

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE CIENCIAS FISICO-MATEMATICAS  
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



DOSIMETRIA TERMOLUMINISCENTE PARA EVALUAR Y  
MONITOREAR LOS NIVELES Y RIESGOS DE LA RADIACION  
IONIZANTE PRODUCIDA POR MONITORES DE COMPUTADORAS.

T E S I S

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL  
GRADO DE MAESTRIA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN  
METROLOGIA DE LA RADIACION

PRESENTA  
CARLOS MATA MARTINEZ

ASESOR: DR. BERNABE LUIS RODRIGUEZ BUENROSTRO

SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N. L.

OCTUBRE DE 1998

1998  
DOSSIMETRY  
TERMINAL  
PAPER  
EVALUATION  
OF  
RADIATION  
EXPOSURE  
IN  
INDUSTRIAL  
ENVIRONMENT

FM  
Z665  
FCFM  
1998  
M3



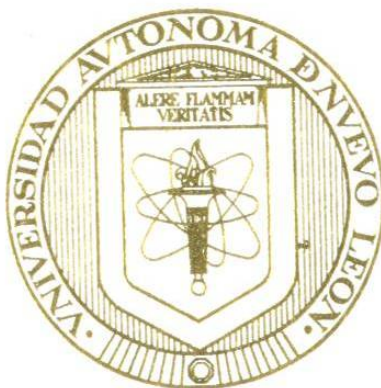
1020123939

ENCUADERACIONES MEXICANAS AMERICANAS  
JESUS M. GARCIA #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



DOSIMETRIA TERMOLUMINISCENTE PARA EVALUAR Y  
MONITOREAR LOS NIVELES Y RIESGOS DE LA RADIACION  
IONIZANTE PRODUCIDA POR MONITORES DE COMPUTADORAS.

## T E S I S

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL  
GRADO DE MAESTRIA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN  
METROLOGIA DE LA RADIACION

PRESENTA  
CARLOS MATA MARTINEZ

ASESOR: DR. BERNABE LUIS RODRIGUEZ BUENROSTRO

SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N. L.      OCTUBRE DE 1998

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

DOSIMETRÍA TERMOLUMINISCENTE PARA EVALUAR Y MONITOREAR LOS  
NIVELES Y RIESGOS DE LA RADIACIÓN IONIZANTE PRODUCIDA POR  
MONITORES DE COMPUTADORAS

**TESIS**

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

PRESENTA

Carlos Mata Martínez

ASESOR

Dr. Bernabé Luis Rodríguez Buenrostro

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



FONDO  
TESIS

## AGRADECIMIENTOS

La elaboración de la presente investigación ha sido posible gracias al apoyo y colaboración del Dr. Bernabé L. Rodríguez B. que fungió como mi asesor y a quien en gran parte corresponde la idea fundamental que inspira este trabajo.

A la Universidad Autónoma de Nuevo León por el apoyo económico brindado, al Ing. Rafael Villarreal Guajardo, Director de la Preparatoria No. 8 de la U.A.N.L. por permitirme utilizar las instalaciones del laboratorio de Física donde lleve a cabo una parte de los experimentos, a la Srta. Irma Leticia Hernández Gómez por el trabajo de formato y revisión ortográfica del documento,

Y a todas las personas que de una u otra manera, colaboraron con el desarrollo de la misma,

El autor les queda profundamente agradecido

## **DEDICATORIA**

**Gracias Dios por iluminar mi camino, por estar siempre conmigo y ayudarme en los momentos más difíciles, y ante todo, por ser mi mejor amigo.**

**Y**

**A MIS PADRES**

**Crescencio Mata Luna**

**Consuelo Martínez Medina**

**Por su cariño, consejos, comprensión y abnegación**



**DOSIMETRÍA TERMOLUMINISCENTE PARA EVALUAR Y  
MONITOREAR LOS NIVELES Y RIESGOS DE LA  
RADIACIÓN IONIZANTE PRODUCIDOS POR  
MONITORES DE COMPUTADORAS**

Tesis presentada por Carlos Mata Martínez como requisito parcial para obtener el grado de Maestría en Ciencias con Especialidad en Metrología de la Radiación, aprobado por el siguiente jurado:

P R E S I D E N T E:

---

DR. BERNABÉ LUIS RODRÍGUEZ BUENROSTRO

S E C R E T A R I O:

---

DRA. NORA ELIZONDO VILLARREAL

V O C A L:

---

M. C. JOSÉ LUIS COMPARÁN ELIZONDO

# CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	6
CAPITULO I	
RADIACIÓN IONIZANTE Y SU DOSIMETRÍA	
1.1 Introducción	8
1.2 Dosis absorbida	9
1.3 Exposición	9
1.4 Cámara de ionización	11
1.5 Relación entre exposición y dosis	12
1.6 Dosis equivalente	13
1.7 Medición de la dosis absorbida: Principio de Bragg-Gray	16
1.8 Kerma	17
1.9 Materiales termoluminiscentes	19
CAPITULO II	
DAÑOS BIOLÓGICOS DE LA RADIACIÓN IONIZANTE	21
CAPITULO III	
PROPUESTA DE TESIS	27
CAPITULO IV	
PROCEDIMIENTO	28
CAPITULO V	
PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	31
CAPITULO VI	
CONCLUSIONES Y COMENTARIOS	40
CAPITULO VII	
REFERENCIAS	44

# INTRODUCCIÓN

Recientemente se han realizado investigaciones sobre monitoreos de radiación ionizante en el Laboratorio de Dosimetría de la Maestría en Metrología de la Radiación en la Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas de la U.A.N.L. utilizando dosímetros termoluminiscentes, como se muestran en los trabajos de M.C. Mario Alberto González Medina <sup>(6)</sup> y M.C. María Dolores Moreno Jiménez.<sup>(7)</sup>

En nuestro país existen diversas formas para el uso y aplicación de radiación ionizante. Un caso particular y de mucho interés lo constituye el empleo de monitores de computadoras dado el enorme incremento de usuarios de estos equipos, surgiendo entonces la necesidad de contar con instrumentos y métodos confiables que permitan evaluar los riesgos que representa para la salud la radiación que emiten dichos monitores. El tema no ha sido difundido en forma clara por parte de fabricantes y distribuidores. Las computadoras personales están llegando a ser rápidamente un artículo familiar estándar y a diferencia de la televisión, se trabaja con ellas a una distancia mucho más cercana que de los receptores de televisión. En Estados Unidos y Europa se han realizado estudios sobre los posibles daños de la radiación ionizante que emiten los monitores de terminales de vídeo (VDT) <sup>(10)</sup>, así se tiene que clínicas oftalmológicas de Nueva York <sup>(9)</sup> tienen de hecho los más fuertes reclamos sobre la radiación ionizante que emiten los monitores, causando opacidad o pérdida de transparencia del cristalino o lente del ojo y, por lo tanto, llegando a diagnosticar cataratas por exposición a las emisiones de

radiación ionizante de terminales de vídeo utilizadas por empleados de periódicos. También afirman que la mirada fija a un monitor por períodos largos de tiempo ocasiona vista cansada <sup>(9)</sup>. Casos de cataratas supuestamente ocasionados por monitores de terminales se informaron en una conferencia de la Universidad de Loughborough en Gran Bretaña <sup>(10)</sup>.

La acumulación de evidencias sugiriendo que la radiación emitida por dichos monitores representa algunos riesgos para la salud, hace que surja la interrogante de por qué no se han realizado evaluaciones al respecto en México, y así proporcionar a los usuarios las adecuadas medidas de protección.

Para poder evaluar los efectos biológicos de las emisiones electromagnéticas de monitores computacionales lo primero que debe realizarse es una evaluación cuali-cuantitativa de los tipos e intensidades de dicha radiación, o sea: hacer diseños experimentales confiables para poder adquirir esta información a través de monitoreos.

En el primer capítulo se presenta lo concerniente a la radiación ionizante y los aspectos más importantes de la dosimetría de tal radiación. Enseguida, en el capítulo II se analizan los daños biológicos que puede causar. La respectiva propuesta de Tesis se presenta en el capítulo III. El procedimiento experimental se encuentra en el capítulo IV. En el capítulo V se presentan y analizan los resultados obtenidos. Las respectivas conclusiones y comentarios están contenidas en el capítulo VI, para incluir finalmente en el VII lo relativo a las referencias básicas del caso.

# CAPITULO I

## RADICIÓN IONIZANTE Y SU DOSIMETRÍA

### 1.- INTRODUCCIÓN

El efecto de mayor interés que produce la radiación sobre estructuras atómicas de sustancias acorde a nuestro objetivo es la ionización. En la actualidad preocupa cada vez más los riesgos que trae consigo el empleo de radiación ionizante, ya sea el resultado de una prueba de diagnóstico médico, un accidente nuclear, la radiación ultravioleta, etc. En esta sección se describe lo más esencial de la radiación ionizante y la dosimetría de la radiación.

**Radiación ionizante:** Partículas u ondas electromagnéticas que poseen suficiente energía para producir ionización directa o indirectamente a su paso a través de una sustancia.

Los efectos biológicos producidos por la radiación se deben principalmente a la ionización que provocan. Para medir estos efectos se utilizan diferentes unidades de radiación. *El rad y el gray (Gy)*, llamadas unidades de dosis absorbidas, *El roentgen (R) y la unidad X*, que son denominadas unidades de exposición. Debido a que el efecto de la radiación en el cuerpo humano depende no sólo de la energía y el tipo de radiación, sino además a la parte del cuerpo donde incide, se utilizan otras unidades para describir tales efectos: *el rem* y el *Sievert (Sv)* que son llamadas dosis biológicamente equivalentes. A continuación definiremos cada una de las unidades mencionadas, así como las relaciones entre las mismas.

## 2.- DOSIS ABSORBIDA

El daño por radiación depende de la absorción de energía de la radiación, y es aproximadamente proporcional a la concentración de la energía absorbida en el tejido. Por ésta razón la unidad básica de dosis de radiación se expresa en términos de energía por unidad de masa de tejido. Esta unidad es llamada *gray* (Gy) y se define como:

**Un gray (Gy).** Es una dosis de radiación absorbida de un Joule por kilogramo.

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

Antes de la adopción por el Sistema Internacional (S.I.) del gray, la dosis de radiación fué medida en términos del *rad* (Radiation Absorbed Dose), que se define como:

**Dosis de Radiación Absorbida (Rad):** Es una dosis de radiación absorbida de 100 ergs por gramo.

$$1 \text{ rad} = 100 \text{ ergs/gr.}$$

Tanto el rad como el gray se aplican a todos los tipos de radiación ionizante debida a fuentes externas e internas. La relación entre estas dos unidades es:

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

## 3.- EXPOSICIÓN.

La unidad de exposición se refiere a la cantidad de energía transferida por el campo de radiación a una unidad de masa de aire. Una ***unidad de exposición*** se define de la siguiente forma:

Es la cantidad de radiación X o  $\gamma$  que produce en el aire, iones (de cualquier signo) que llevan una carga de 1 coulomb por kilogramo de aire.

$$1 \text{ Unidad X} = 1\text{C/Kg}_{\text{(aire)}}$$

La unidad de exposición representa una medida del flujo de fotones y esta relacionada con la cantidad de energía transferida del campo de rayos X a una unidad de masa de aire. La unidad de exposición esta basada en la ionización del aire, debido a la relativa facilidad con que dicha ionización se puede medir, en un rango que va de algunos Kev hasta algunos Mev, por lo cual el uso de la unidad de exposición es limitado para rayos X o gamma, cuyas cantidades de energía no exceden de 3 Mev. Para fotones de alta energía, la exposición es expresada en unidades de watt-segundo por m<sup>2</sup> y la razón de exposición es expresada en watt por m<sup>2</sup>. La definición operacional de la unidad de exposición puede ser convertida a unidades de energía absorbida por unidad de masa de aire. Ya que la carga de un ion es de  $1.6 \times 10^{-19}$  C y como la energía promedio disipada en la producción de un simple par iónico en aire es de 34 eV, entonces:

$$1 \text{ unidad X} = \left( \frac{1\text{C}}{\text{Kg. de aire}} \right) \left( \frac{1 \text{ ion}}{2.6 \times 10^{-19} \text{ C}} \right) \left( 34 \frac{\text{eV}}{\text{ION}} \right) (1.6 \times 10^{-19} \text{ J/eV}) \left( \frac{1\text{Gy}}{\text{J/kg}} \right)$$

$$= 34 \text{ Gy en aire}$$

El Roentgen (R) es la unidad de exposición utilizada antes de la adopción de la unidad X por el Sistema Internacional de unidades y se define de la siguiente forma:

**1 Roentgen se define como un Statcoulomb por centímetro cúbico.**

$$\mathbf{1\ R = 1sc/cm^3}$$

Puesto que  $q_{ion} = 4.8 \times 10^{-10}$  sc y  $1\ cm^3$  de aire contiene 0.001293 gramos, entonces:

$$\mathbf{1\ R = 87.7\ erg/gr.}$$

La relación entre la unidad X y el R es:

$$\mathbf{1\ X = 3881\ R}$$

#### **4.- CÁMARA DE IONIZACIÓN.**

Cuando la radiación ionizante pasa a través de un gas forma pares de iones. Un método para medir la radiación es coleccionar los iones producidos. Uno de los instrumentos utilizados como detector es la cámara de ionización.

Una construcción común de una cámara de ionización consta de un cilindro sellado lleno de gas con un electrodo conectado al cilindro exterior de metal, y el electrodo central, un alambre a lo largo del eje, conectado con una resistencia y aislado del cilindro. Un voltaje directo es aplicado a los electrodos, donde el polo positivo es conectado al alambre y el negativo a la pared de la cámara. El circuito de la cámara de ionización es mostrado en la figura 1.



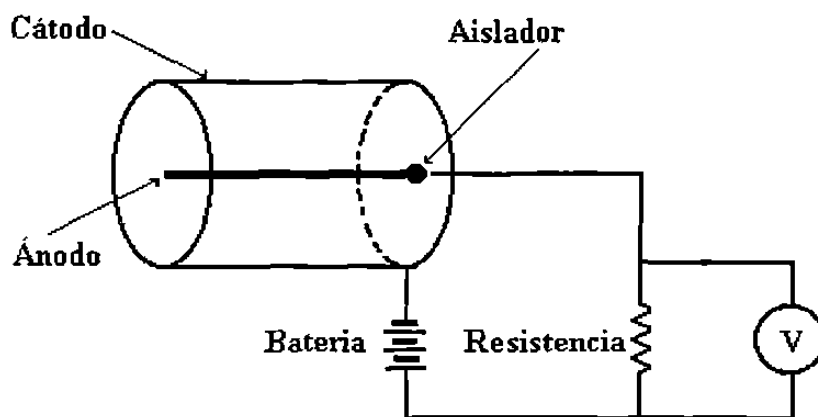


Figura 1. Circuito típico de una cámara de ionización

La radiación al interactuar con el gas deja un rastro de electrones e iones positivos en su camino. Los electrones son atraídos por el polo positivo y los iones positivos por el electrodo negativo, debido al campo eléctrico que existe entre el alambre y el cilindro. Cada partícula ionizante origina un pulso de voltaje en la resistencia el cual es registrado y amplificado. Este pulso constituye la señal de salida de la cámara.

## 5.- RELACIÓN ENTRE EXPOSICIÓN Y DOSIS.

Con una cámara de ionización de aire se puede medir la absorción de energía en aire. Sin embargo, es de interés medir la energía absorbida en tejido. Dado que la energía absorbida es aproximadamente proporcional a la densidad electrónica del absorber, se puede demostrar que la dosis en el tejido no es necesariamente igual a la dosis en aire para algún campo de radiación. Por ejemplo, si consideramos que el tejido muscular tiene una gravedad específica de 1, y una composición elemental de  $5.98 \times 10^{22}$  átomos de hidrógeno por gramo,  $2.75 \times 10^{22}$  átomos de oxígeno por gramo,  $0.172 \times 10^{22}$

átomos de nitrógeno por gramo y  $6.02 \times 10^{21}$  átomos de carbono por gramo, entonces la densidad electrónica es  $3.28 \times 10^{23}$  electrones por gramo. Para el aire, cuya densidad es  $1293 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$  la densidad electrónica es de  $3.01 \times 10^{23}$  electrones por gramo. La energía de absorción, en joules por kilogramo de tejido, correspondiente a una exposición de 1 coulomb por kilogramo de aire, es entonces:

$$1 \text{ kg}_{\text{aire}} = \left( \frac{3.28}{3.01} \right) \times 34 = 37 \text{ J / kg}_{\text{tejido}}$$

Por analogía, una exposición de  $1 \text{ R} = 87.2 \text{ erg/gr}_{\text{aire}}$  equivale a la absorción de  $95.5 \text{ ergs/gr}_{\text{tejido}}$ . Este valor de dosis de tejido es cercano a la dosis de tejido de  $100 \text{ ergs/gr.} = 1 \text{ rad}$ , por esta razón se considera una exposición de  $1 \text{ R} \cong 1 \text{ rad}$ .

## 6.- DOSIS EQUIVALENTE: Rem y Sievert

Primeramente definiremos cada una de estas unidades para después, establecer el cálculo de las mismas en función de dosis absorbida (rad y gray) y de un factor de calidad.

**REM:** Unidad de radiación ionizante igual a la cantidad que produce el mismo daño al hombre que un roentgen de rayos X de 250 kV.

**SIEVERT (Sv):** Unidad de dosis de radiación, igual a la dosis liberada por una fuente puntual de un miligramo de radio, encerrada en un recipiente

de platino con paredes de 0.5 milímetros de espesor, a una distancia de un centímetro durante una hora. Es aproximadamente igual a 8.3 roentgen.

En el sistema biológico, el mismo grado de daño no es necesariamente por la misma dosis absorbida de diferentes tipos de radiación. Por ejemplo, para una dosis igual absorbida, una partícula alfa produce más daño un protón, y este a su vez, causa más daño que una partícula beta. Esta diferencia en la efectividad radiológica debe tomarse en cuenta al sumar dosis de diferentes radiaciones para obtener la dosis biológicamente efectiva total. Para esto se multiplica la dosis de cada tipo de radiación por un factor de calidad (QF) que refleja la habilidad del tipo particular de radiación de causar daño biológico.

$$\text{Dosis equivalente (rem)} = \text{Dosis absorbida (rad)} \times \text{QF.}$$

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

$$\text{Dosis equivalente (Sv)} = \text{Dosis absorbida (Gy)} \times \text{QF}$$

A continuación se muestran algunos valores del factor QF en la siguiente tabla.

Radiación	QF
X, $\gamma$ , $\beta$	1
$n_{th}$	2
$n_f$	10
Protones	10
Rayos Alfa	20
Iones Pesados	20

Tabla 1. Valores del factor de calidad para diferentes tipos de radiación. <sup>(2)</sup>

Las diferentes unidades de radiación que se han tratado se pueden resumir en la figura 2.

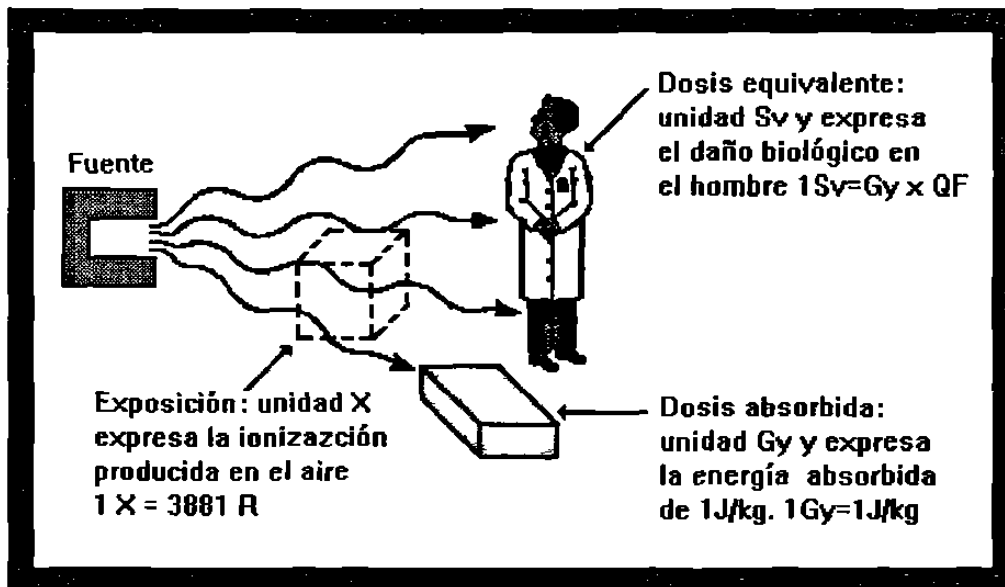


Figura 2. La relación de las unidades de radiación. <sup>(1)</sup>

En la tabla 2 se comparan algunas de las diferentes unidades de radiación antes mencionadas.

Unidad tradicional			Unidad en el SI		
Magnitud	Nombre	Símbolo	Nombre	Símbolo	Conversión
Exposición	Roentegen	R	Coul/kg.	C/Kg	1X= 3881 R
Dosis Absorbida	Rad	rad o rd	Gray	Gy	1 Gy = 100 rad
Dosis Equivalente	Rem	Rem	Sievert	Sv	1 Sv = 100 rem

**Tabla 2. Unidades de radiación y dosis<sup>(5)</sup>**

## 7.- PRINCIPIO DE BRAGG-GRAY

La cantidad de ionización producida por una pequeña cavidad llena de gas rodeada por un medio absorbente sólido es proporcional a la energía absorbida por él sólido.

Para aplicaciones prácticas de este principio se requiere que la cavidad de gas sea suficientemente pequeña con la masa del sólido absorbente para que se mantengan sin cambio las distribuciones angular y de velocidad de los electrones primarios. Este requerimiento es satisfecho si los electrones primarios pierden sólo una muy 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 el equilibrio electrónico (número de electrones que

entran al volumen activo = 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,  $dE_g/dM_g$ , por:

$$dE_m/dM_m = (S_m/S_g) \times (dE_g/dM_g) \quad (1)$$

donde,  $S_m$  es el poder de frenado de masa del material y  $S_g$  es el poder de frenado de masa del gas.

Puesto que la ionización por unidad de masa del gas es una medida directa de  $dE_g/dM_g$ , la ecuación (1) puede ser escrita como:

$$dE_m/dM_m = \rho_m \times \omega \times J$$

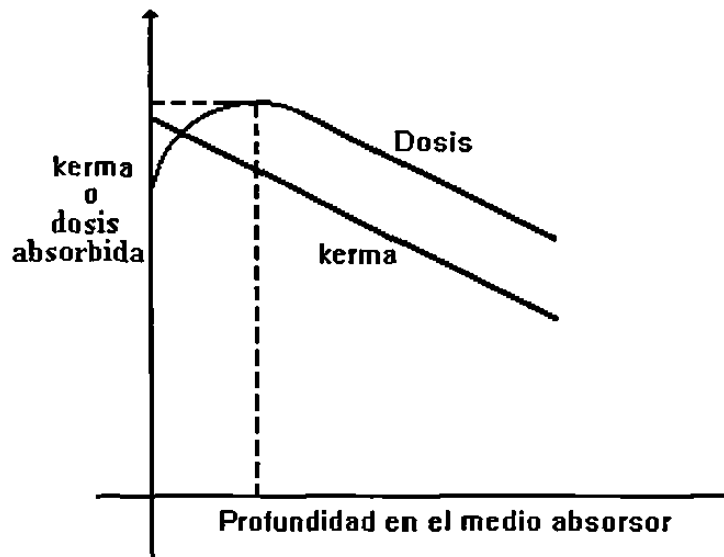
donde,  $\rho_m = S_m/S_g$ ;  $\omega$ , es la energía media disipada en la producción de un par iónico en el gas y  $J$ , es el número de pares iónicos por unidad de masa del gas.

## 8.- KERMA

El **Kerma** se define como la energía cinética inicial de las partículas ionizantes primarias (fotodectrones, electrones Compton, par positrón electrón, núcleos dispersados) producidos por la interacción de la radiación indirectamente ionizante incidente por unidad de masa del medio absorbente.

En otras palabras, el kerma se la suma de las energías cinéticas iniciales de todas las partículas liberadas por radiación ionizante de partículas sincarga (neutrones y fotones) en una muestra de materia, dividida 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.



**Figura 3. Relación entre el kerma y la dosis para radiación de fotones.<sup>(1)</sup>**

Como se desprende de la figura 3, el kerma decrece continuamente al aumentar la profundidad en el medio absorbior 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 aumentan, hasta que un máximo es alcanzado, después del cual la dosis absorbida disminuye al incrementarse la profundidad.

## 9.- MATERIALES TERMOLUMINISCENTES

Los detectores termoluminiscentes TLD están bien adaptados para el monitoreo de personal en general y medio ambiente de rayos X y gamma. El principio de operación consiste en que la energía absorbida de la radiación aumenta a los átomos o moléculas del material del detector a un estado excitado. Estos permanecen en es estado excitado hasta que son calentados a altas temperaturas para causar que las partículas, regrese a un estado de más baja energía con la emisión de luz. La cantidad de luz emitida es proporcional a la energía absorbida por la molécula o el átomo y, por lo tanto, también es proporcional a la dosis del detector.

El detector termoluminiscente más comúnmente utilizado es el de fluoruro de litio (LiF) a causa de su bajo promedio de número atómico, el cual no difiere grandemente con respecto al del tejido humano (8.1 para LiF y 7.4 para tejido).

Para mejores resultados en el uso de estos dosímetros es conveniente tener el lector en un mismo lugar y el cristal dentro de la cápsula, por otro lado, al efectuar una medición del mismo no debe de ser tocado (con la mano) ni exponerlo a grandes dosis de luz. Algunas propiedades de varios materiales TLD disponibles comercialmente están dadas en la tabla 3.



Propiedades	LiF	Li <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> (Mn)	CaF <sub>2</sub> (Mn)	CaF <sub>2</sub> (Dy)
Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	2.6	2.4	3.18	3.18
Rango útil	0.03 mGy a 3000 Gy	0.5 mGy a 10000 Gy	0.03 mGy a 3000 Gy	0.00001 mGy a 10000 Gy
Desvanecimiento o apagado	Despreciable 5%/año a 20°C	<5% en 3 meses	10% primeras 16 hrs. y 15% en 2 semanas	10% primeras 24 hrs. y 16% en 2 semanas

**Tabla 3. Propiedades de algunos materiales TLD.<sup>(5)</sup>**

La retención de la información puede ser afectada por variables del medio ambiente tales como la temperatura y la humedad y en la evaluación de cualquier dosis a largo plazo, la posible pérdida de información antes de ser leída es importante. En general los materiales TLD son menos afectados por cambios en el medio ambiente y retienen por mucho más tiempo la información.

# CAPITULO II

## DAÑOS BIOLÓGICOS DE LA RADIACIÓN

### IONIZANTE

La interacción de la radiación ionizante con el cuerpo humano surge ya sea por (a) una fuente externa del cuerpo o (b) una contaminación interna del cuerpo por sustancias radiactivas. Esto conduce a efectos biológicos que pueden más tarde aparecer como síntomas clínicos. La naturaleza y gravedad de estos síntomas y la razón a la cual aparecen depende de los siguientes factores: (a) *tipo de radiación* ( $\alpha, \beta, \gamma, n, \dots$ ), (b) *intensidad de la radiación* y (c) *tiempo de exposición*. En el presente capítulo se examinan los efectos de la radiación sobre el cuerpo humano y las dosis radiactivas sobre éste

Todo ser humano es irradiado durante toda su vida con niveles bajos de radiación ionizante de fuentes naturales. Aparte de la radiación de dichas fuentes mucha gente recibe una exposición adicional de fuentes hechas por el hombre, principalmente médicas, como consecuencia, el cuerpo humano está inevitablemente a un bajo nivel de radiación de fondo, del orden de aproximadamente 2.0 mSv al año. El potencial de los efectos sobre el cuerpo humano es un asunto de la comunidad científica que surge en la mitad de nuestro siglo y tendrá que ser una investigación intensa por muchos años más. En la tabla 4 se muestran algunas exposiciones de radiación típica para el ser humano y en la figura 4, la respectiva gráfica.

Fuente	mSv/año
Natural	
Rayos cósmicos	0.50
Terrestre, radionúclidos depositados internamente	0.43
Artificial	
Diagnóstico médico	0.78
Radionúclidos en el cuerpo	0.26
Consumo de productos	0.005-0.13
<b>Total</b>	<b>≅ 2.00</b>

Tabla 4. Fuentes e intensidades de exposición humana a la radiación <sup>(11)</sup>

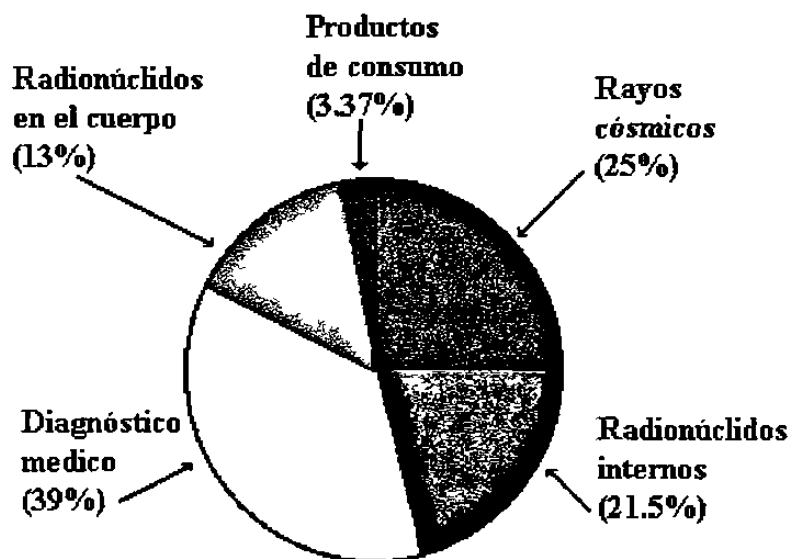


Figura 4. Dosis de radiación de fondo recibida por persona de fuentes naturales y artificiales de radiación. El total por año es aproximadamente 2.0 mSv. <sup>(11)</sup>

La ionización causada por radiación genera iones o átomos no-neutros a nivel celular. Las células que sufren un cambio pueden producir células anormales en la mitosis que pueden llegar a ser cancerosas. Este es el origen de un incremento de riesgo para cáncer, como resultado de una exposición radiactiva. Incluso a altas dosis, las células no pueden ser remplazadas

rápida y el tejido falla en su función. Esta es una condición que resulta después de altas dosis de 1 Sv a todo el cuerpo, donde el forro del intestino es dañado al punto en que no puede llevar a cabo su función de entrada de agua, nutrientes, y protección del cuerpo en contra de una infección, y esto conduce a náuseas, diarrea y debilidad general. Con dosis de 3 Sv, el sistema inmunológico del cuerpo es dañado y no puede luchar en contra de infecciones y enfermedades. Para dosis en todo el cuerpo de 4 Sv, si no se da atención médica, aproximadamente el 50% de la población está expuesta a morir en un lapso de 60 días después de la exposición, debido en su mayor parte a infecciones. Si alguna persona recibe una dosis en todo el cuerpo de 10 Sv o más, sufrirán daños en los tejidos nerviosos, tal como el cerebro y es probable que a estas dosis, el 100% de la población muera.

Es conveniente aclarar que los daños estimados por radiación, están basados en la razón del incremento de cáncer y no en decesos directamente por la radiación. En la tabla 5 se comparan los efectos de varias razones de dosis de radiación ionizante.

Rango (Sv)	Efecto	Tiempo en presentarse	Órgano Afectado	Período crítico después de la exposición	La muerte puede ocurrir en:	Causas de la muerte
1-2	Vómito	3 horas	Tejido herma-Topoiético	No	No	No
2-6	Vómito	2 horas	Tejido herma-Topoiético	4-6 semanas	2 meses	Hemorragia; infección
6-10	Vómito	1 hora	Tejido herma-Topoiético	4-6 semanas	2 meses	Hemorragia; infección
10-50	Vómito	½ hora	Tejido herma-Topoiético	5 a 14 días	2 semanas	Colapso respiratorio

Tabla 5. Efectos corporales de razones de dosis de radiación ionizante<sup>(8)</sup>

En los sistemas biológicos, es común dividir el daño por radiación en dos categorías:

**1.- Daños somáticos:** Son los daños por radiación asociado con todas las células del cuerpo excepto las reproductivas.

Como hemos mencionado, la radiación es en especial peligrosa debido a que el daño ocasionado a un gran número de moléculas en una célula puede ocasionar que la célula muera. Aunque la muerte de una sola célula no representa usualmente un problema, la muerte de muchas células puede resultar en un daño irreversible al organismo. Los efectos somáticos a corto tiempo son los que se esperarían ver después de una exposición aguda más bien que una exposición crónica. Estos efectos se les considera “deterministas” por que tienen bastante bien definida la dosis máxima o de umbral debajo de la cual no pueden ocurrir. Los efectos a largo plazo de exposición a la radiación, son aquellos que pueden ser posible mostrara cuando una persona recibe pequeñas dosis de radiación en un largo período de tiempo o sea, una exposición crónica de radiación y la probabilidad de que tales efectos aparezcan se incrementa a medida que el nivel de radiación también lo hace. Estos efectos incluyen formación de cataratas, esterilidad temporal y permanente, inducción de varias formas de cáncer, y la posibilidad de acortar la vida. En la tabla 6 se muestra el rango de dosis máxima o de umbral para algunos efectos somáticos en un corto tiempo y para exposiciones prolongadas.

Tejido y efectos	Dosis absorbida aguda (mGy)	Razón de dosis prolongada (mGy/año)
Testes		
Esterilidad temporal	150	400
Esterilidad permanente	3500 – 6000	2000
Ovarios		
Esterilidad	2500 – 6000	> 200
Lente de los ojos		
Obscuridad detectada	500 – 2000 *	> 100
Daño visual	2000 – 10000	> 150
Médula espinal		
Depresión de hemato- -porosis	500	> 400
Aplasia fatal	3000 – 5000	

Tabla 6. Estimación de umbral para efectos somáticos <sup>(12)</sup>

**2.- Daños genéticos:** Son los daños que afectan o alteran la estructura genética de las células.

Los daños toman la forma de alteraciones, conocidas como mutaciones genéticas en el material hereditario de las células. Mutaciones espontáneas se explican por el hecho de que una fracción apreciable de población en el mundo (1 de cada 500 o más) sufra defectos o enfermedades atribuidas a efectos hereditarios. La radiación puede inducir mutaciones genéticas las cuales son indistinguibles de las mutaciones que ocurren naturalmente. Ya que la radiación ionizante puede causar un incremento en la razón de las mutaciones, su presencia aumentará el riesgo de alteraciones (genéticamente hablando) en futuras generaciones. Por otro lado, el Comité de Efectos Biológicos de la Radiación Ionizante (B.E.I.R.) estima, que una simple exposición de 1 rem a un millón de personas ocasionaría entre 5 y 75

desórdenes genéticos serios en la primera generación de descendientes , y un control estricto debe ser ejercido sobre la exposición de la radiación al público en general. Por último, la comunidad científica debe preocuparse por los efectos de los tratamientos de diagnóstico tales como los rayos-X y otras formas de exposición a la radiación.

•

## **CAPITULO III**

### **PROPUESTA DE TESIS**

Como se mencionó en la introducción, tanto en nuestra región como en el país no se cuenta con información o evaluaciones de los tipos e intensidades de radiación que emiten los monitores de las computadoras y de los riesgos respectivos que representan para la salud, esto se debe principalmente al desconocimiento o carencia de una metodología y tecnología adecuadas para llevar a efecto la evaluación mencionada. La presente investigación tiene como propósito básico desarrollar una metodología que permita la medición de los niveles de radiación ionizante que se generan entorno a los monitores de las computadoras utilizando dosimetría termoluminiscente, y así poder evaluar objetivamente los riesgos de esta radiación, y proponer algunas medidas de protección para evitar daños biológicos a nuestro organismo. Congruentes con este objetivo, entonces la propuesta de investigación del presente trabajo es:

**DOSIMETRÍA TERMOLUMINISCENTE PARA EVALUAR Y MONITOREAR LOS NIVELES Y RIESGOS DE LA RADIACIÓN IONIZANTE PRODUCIDA POR MONITORES DE COMPUTADORAS.**



# CAPITULO IV

## PROCEDIMIENTO

La evaluación de riesgos para la salud producida por la radiación ionizante que emiten los monitores de las computadoras se llevó a cabo a través de monitoreos utilizando como detectores 30 cristales termoluminiscentes de fluoruro de litio, se empleó además un lector de Dosímetros de Termoluminiscencia debidamente calibrado marca Victoreen, modelo 2800M para analizar las dosis absorbidas las cuales se midieron en miligrays (mGy); un horno marca Thermolyne, modelo 47900 para desactivar los cristales antes de cada experimento. Todos estos análisis se lograron gracias a la infraestructura con que cuenta el laboratorio de Metrología de las Radiaciones de la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas, donde se me permitió la realización de este experimento. No pretendemos con estos cristales medir radiación de **partículas cargadas** ( $\alpha$ ,  $\beta$ , etc.), ya que los mismos no son los adecuados para detectar radiación de tales partículas. La energía depositada en los cristales de fluoruro de litio (LiF), como se dijo anteriormente, está relacionada con la exposición a rayos gamma y rayos-X.

Se diseñó y construyó una rejilla de madera, donde se colocaron 20 cristales frente a la pantalla a una distancia constante de 20 centímetros, otros 10 cristales fungieron como testigos para medir la radiación de fondo. Se colocaron estos por pares a 1 metro, 2 metros, 4 metros y 6 metros, en diferentes direcciones de la fuente. Otros dos testigos se colocaron en la parte posterior del monitor. (Ver figura 5).

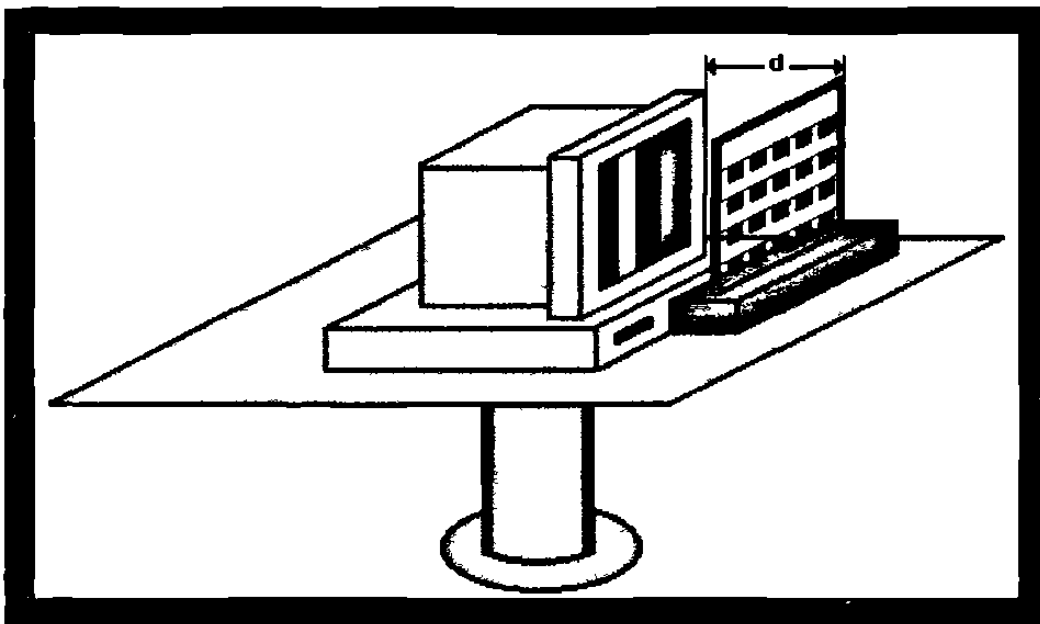


Figura 5

Se realizaron diferentes mediciones manteniendo constante la distancia de los cristales frente a la pantalla y la variable fue el tiempo de exposición. Terminada cada una de las pruebas, se analizaron las dosis absorbidas por los cristales frente a la pantalla y los cristales testigos, para obtener la diferencia de radiación, y, así determinar la dosis de radiación real emitida por el monitor. En total se realizaron 5 mediciones que se llevaron a cabo de la siguiente forma:

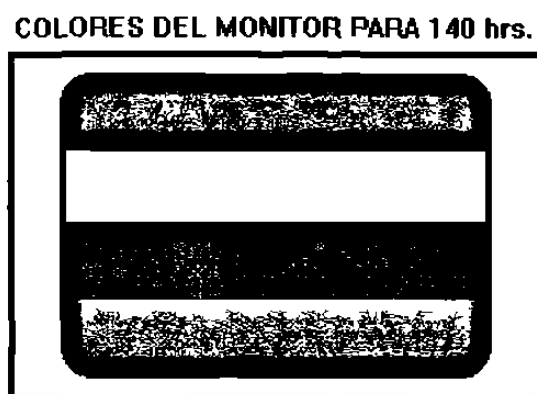
Número de prueba	Color del monitor	Número de horas
1	Blanco	100
2	Colores	140
3	Colores	140
4	Violeta	100

Número de prueba	Color del papel	Número de horas
5	Violeta	120

Las pruebas se realizaron en un mismo lugar con una computadora marca “Lanix” y un monitor de la misma marca VGA a color con una resolución de 640 x 400 pixeles. En las pruebas No. 2 y No. 3 los colores en el monitor se utilizaron de las siguientes formas (figuras 6 y 7 respectivamente).



**Figura 6**



**Figura 7**

La prueba No. 5 se realizó en las mismas condiciones exponiendo los cristales solamente a luz reflejada con una cartulina color violeta como “pantalla”, iluminada con luz blanca sin observar ninguna diferencia significativa en los niveles de radiación con respecto a los testigos, lo que nos permite asegurar que la radiación es emitida por los monitores. Se seleccionó el papel color violeta porque fue en este color donde se detectaron niveles de emisión ligeramente mayores que en las pruebas 1, 2 y 3.

## CAPITULO V

### PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En las tablas 7 y 8 se muestran los datos obtenidos para cada uno de los experimentos, donde a cada grupo de los mismos se calculó la media y la desviación estándar.

Numero de cristal	Color blanco (t=100 horas)	Colores (t=140 horas)	Colores (t=140 horas)	Color violeta (t=100 horas)	Papel violeta (t=120 horas)
1	4.79	2.45	3.23	1.85	1.03
2	3.05	3.18	3.62	4.55	2.01
3	2.20	0.86	4.94	4.80	1.66
4	2.18	0.34	3.80	2.72	1.78
5	2.16	2.28	2.83	3.71	0.97
6	2.94	3.26	0.56	2.93	1.79
7	1.91	2.39	3.66	3.45	1.79
8	2.75	3.33	1.10	2.34	1.59
9	3.06	2.48	4.96	4.00	1.81
10	1.99	4.44	1.05	3.91	2.68
11	2.69	4.11	4.12	3.56	1.79
12	2.45	3.36	3.15	2.63	2.11
13	2.98	1.41	4.70	4.09	1.98
14	2.20	3.24	1.26	3.49	2.76
15	2.64	4.19	3.93	3.22	1.56
16	2.20	6.42	2.61	3.08	1.06
17	2.91	6.35	4.33	4.73	1.20
18	2.46	7.09	2.16	3.91	1.23
19	2.26	3.25	2.86	2.11	1.04
20	1.35	3.50	2.63	2.88	1.65
<b>Media</b>	<b>2.558</b>	<b>3.396</b>	<b>3.075</b>	<b>3.398</b>	<b>1.674</b>
$\sigma_{n-1}$	<b>0.687</b>	<b>1.740</b>	<b>1.322</b>	<b>0.840</b>	<b>0.502</b>
<b>Media + <math>\sigma_{n-1}</math></b>	<b>3.245</b>	<b>5.136</b>	<b>4.397</b>	<b>4.238</b>	<b>2.176</b>
<b>Media - <math>\sigma_{n-1}</math></b>	<b>1.871</b>	<b>1.656</b>	<b>1.753</b>	<b>2.558</b>	<b>1.172</b>

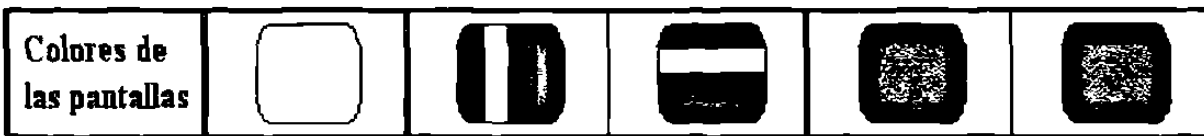


Tabla 7. Datos de la radiación absorbida por los cristales en mGy.

Número de cristal	Color blanco (t=100 horas)	Colores (t=140 horas)	Colores (t=140 horas)	Color violeta (t=100 horas)	Papel violeta (t=120 horas)
1	2.15	3.62	3.73	3.61	2.27
2	1.31	2.03	1.52	3.26	2.12
3	0.78	1.94	1.50	1.46	1.38
4	1.15	1.89	1.20	2.83	1.31
5	2.99	2.11	1.84	1.94	1.23
6	1.02	1.47	2.12	1.42	1.59
7	2.57	1.94	1.96 <sub>a</sub>	1.51	1.83
8	2.43	1.64	3.01	2.30	1.51
9	1.23	1.88	1.51	2.37	1.47
10	4.91	1.30	3.38	1.64	1.88
<b>Media</b>	<b>2.054</b>	<b>1.982</b>	<b>2.177</b>	<b>2.234</b>	<b>1.659</b>
$\sigma_{n-1}$	<b>1.255</b>	<b>0.629</b>	<b>0.882</b>	<b>0.785</b>	<b>0.351</b>
<b>Media + <math>\sigma_{n-1}</math></b>	<b>3.309</b>	<b>2.611</b>	<b>3.059</b>	<b>3.019</b>	<b>2.01</b>
<b>Media - <math>\sigma_{n-1}</math></b>	<b>0.799</b>	<b>1.352</b>	<b>1.295</b>	<b>1.449</b>	<b>1.308</b>

Tabla 8. Datos de la radiación absorbida en mGy por los cristales testigos para cada una de las pruebas anteriores.

En las tablas 9 y 10 se muestran los datos de la radiación corregidos con  $\sigma_{n-1}$ , tanto para los cristales frente al monitor como para los testigos y se determino la media aritmética y la desviación estándar.

Número de cristal	Color blanco (t=100 horas)	Colores (t=140 horas)	Colores (t=140 horas)	Color violeta (t=100 horas)	Papel violeta (t=120 horas)
1		2.45	3.23		
2	3.05	3.18	3.62 <sub>a</sub>		2.01
3	2.20				1.66
4	2.18		3.80	2.72	1.78
5	2.16	2.28	2.83	3.71	
6	2.94	3.26		2.93	1.79
7	1.91	2.39	3.66	3.45	1.79
8	2.75	3.33			1.59
9	3.06	2.48		4.00	1.81
10	1.99	4.44		3.91	
11	2.69	4.11	4.12	3.56	1.79
12	2.45	3.36	3.15	2.63	2.11
13	2.98			4.09	1.98
14	2.20	3.24		3.49	
15	2.64	4.19	3.93	3.22	1.56
16	2.20		2.61	3.08	
17	2.91		4.33		1.20
18	2.46		2.16	3.91	1.23
19	2.26	3.25	2.86		
20		3.50	2.63	2.88	1.65
<b>Media</b>	<b>2.501</b>	<b>3.247</b>	<b>3.302</b>	<b>3.398</b>	<b>1.710</b>
$\sigma_{n-1}$	<b>0.382</b>	<b>0.681</b>	<b>0.663</b>	<b>0.493</b>	<b>0.261</b>

**Tabla 9. Datos corregidos de las dosis absorbidas de radiación.**

Número de cristal	Color blanco (t=100 horas)	Colores (t=140 horas)	Colores (t=140 horas)	Color violeta (t=100 horas)	Papel violeta (t=120 horas)
1	2.15				
2	1.31	2.03	1.52		
3		1.94	1.50	1.46	1.38
4	1.51	1.89		2.83	1.31
5	2.99	2.11	1.84	1.94	
6	1.02	1.47	2.12		1.59
7	2.57	1.94	1.96	1.51	1.83
8	2.43	1.64	3.01	2.30	1.51
9	1.23	1.88	1.51	2.37	1.47
10				1.64	1.88
<b>Media</b>	<b>1.856</b>	<b>1.862</b>	<b>1.922</b>	<b>2.007</b>	<b>1.567</b>
$\sigma_{n-1}$	<b>0.765</b>	<b>0.209</b>	<b>0.538</b>	<b>0.513</b>	<b>0.216</b>

**Tabla 10. Datos corregidos de las dosis absorbida de radiación de testigos para cada una de las pruebas anteriores.**

En las tablas 11 y 12 están los concentrados de las medias de las tablas 9 y 10. A cada grupo de estos datos se calculó la media y la desviación estándar.

<b>Color</b>	<b>No. de horas</b>	<b>Medias (mGy)</b>
Blanco	100	2.501
Colores	140	3.247
Colores	140	3.302
Violeta	100	3.398
<b>Media aritmética</b>		<b>3.112</b>
<b>Desviación estándar</b>		<b>0.412</b>

<b>Papel</b>	<b>No. Horas</b>	<b>Media (mGy)</b>
Violeta	120	1.710

Tabla 11. Tabulación de las medias de la tabla 9.

<b>Color</b>	<b>No. de horas</b>	<b>Medias (mGy)</b>
Blanco	100	1.856
Colores	140	1.862
Colores	140	1.922
Violeta	100	2.007
<b>Media aritmética</b>		<b>1.911</b>
<b>Desviación estándar</b>		<b>0.070</b>

<b>Papel</b>	<b>No. de horas</b>	<b>Media (mGy)</b>
Violeta	120	1.567

Tabla 12. Tabulación de las medias de la tabla 10.



En la tabla 13 se dan los resultados de las diferencias de los datos de las tablas 11 y 12.

<b>Color</b>	<b>No. Horas</b>	<b>Diferencias</b>
Blanco	100	0.645
Colores	140	1.385
Colores	140	1.380
Violeta	100	1.391
<b>Media aritmética</b>		<b>1.200</b>
<b>Desviación estándar</b>		<b>0.370</b>

<b>Papel</b>	<b>No. de horas</b>	<b>Diferencia</b>
Violeta	120	0.143

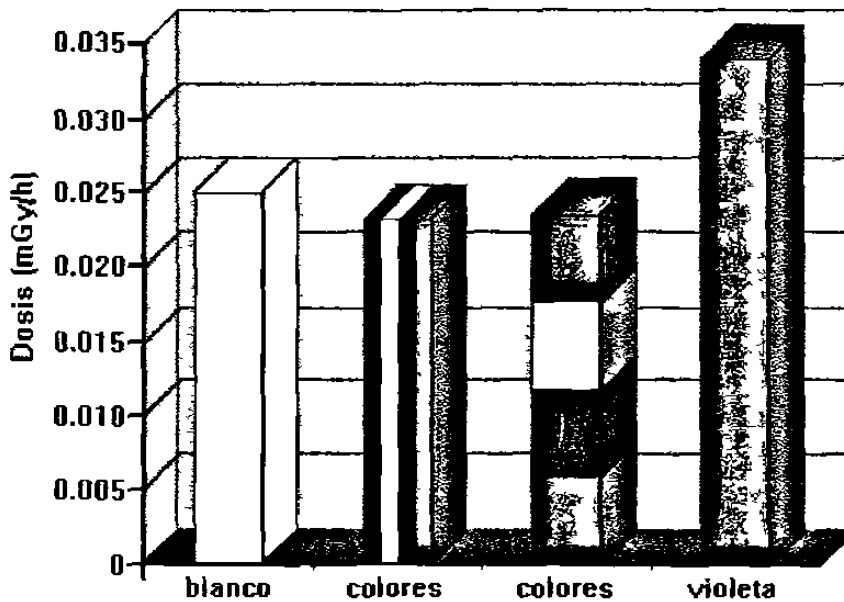
**Tabla 13. Resultados obtenidos de las diferencias (en mGy) entre las medias de las tablas 11 y 12.**

Como los resultados anteriores son para diferentes tiempos de exposición, se utilizó el concepto de razón de dosis, la cual expresa la rapidez a la cual la radiación está siendo recibida. Además se calculó la dosis por unidad de tiempo para cada uno de los experimentos. Se obtuvieron los siguientes resultados, tanto para la radiación frente a monitor, radiación de testigos y la diferencia. Ver tablas 14, 15 y 16 y los gráficos de barras correspondientes.

Color	Dosis/tiempo (mGy/hora)
Blanco	0.02501
Colores	0.02319
Colores	0.02358
Violeta	0.03398
<b>Media aritmética</b>	<b>0.02644</b>
<b>Desviación estándar</b>	<b>0.0050</b>

**Tabla 14. Razón de dosis de radiación frente a monitor**

El gráfico de barras correspondiente a estos valores es el siguiente:

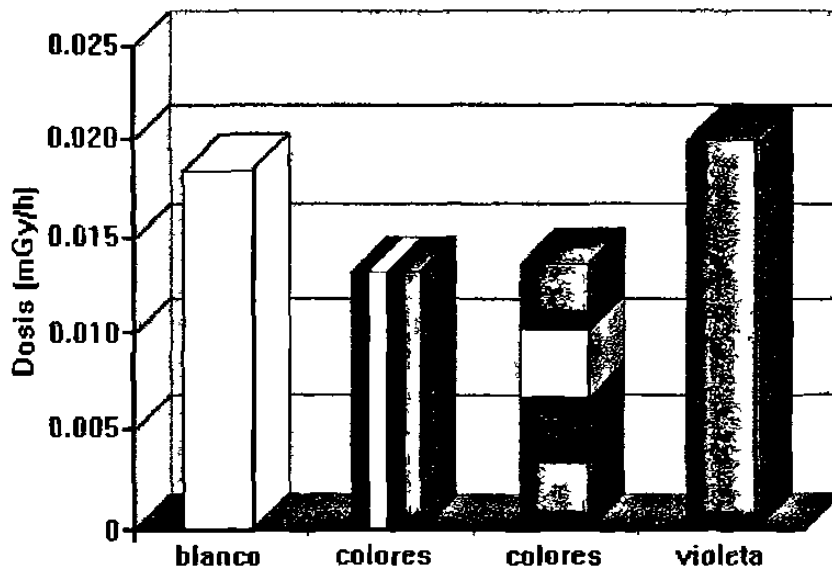


**Gráfico de la radiación frente a monitor**

Color	Dosis/tiempo (mGy/hora)
Blanco	0.01856
Colores	0.01330
Colores	0.01372
Violeta	0.02007
<b>Media aritmética</b>	<b>0.01641</b>
<b>Desviación estándar</b>	<b>0.02648</b>

**Tabla 15. Razón de dosis de la radiación de los testigos.**

El gráfico de barras correspondiente a estos valores es el siguiente:



**Gráfico de la radiación de testigos**

Color	Dosis/tiempo (mGy/hora)
Blanco	0.00645
Colores	0.00989
Colores	0.00985
Violeta	0.01391
<b>Media aritmética</b>	<b>0.01002</b>
<b>Desviación estándar</b>	<b>0.00305</b>

Tabla 16. Razón de dosis de la diferencia de la radiación.

El gráfico de barras correspondiente a estos valores es el siguiente:

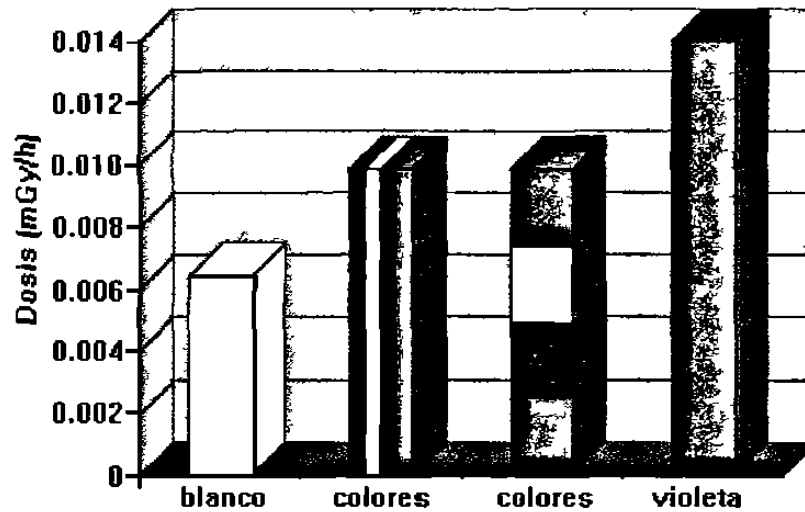


Gráfico de la diferencia de la radiación

## CAPITULO VI

### CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

En la tabla 17 se indican algunas recomendaciones de dosis límite y en la tabla 18 se dan las dosis promedio de varias fuentes. Es conveniente analizar dichas tablas, tanto como las 14, 15 y 16 para comparar estos datos con los obtenidos en la investigación, y así, poder presentar más objetivamente los resultados de la misma.

<b><i>Exposición en la totalidad del cuerpo y en varias partes del mismo.</i></b>	<b>Máximas dosis equivalente permitida para personal ocupacionalmente expuesto.</b>
Límite anual previsto para adultos	50 mSv en un año cualquiera
Piel	150 mSv en un año cualquiera
Manos	750 mSv en un año cualquiera
Antebrazos	300 mSv en un año cualquiera
Extremidades	500 mSv en un año cualquiera
Cristalino de los ojos	150 mSv en un año cualquiera
<b><i>Exposición en la totalidad del cuerpo y en varias partes del mismo.</i></b>	<b>Máximas dosis equivalentes de exposición para el público.</b>
Límite anual previsto para menores	5 mSv en un año cualquiera
Cristalino de los ojos	50 mSv en un año cualquiera
Piel, extremidades	50 mSv en un año cualquiera
Mujeres en estado de gestación	5 mSv en un año cualquiera

Tabla 17. Dosis límites recomendadas.<sup>(2)</sup>

Promedio de radiación de fondo para todas las fuentes	2.5 mSv/año
Promedio de radiación de fondo de fuentes naturales	3.0 mSv/año
Promedio de radiación debido a diagnóstico médico	0.53 mSv/año
Rayos-X de un aparato de TV	0.005 mSv/hora
Gas natural en casa	0.09 mSv/año
Promedio de radiación cósmica	0.27 mSv/año
Rayos-X de monitor de terminales de computadoras	0.0038 mSv/hora
Operación normal en Planta de Potencia Nuclear	0.006 mSv/año

Tabla 18. Dosis de varias fuentes. <sup>(13)</sup>

Analizando los resultados de las dosis absorbidas por los cristales, tanto los de la pantalla como los testigos, y tomando en cuenta los datos de las tablas 14, 15 y 16, se puede asegurar que la radiación absorbida es del orden de 1 mGy cada 100 horas. Tomando en cuenta que el factor de calidad es 1 para los rayos-X, entonces, la dosis absorbida de 1 mGy por cada 100 horas es equivalente a una dosis de 1 mSv cada 100 horas. En base, a los datos anteriores, la dosis por año sería de 87.6 mSv lo cual supera la dosis promedio para aparatos de televisión que son 0.5 mSv por cada 100 horas o 43.8 mSv por año y la emitida por los monitores de terminales de computadoras donde la radiación ionizante emitida por tales monitores fue de 0.0038 mSv por hora o 0.38 mSv por cada 100 horas y a 33.288 mSv por año. Considerando los datos anteriores y los de las tablas 17 y 18, se concluye que los resultados obtenidos en la presente investigación superan las dosis límites recomendadas, sobre todo para el cristalino del ojo en exposición para el público, menores de edad y mujeres en estado de gestación, por lo que se recomienda tomar medidas precautorias en dos aspectos: *distancia frente al monitor y horas de exposición*. Este resultado nos permite “validar” la propuesta de investigación que se hiciera originalmente, en el sentido de desarrollar una metodología basada en dosimetría

termoluminiscente que permita evaluar y monitorear los niveles y riesgos de radiación ionizante producidos por monitores de computadoras.

Es conveniente mencionar que dos testigos que se colocaron en la parte posterior del monitor registraron lecturas ligeramente más altas con respecto a los demás testigos, por lo cual, se puede conjeturar que los monitores también emiten radiación hacia atrás. •

Es pertinente aclarar que éste trabajo es el primero de su tipo en la región norte del país, hasta donde se pudo indagar. Además, por los resultados obtenidos, el trabajo puede profundizarse y generalizarse para diferentes tipos de monitores y en diversas circunstancias, o sea, como toda investigación científica, se consolida como una base de investigación para futuros trabajos de esta índole, e investigaciones de este tipo ya se están llevando a cabo en el laboratorio de Metrología de la Radiación de la Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas de la U.A.N.L. Este trabajo fue presentado parcialmente en el XL Congreso Nacional de Física de la Sociedad Mexicana de Física, celebrado en la ciudad de Monterrey, N.L., del 27 al 31 de octubre de 1997.

En la figura 8 se muestran algunas recomendaciones de las distancias y otros factores que deben de guardar los usuarios para minimizar los riesgos de la radiación.

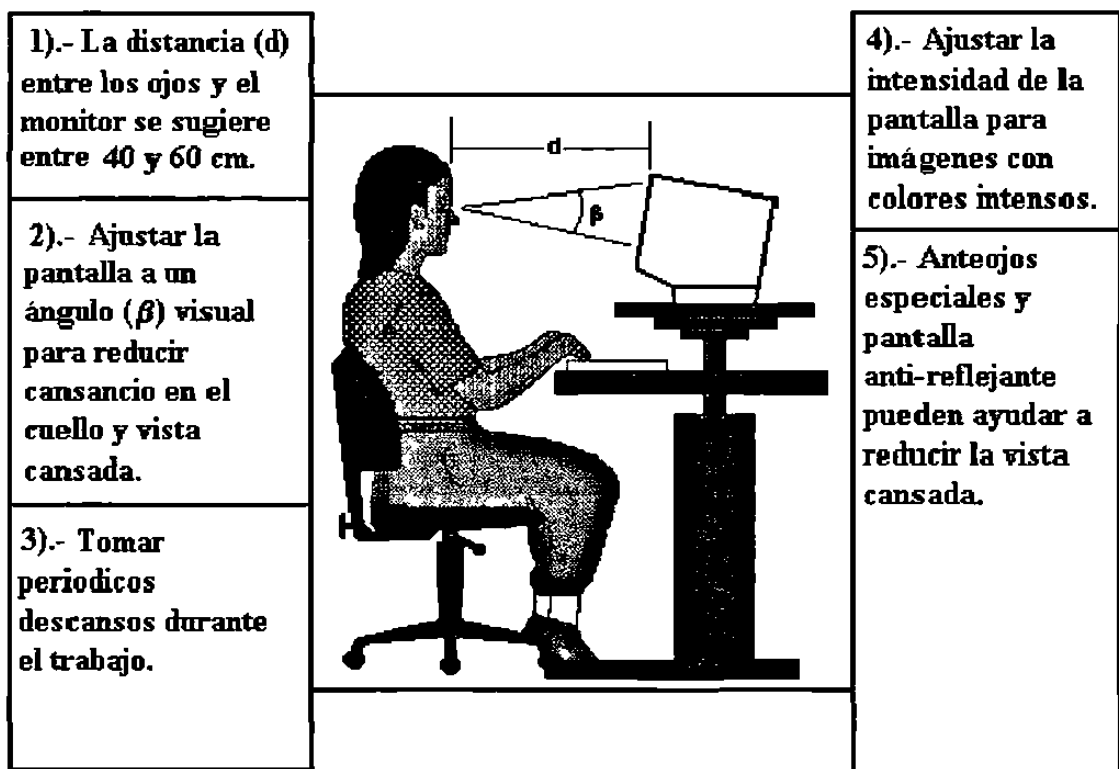


Figura 8



# CAPÍTULO VII

## REFERENCIAS

- 1.- CEMBER HERMAN.  
*Introduction to Healt Physics*  
McGraw-Hill, 1992
- 2.- SHAPIRO JACOB.  
*Radiation Protection*  
Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, and London,  
England, 1990
- 3.- ACOSTA V., COWAN C.L., GRAHAM B.J.  
*Curso de Física Moderna*  
Harla, S. A., 1975
- 4.- DRESNER, LAWRENCE  
*Principles of Radiation Protection Engineering*  
McGraw-Hill, 1980
- 5.- KNOLL, G. F.  
*Radiation Detection and Measurement*  
Wiley, 1979
- 6.- GONZÁLEZ MEDINA, MARIO ALBERTO.  
*Diseño de un monitoreo de la dipersión de rayos X (tesis de maestría)*  
Facultad de Ciencias Físico-matemáticas, UANL. 1995.
- 7.- MORENO JIMENEZ, MARÍA DOLORES.  
*Dispersión de rayos X en radiografía dental (tesis de maestría)*  
Facultad de Ciencias Físico-matemáticas, UANL. 1997.
- 8.- TIPLER A., PAUL.  
*Física*  
Reverté, S. A., 1987

- 9.- LACH ENBRUCK, D.  
What You Should Know About X-Ray Radiation in TV Sets.
- 10.- RALOFF, J.  
VDT's The European Experience, Science News, 1981.
- 11.- NCRP Report No 93, 1987  
National Council on Radiation Protection and Measurements.
- 12.- NOEL GIFFIN, 1996  
Short-Term Somatic Effects.
- 13.- ERIC HALL and BEIR  
Radiobiology for the Radiologist.  
Forth Edition, 1994.

