- Representación de la ecuación (4).

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

Los resultados obtenidos que se presentan en las tablas de la cinco a la nueve o en las gráficas de la dos a la seis, se incluyen como un solo conjunto de datos a través de la ecuación correspondiente a la gráfica 7, y que resultó ser, después de ajustarla por el método de mínimos cuadrados de Gauss (12):

$$y = 0.00047754t + 0.000262 \quad (4)$$

Con estos resultados se comprueba favorablemente la propuesta de esta tesis en lo referente a detectar, medir y establecer un modelo matemático, a través del uso de cristales termoluminiscentes, de la radiación ionizante (radiación X y/o ultravioleta) producida por televisores comerciales.

El hecho de haber colocado los detectores (cristales termoluminiscentes de LiF) a la distancia de una pulgada de la pantalla del televisor, se debe a las referencias citadas en la literatura científica del caso (13), donde se indica que la dosis máxima permitida para un aparato comercial de televisión y a una pulgada de distancia es de 0.005 mSv/hora. En nuestro caso se obtuvo una razón de dosis del orden de 0.0004 mSv/hora, que corresponde aproximadamente a una décima parte de la máxima permisible.

Entre los aspectos más importantes y relevantes de la presente tesis están los siguientes:

- 1.- Haber mostrado que los cristales termoluminiscentes de fluoruro de litio (LiF) pueden ser utilizados para detectar y medir razones de dosis de radiación X y o ultravioleta en televisores comerciales.
- 2.- Esta tecnología termoluminiscente se constituye en un método alternativo para llevar a cabo pruebas de control de calidad en aparatos de televisión (al menos, comerciales), principalmente por su bajo costo.
- 3.- El método matemático obtenido, con una correlación de 0.99875, es una garantía de prueba para el caracter aditivo (lineal) de microdosis.
- 4.- Considerando las recomendaciones internacionales presentadas en el apéndice 2, se encuentra que en este caso, la dosis acumulada en un año sería del orden de 3.5 mSv. Y aunque es natural observar la televisión a unos metros de distancia, el hecho de haber medido dicha dosis a una pulgada de la pantalla del televisor y no a distancias mayores, se debe principalmente a que la dispersión y atenuación de la radiación aumentan al aumentar la distancia de separación entre el observador y la pantalla del televisor.
- 5.- Otro aspecto importante de la presente tesis es el de constituirse en fuente de información para futuras investigaciones como son las siguientes:
 - Extender este trabajo para diferentes marcas, modelos y tamaños de televisores y o monitores (terminales) de computadoras.

- Realizar análisis de la dispersión y atenuación de la radiación X y/o ultravioleta que producen los televisores comerciales en función de la distancia.
- Convertirse en metodología y tecnología de comparación.
- Evaluación de riesgos para la salud.
- Metodología para establecer la normatividad nacional en estos casos.

APÉNDICE 1

El método de mínimos cuadrados permite ajustar, en este caso, datos experimentales para representarlos a través de una línea recta (ref. 12).

Se necesita obtener la línea recta que mejor se ajusta a los datos experimentales, para lo cual se definen las siguientes expresiones.

ECUACIÓN LINEAL

$\sum t$ es la suma de los tiempos

$\sum d$ es la suma de las dosis absorbidas

$\sum td$ es la suma del producto de los tiempos y las dosis absorbidas

$\sum t^2$ es la suma de los tiempos al cuadrado

n es el número de datos

Además,

$$m = \frac{sc(td)}{s(t)}$$

$$sc(td) = \sum td - \frac{\sum t \sum d}{n}$$

$$s(t) = \sum t^2 - \frac{(\sum t)^2}{n}$$

$$b = \frac{1}{n} (\sum d - m \sum t)$$

$$y = \frac{sc(td)}{s(t)} + \frac{1}{n} (\sum d - m \sum t)$$

(4)

Y en nuestro caso, la ecuación de la recta ajustada es de la forma:

$$y = mx + b$$

t	d	t . d	t ²
150	0.0770	11.55	22,500
300	0.1410	42.30	.90000
500	0.2434	121.70	250,000
$\Sigma t = 950$	$\Sigma d = 0.4614$	$\Sigma t . d = 175.55$	$\Sigma t^2 = 362,500$

Tabla No. 10

Datos para determinar la ecuación de la recta y el coeficiente de correlación.

Con lo cual:

$$sc(t . d) = \Sigma t . d - \frac{\Sigma t \Sigma d}{n}$$

$$= 175.55 - \frac{(950)(0.4614)}{3}$$

$$= 175.55 - 146.11 = 29.44$$

$$sc(t) = \Sigma t^2 - \frac{(\Sigma t)^2}{n} = 362,500 - \frac{902,500}{3}$$

$$= 362,500 - 300833.\bar{3} = 61,666.6$$

Así, la pendiente m y la ordenada en el origen b. son:

$$m = \frac{sc(t . d)}{sc(t)} = \frac{29.44}{61,666.6} = 4.77 \times 10^{-4} = 0.0004774$$

$$b = \frac{1}{3} [(0.4614) - (0.0004774)(950)] = 2623 \times 10^{-3} = 0.002623$$

Por lo tanto:

$$y = 0.0004774t + 0.000262$$

Con una correlación ρ , dada por:

$$\rho = \frac{sc(t \cdot d)}{\sqrt{sc(t)sc(d)}} \quad (5)$$

$$sc(td) = 29.44$$

$$sc(t) = 61,666.66$$

$$sc(d) = \sum d^2 - \frac{(\sum d)^2}{n} = 0.08505 - 0.07096 = sc(d) = 0.01409$$

$$\rho = \frac{29.44}{(61,666.66)(0.01409)} = \frac{29.44}{29.476} = 0.99875 \text{ coeficiente de correlación}$$

APENDICE 2

En las tablas 10 y 11 se indican algunas recomendaciones de dosis límite y en la tabla 12 se dan las dosis promedio de varias fuentes.

Exposición en la totalidad del cuerpo y en varias partes del mismo.	Personal ocupacionalmente expuestos (POE)
Adultos	50 mSv al año
Piel	500 mSv al año
Extremidades	500 mSv al año
Cristalino de los ojos	150 mSv al año

Tabla 11. Dosis máximas equivalentes permitidas límites. (Ref. 9)

Exposición en la totalidad del cuerpo y en varias partes del mismo	Máximas dosis equivalentes de exposición para el público
Niños y adolescentes	5 mSv al año
Cristalino de los ojos	50 mSv al año
Piel	50 mSv al año
Mujeres en estado de gestacion	5 mSv al año

Tabla 12. Dosis máximas equivalentes permitidas límites. (Ref. 9)

Promedio de radiación de fondo todas las fuentes	2.5 mSv/año
Fuentes naturales (público)	3.0 mSv/año
Fuentes médicas (público)	0.53 mSv año
Rayos-X de un aparato de TV (1 pulgada)	0.005 mSv/hora
Gas natural en casa	0.09 mSv/año
Radiación terrestre	0.28 mSv/año
Rayos-X dental	0.10 mSv/año
Rayos-X de terminal de computadora	0.0038 mSv/hora
Rayos-X de monitor de computadora (7)	0.01 mSv/hora

Tabla 13. Dosis de varias fuentes. (Ref. 9)

REFERENCIAS

- 1.- CEMBER, H.
Introduction To Health Physics
Pergamon Press, 1993
- 2.- KAPLAN, I.
Nuclear Physics
Addison Wesley, 1972
- 3.- GONZALEZ, M.A.
Diseño de un monitoreo de la dispersión de rayos X
(Tesis de Maestría)
Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas, UANL, 1995
- 4.- KNOLL, G.F.
Radiation Detection And Measurement
John Wiley & Sons, 1991
- 5.- DRISNER, L.
Principles of Radiation Protection Engineering
Mc Graw Hill, 1989

- 6.- MORENO, M.D.
Modelo de la Dispersión de Rayos X en Radiografía Dental
(Tesis de Maestría), Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas,
UANL, 1997

- 7.- MATA, C.
Dosimetría Termoluminiscente para Evaluar y Monitorear Los Niveles y Riesgos de la Radiación Ionizante Producida Por Monitores De Computadoras. (Tesis de Maestría)
Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas, U.A.N.L. 1998

- 8.- ERIC HALL and BEIR
Radiobiology for the Radiologist
Forth Edition, 1994

- 9.- LACHENBRUCK, D.
What You Should Know About X Ray Radiation in TV Sets.
Radio Electronics,

- 10.- RODRIGUEZ, B.; MATA, C.; VAZQUEZ, D.
Aplicabilidad de la dosimetría termoluminiscente a terminales de video.
Memorias. XLI Congreso Nacional de Física
Sociedad Mexicana de Física, 1998

11.- Televisor marca SEARS modelo tcb-10 19 pm, de 20''
UHF VHF, AC;120v, 60 Hertz, 85 watts.

12.- Rascon CH. O. A.

Introducción a la estadística descriptiva

Volumen II

Dirección General de Publicaciones

Segunda Edición, 1977

13.- SHAPIRO, J.

Radiation Protection.

Harvard University press.

Cambridge, Massachusetts and London, England, 1990.

