

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE CIENCIAS FISICO-MATEMATICAS
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



DOSIMETRIA TERMOLUMINISCENTE DE LA
RADIACION IONIZANTE EN 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
DANIEL VAZQUEZ CASTRO

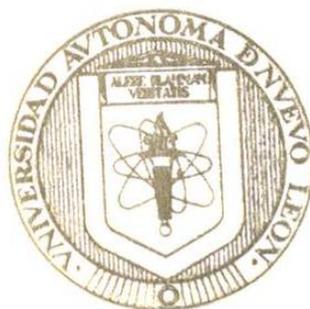
ASESOR
DR. BERNABE LUIS RODRIGUEZ BUENROSTRO

DICIEMBRE DE 2000
SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N. L.



1020135216

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE CIENCIAS FISICO-MATEMATICAS
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



DOSIMETRIA TERMOLUMINISCENTE DE LA
RADIACION IONIZANTE EN 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

DANIEL VAZQUEZ CASTRO

ASESOR

DR. BERNABE LUIS RODRIGUEZ BUENROSTRO

DICIEMBRE DE 2000

SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N. L.

TH
Z665
FC 1
2000
V3



FONDO
TESIS

DOSIMETRÍA TERMOLUMINISCENTE DE LA RADIACIÓN IONIZANTE EN MONITORES DE COMPUTADORAS

Tesis presentada por Daniel Vázquez Castro 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:

M. C. DANIEL ANGUIANO GARCÍA

VOCAL:

M. C. CARLOS MARTÍNEZ HERNÁNDEZ

AGRADECIMIENTOS

La presente investigación se la debo al firme apoyo del Dr. Bernabé L. Rodríguez Buenrostro quien fungió como mi asesor y me dirigió en su buen desarrollo, mi mas sincero agradecimiento, por el esfuerzo y dedicación sin límite hasta ver concluida su idea que dio origen a la misma.

A mi amigo Carlos Mata Martínez por todo el apoyo en la realización del mismo.

Al Ing. Jesús Gerardo Alcalá Díaz, Director de la Escuela Preparatoria No. 8, por permitirme el uso de las instalaciones del laboratorio de fisica donde realicé parte de los experimentos del presente trabajo.

A María del Carmen Vázquez Castro por su colaboración.

A Javier Martínez Castor, por la impresión del presente trabajo

A Silvia Gamboa Hernández, Angélica Vásquez González, Thelma G. Sepúlveda Vázquez y a Arturo Vázquez Castro por su apoyo en la parte técnica de este manuscrito.

A todos mis hermanos con profundo agradecimiento y aprecio.

DEDICATORIA

A mi Dios por darme vida y salud.

A mi esposa Yolanda Pérez Ríos por su amor y total apoyo.

A mis hijos Daniel, Claudia Patricia y Carlos Alejandro por sacrificar el tiempo que no les pude dar al estar estudiando para culminar con la presentación de esta tesis. Por su paciencia gracias.

A mis padres

Daniel Vázquez Cruz

Carmen Castro Tena

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	(i)
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	
2.1 Antecedentes.	3
2.2 Detectores de radiación.	5
2.3 Dosimetría.	9
CAPÍTULO III EFECTOS BIOLÓGICOS DE LA RADIACIÓN IONIZANTE. ...	15
3.1 Introducción	15
3.2 Una medida del daño biológico: H	15
CAPÍTULO IV PROPUESTA DE LA TESIS	18
CAPÍTULO V PROCEDIMIENTO	19
CAPÍTULO VI PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	21
CAPÍTULO VII CONCLUSIONES Y COMENTARIOS	24
APÉNDICE I	26
APÉNDICE II	27
CAPÍTULO VIII REFERENCIAS	28

INTRODUCCIÓN

En la presente tesis se investigan los aspectos técnicos y metodológicos relacionados con el diseño, instrumentación y evaluación de los riesgos, que la radiación ionizante emitida por monitores de computadoras representa para la salud. En forma resumida, los resultados obtenidos ponen de manifiesto y fuera de duda, que la metodología desarrollada para monitorear y evaluar los riesgos que este tipo de radiación representa, es correcta, y que además puede ser utilizada con el fin de establecer la normatividad que se requiere para la fabricación y uso de estos monitores.

En el Capítulo I se presenta todo lo relativo al Planteamiento del Problema, y en el Capítulo II lo correspondiente al Marco Teórico (Antecedentes, Detectores de Radiación y Dosimetría).

A continuación en el Capítulo III se incluye lo referente a los principales efectos biológicos que produce la radiación ionizante, especialmente en los seres humanos.

La Propuesta de esta Tesis se encuentra en el Capítulo IV, continuando en el Capítulo V con el Procedimiento.

Los Resultados se presentan en el Capítulo VI, y sus respectivos Análisis, Conclusiones y Comentarios en el Capítulo VII.

Finalmente se incluyen dos Apéndices antes del Capítulo VIII que contiene las Referencias.

La forma de indicar las referencias es la tradicional, indicando estas como números o símbolos entre paréntesis y como superíndices.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Se ha encontrado que los rayos-X producen ionización⁽¹⁾ y que este tipo de radiación puede presentar efectos nocivos para la salud⁽²⁾. Los monitores de computadoras, aparatos de televisión y similares, que utilicen para su funcionamiento haces de electrones, emiten de su pantalla radiación electromagnética principalmente, en un amplio rango de frecuencias que incluyen las de la luz visible hasta los rayos-X^(*). La exposición a dicha radiación, por los riesgos que representa para el cuerpo humano, debe cumplir con las normas de protección radiológicas pertinentes. No obstante, no existen en México normas que regulen el uso de estos dispositivos, salvo algunas que se aplican a:

- 1.- Requerimientos para la calificación y entrenamiento del personal ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes (Norma Oficial Mexicana NOM-031-NUCL-1999).
- 2.- Salud Ambiental; Protección y Seguridad Radiológica en el diagnóstico médico con rayos-X (Norma Oficial Mexicana NOM-157-SSA1-1996).
- 3.- Requerimientos y calibración de monitores de radiación ionizante (Norma Oficial Mexicana NOM-012-NUCL-1995).

Investigaciones sobre monitoreo de radiación ionizante en aparatos de TV y monitores de computadoras, realizadas en el Laboratorio Metrología de la Radiación de la Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas de la UANL, por Mata Martínez⁽³⁾ y Puente Tristán⁽⁴⁾, han demostrado la factibilidad de utilizar la técnica de dosimetría termo luminiscente en estos casos.

(*) Ver apéndice I

De otras investigaciones recientes⁽⁵⁾ se desprende, que tales radiaciones pueden causar daños en los órganos de la visión, propiciando la formación de “cataratas” y opacidad.

Sintetizando lo anterior se puede afirmar que la problemática de evaluar los riesgos para la salud debidos a la radiación producida por monitores de computadoras, aparatos de televisión y similares, es sumamente importante y que puede realizarse a través de la Técnica de Dosimetría Termoluminiscente con una apropiada metodología. Por tales razones, en la presente tesis se profundiza en la utilización de ésta técnica, mostrando una vez mas su aplicabilidad y la posibilidad de estandarizarla para fines de control de riesgos a la exposición a este tipo de radiaciones, así como para que, en un futuro próximo, se establezcan las normas nacionales correspondientes.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES.

A fines de 1895, W. Röntgen descubrió los rayos-X que se producen cuando un haz de rayos catódicos incide sobre un sólido que actúa como blanco, produciendo fluorescencia en una pantalla recubierta de platinocianuro de bario colocada a cierta distancia del blanco, infiriendo que tal efecto era debido a una radiación procedente de las paredes del tubo de rayos catódicos⁽⁶⁾, y que denominó como rayos-X, los cuales tenían las siguientes propiedades: atravesar algunos objetos que no permiten el paso de la luz ordinaria; velar una placa fotográfica y no son desviados al pasar por campos eléctricos o magnéticos, deduciendo de esto último que no están constituidos por partículas cargadas.

En el año de 1896, A. H. Becquerel descubrió la radiactividad espontánea de las sales de uranio al revelar una placa fotográfica que tenía una llave encima y que había guardado en un cajón de su escritorio, sobre el cual colocó un mineral que contenía sales de uranio. La imagen de la llave apareció en la placa⁽¹⁰⁾.

Tiempo después, en el año de 1898 Marie Sklodowska Curie realizó investigaciones importantes sobre los fenómenos de radiación identificando otros dos elementos radiactivos: El polonio y el radio⁽⁶⁾.

Fue hasta el año de 1909 cuando E. Rutherford demostró que la radiación descubierta por Becquerel era una mezcla de tres tipos de rayos, ninguno de los cuales era idéntico a los rayos-X, y que fueron llamados α , β y γ dados en el orden de su creciente capacidad para penetrar en objetos⁽⁷⁾.

En 1934 Irene Curie y Frederic Joliot⁽⁶⁾ descubrieron la radiactividad artificial al estudiar los efectos de haces de partículas α sobre los núcleos de los

elementos ligeros. Al bombardear boro, magnesio y aluminio con partículas alpha del polonio, se observó la formación de protones y neutrones.

La ionización de un átomo es el procedimiento mediante el cual se extrae al menos un electrón de éste. La radiación, sean ondas electromagnéticas (fotones) o partículas, puede producir ionización, dependiendo básicamente de su energía y de las características del átomo en cuestión. Una partícula α , con energía cinética del orden de algunos Kev, puede ionizar un cierto número de átomos a lo largo de su trayectoria, siendo por lo general, mucho mayor que el número creado por una partícula β o por un rayo γ de la misma energía. Dependiendo de la penetración y de la naturaleza del medio, estos pueden ser absorbidos.

La disminución en la intensidad de un haz de rayos- γ , a medida que avanzan por un medio, se expresa comúnmente como:

$$I(x) = I_0 e^{-\mu x}$$

donde μ es el coeficiente de absorción del medio y x es la distancia recorrida en el material, $I(x)$ es la intensidad de la radiación del haz que ha penetrado una distancia x en el medio e I_0 es la intensidad inicial de la radiación⁽⁶⁾.

El estudio de las propiedades de las radiaciones emitidas por las sustancias radiactivas, claramente implicó el desarrollo de instrumentos para detectar y medir la radiación.

El funcionamiento de los primeros detectores se basó en el hecho de que la radiación puede producir ionización o excitación de los átomos o moléculas de un medio. En la primera década del siglo XX, J.W. Geiger trabajó en el perfeccionamiento de tales instrumentos, pero no fue sino hasta 1913, cuando en compañía de F. Müller, concluyó el diseñado del contador que lleva su nombre, el contador o detector Geiger-Müller), utilizado para contar partículas α , β , rayos-X y rayos γ ⁽⁷⁾.

En cuanto a los efectos biológicos producidos por radiación-X, resultaron importantes cuando se encontró que esta perjudicaba algunos tejidos animales mas rápidamente que otros. De hecho, las células de la piel sufren alteraciones por la exposición de baja energía de rayos X traduciéndose en eritema, así como altas dosis causan pigmentación, necrosis y ulceración⁽¹⁾. Becquerel sufrió quemaduras en el pecho al llevar un frasco en el bolsillo de su saco y que contenía radio⁽¹⁰⁾. M. S. Curie murió de leucemia causada por excesiva exposición a las sustancias radiactivas. De aquí, la importancia que más adelante se dará sobre el tratado de efectos biológicos de la radiación ionizante y de los dosímetros.

2.2 DETECTORES DE RADIACIÓN

2.2.1 Detector Geiger-Müller. Este detector se utiliza ampliamente en la detección y medición de radiaciones y se representa simbólicamente en la figura 1, donde un alambre delgado actúa como electrodo a través del eje de un cilindro de cobre⁽⁷⁾, llenado con un gas (inerte) a una presión de 5 a 10 cm de mercurio, expuesto a una diferencia de potencial de entre 800 y 1000 volts. La radiación al penetrar ioniza al gas a lo largo de su trayectoria. La tensión aplicada es la requerida para que los electrones producidos, al ser acelerados por el campo eléctrico produzcan más iones y electrones por colisión con los átomos del gas, generándose una corriente susceptible de amplificación y registro.

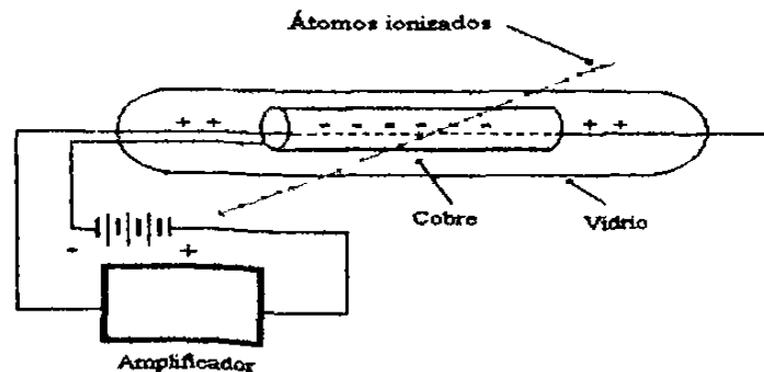


Figura 1. Detector Geiger-Müller

2.2.2 Cámara de Niebla. Las primeras observaciones de trayectorias de partículas fueron hechas en 1911 por C.T.R. Wilson⁽²⁾ al estudiar la condensación de vapores sobresaturados producidos por estas. El dispositivo empleado para este efecto se le conoce como Cámara de Niebla, la cual contribuyó mucho al desarrollo de la física moderna y que fue utilizada por primera vez en 1912.

Wilson construyó un cámara de vidrio conteniendo aire, además de un líquido condensable y volátil (como el alcohol). La cámara se fijó a una compresión moderada y se permitió que alcanzara el equilibrio térmico con sus alrededores produciendo la sobresaturación con una repentina expansión adiabática, por medio de un pistón. Los iones se producen por el paso a través del gas de una partícula cargada, formándose una trayectoria en la cámara.

Colocando una cámara de niebla entre los polos de un electroimán, se pueden diferenciar las partículas con carga positiva de las negativas a partir de la curvatura de su trayectoria.

2.2.3 Cámara de Burbujas. Otra cámara para observar trayectorias de partículas elementales es la Cámara de Burbujas, inventada por D. A. Glaser en 1952. En la figura 2 se presenta la cámara de burbujas de hidrógeno líquido del Laboratorio Nacional de Brookhaven, EUA⁽²⁾. Su funcionamiento consiste en mantener un líquido volátil bajo compresión y en equilibrio térmico con sus alrededores. Por medio de una expansión adiabática, el líquido se sobrecalienta hasta el punto de ebullición. Los iones producidos por el paso de partículas cargadas suministran discontinuidades en el líquido, y se forman y crecen pequeñas burbujas a lo largo de esta trayectoria de discontinuidades. Cuando las burbujas crecen lo suficiente, se acciona una lámpara de destellos, y se toman fotografías estereoscópicas que permiten posteriormente efectuar mediciones precisas de los eventos producidos.

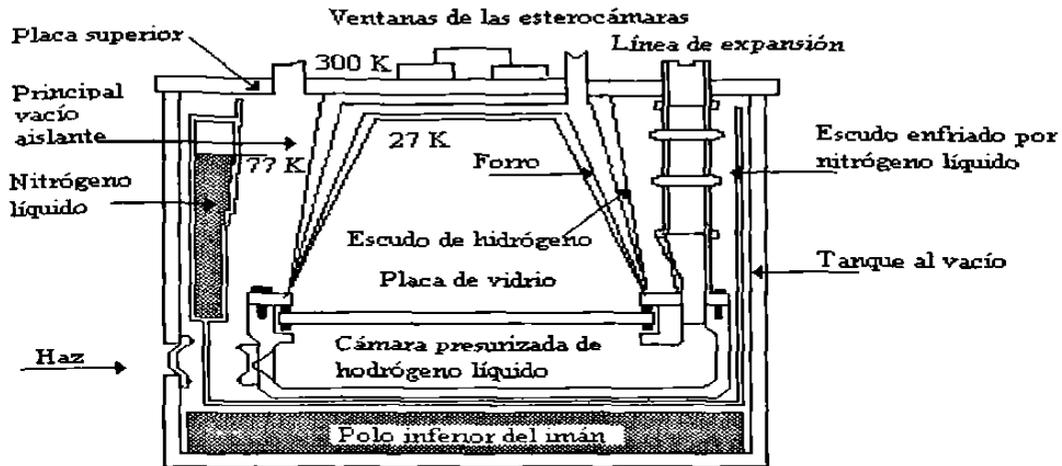


Figura 2. Diagrama esquemático de una cámara de burbujas⁽²⁾

2.2.4 Detector de Centelleo. El Detector por Centelleo⁽²⁾, es un dispositivo electrónico que registra pulsos de corriente en un tubo fotomultiplicador, en el cual la magnitud del pulso es proporcional al número de fotones generado por una partícula. Un típico tubo contador de centelleo se muestra en la figura 3, donde una sustancia fluorescente se coloca en uno de los extremos de un tubo fotomultiplicador que se recubre con paredes delgadas de aluminio opacas de luz.

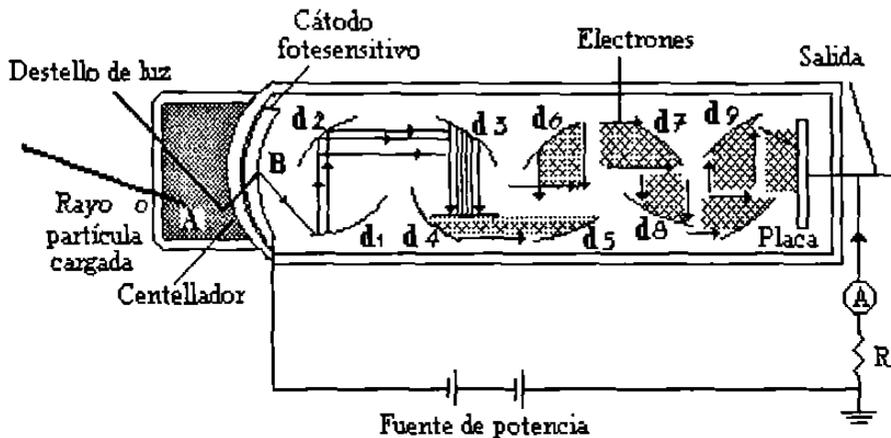


Figura 3. Detector de centelleo ⁽²⁾

2.2.5 Cámara de Ionización. La Cámara de Ionización⁽⁷⁾ (Figura 4) es un dispositivo cuyos electrodos colectan los iones producidos por la radiación dando lugar a una corriente cuya intensidad puede medirse y relacionarse con la de la radiación que produce la ionización.

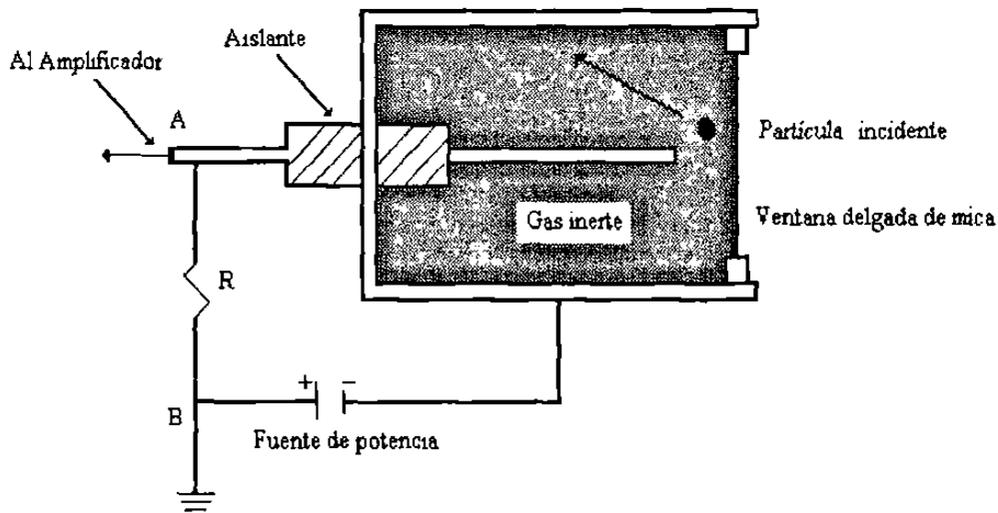


Figura 4. Cámara de Ionización⁽⁷⁾

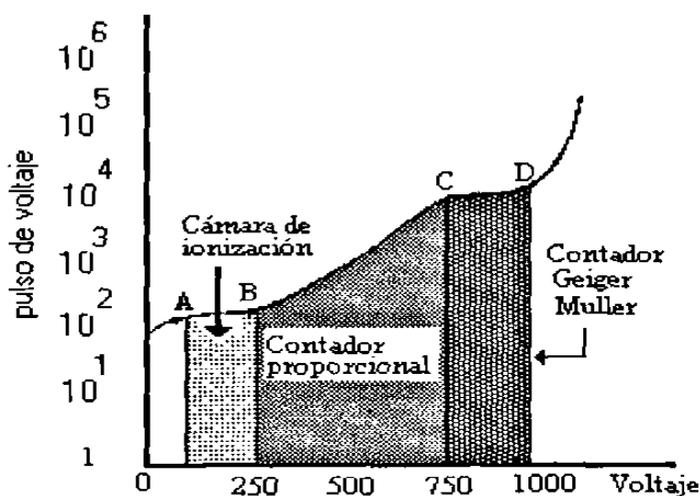
Las Cámaras de descarga y las Cámaras de corriente también se usan en la investigación de partículas elementales y de altas energías⁽¹⁶⁾. Una cámara de chispas o de descarga consiste de una serie de placas metálicas paralelas dentro de un recipiente lleno de gas, de tal forma, que al paso de una partícula se crea una descarga eléctrica entre placas adyacentes. La cámara de corriente solo contiene dos placas mantenidas a una diferencia de potencial constante. La partícula cargada que atraviesa la cámara, se aprecia por el brillo o corriente a lo largo de su trayectoria.

2.2.6 Contador Proporcional. Otro tipo de detector es el contador proporcional, en el cual el rango de voltaje de operación está entre los 250 y 800 volts. También esta constituido por dos electrodos y en el cual, la ionización

producida es aproximadamente proporcional a la ionización inicial debido a la carga de cada partícula que pasa a través del gas. La altura del pulso de corriente producido es proporcional a la ionización producida por la partícula cargada⁽¹⁰⁾.

Un contador proporcional puede calibrarse con exactitud para producir pulsos definidos de voltaje característicos de las diferentes partículas las cuales pueden ser contadas al igual que el valor de su energía.

La siguiente figura muestra como característica el voltaje aplicado a diferentes detectores de partículas cargadas.



2.3 DOSIMETRÍA

2.3.1 Tipos de Dosímetros. Los dosímetros son dispositivos que permiten medir o evaluar una dosis absorbida, una exposición o cualquier otra magnitud radiológica. Los dosímetros emplean distinto procedimiento en la medida de dosis. Algunos tipos son: los de emulsiones fotográficas, que generalmente son muy sensibles a la radiación (dosímetro fotográfico); y los dosímetros termoluminescentes, que absorben la energía de la radiación y después la liberan en forma de luz; dosímetros químicos y dosímetros de Fricke, que propiamente utilizan sustancias químicas que se transforman en presencia de la radiación; dosímetro de bolsillo o de tipo pluma; etc. El dosímetro de bolsillo o también

llamado de lectura directa, se utiliza principalmente para tomar lecturas de la exposición del personal que maneja material radiactivo, con objeto de tomar las medidas de protección radiológicas adecuadas. Su modo de operación⁽¹²⁾ se basa en capacitores con un electrodo móvil,. El capacitor se carga a un voltaje predeterminado, lo que produce una separación determinada de los dos electrodos. Cuando se expone a radiación X o gamma γ , o ambas, se produce ionización en la cámara en la que están contenidos los electrodos, produciendo una disminución de carga en ellos, causando un cambio en la posición del electrodo móvil, que se observa a través de un sistema óptico construido en el propio dosímetro.

El film fotográfico opera de la siguiente forma: partículas (granos) de plata y bromo, suspendidas en forma de masa gelatinosa soportada en una base de vidrio o tela de acetato, se exponen a radiación ionizante, algunas de estas partículas son “sensibilizadas”, dando por resultado la excitación de pequeñas regiones en cada grano de plata depositado en el plástico.

Una aplicación básica de las emulsiones fotográficas en dosimetría se debe al oscurecimiento de ésta, observado al revelar la película, causado por los efectos acumulativos de absorciones de radiación ionizante en el bromuro de plata. Por esta razón, la película fotográfica se utiliza para monitorear la radiación, además de tener un vasto campo de aplicación en radiografías. Cabe señalar, que hasta 1935 C. F. Powell obtuvo las primeras emulsiones satisfactorias para la detección de partículas de alta energía^(10,12).

2.3.2. El principio de Bragg-Gray. Si la cavidad de una cámara de ionización es construida con material cuya propiedad de absorción de radiación sea similar a la del tejido, entonces, de acuerdo al principio de Bragg-Gray, se puede construir un instrumento que mida directamente dosis de radiación sobre tejido. Este principio señala que: **La cantidad de ionización producida en una pequeña**

cavidad llena de gas rodeada por un medio sólido absorbente es proporcional a la energía absorbida por el sólido.

Para aplicaciones prácticas de este principio, la cavidad del gas debe ser pequeña con relación a la masa del sólido absorbente, para que se puedan mantener sin cambio alguno las distribuciones angulares y de velocidad de los electrones primarios, o sea, los que son emitidos por la ionización, este requerimiento es satisfecho si los electrones primarios pierden solamente una pequeña fracción de su energía al atravesar la cavidad del gas. Si la cavidad es rodeada por un medio sólido de espesor apropiado para establecer un equilibrio electrónico, esto es, los electrones que entran a la cavidad sean los mismos que salen, entonces la relación entre la energía absorbida por unidad de masa del medio absorbente (dE_m/dM_m) y la energía absorbida por unidad de masa del gas en la cavidad (dE_g/dM_g) es:

$$\frac{dE_m}{dM_m} = \frac{S_m}{S_g} \cdot \frac{dE_g}{dM_g} \quad (1)$$

donde S_m , es el poder de frenado de masa del material y S_g 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 anterior puede ser escrita como:

$$\frac{dE_m}{dE_g} = \rho_m WJ \quad (2)$$

donde $\rho_m = S_m/S_g$, es la relación del poder másico de frenado del sólido con relación al del gas. W 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.

2.3.3 Unidades de exposición. La dosis absorbida en alguna región de un organismo depende del tipo y de la energía de radiación a la que se somete.

Una “Unidad de Exposición” se define como: **La cantidad de radiación x o γ que produce en el aire iones (de cualquier signo) con una carga de 1 Coulomb por kilogramo de aire:**

$$1 \text{ unidad X} = 1 \frac{\text{C}}{\text{kg (aire)}} \quad (3)$$

o también:

$$1 \text{ X} = 1 \frac{\text{C}}{\text{kg (aire)}} \cdot 1 \frac{\text{ión}}{1.6 \times 10^{19}} \cdot 34 \frac{\text{ev}}{\text{ión}} \cdot 1.6 \times 10^{-19} \frac{\text{J}}{\text{ev}} \cdot 1 \frac{\text{Gy}}{\text{J/kg}} = 34 \text{ Gy (aire)} \quad (4)$$

El SI adoptó el Röntgen (R) como la unidad de medición de exposición antes de la unidad X⁽¹⁾, y fue definido como la unidad de radiación-x o γ producida por iones de 1 Statcoulomb de carga de cualquier signo por centímetro cúbico de aire a cero grados celsius y 760 mm de Hg:

$$1 \text{ Röntgen (R)} = 1 \text{ Sc/cm}^3$$

y, puesto que 1 ión conduce una carga de 4.8×10^{-10} Sc y la masa de 1 cm^3 de aire es equivalente a 0.001293 gr, entonces una exposición de 1 R corresponde a una absorción de 87.7 erg por gramo de aire, esto es:

$$1 \text{ R} = 87.7 \text{ erg/gr}_{\text{aire}}$$

La equivalencia entre una unidad X y el Röntgen es:

$$1 \text{ UNIDAD X} = 3881 \text{ R}$$

$$(34 \text{ j/kg}) (10 \text{ erg/J}) (1 \text{ kg}/1000\text{gr}) / [87.7 \text{ (erg/gr)} / \text{R}] = 3881 \text{ R} / (\text{C}/\text{kg})$$

2.2.3 Dosis absorbida. La unidad básica de Dosis de Radiación se expresa en términos de energía por unidad de masa de tejido: Joules por kilogramo y se denomina Gray (Gy), expresándose como:

$$1 \text{ Gray} = \frac{1 \text{ Joule}}{\text{Kilogramo}} = 1 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \quad (5)$$

Sin embargo, la Dosis Absorbida definida como “La energía impartida por cualquier tipo de radiación por unidad de masa”

$$\frac{\Delta E}{\Delta m} = \frac{\text{Energía impartida}}{\text{Masa del material irradiado}}, \text{ en J/kg} \quad (6)$$

utilizada para cualquier tipo de material que se irradie, era la magnitud de dosis de radiación antes de que el sistema internacional de unidades adoptara al Gray. La Dosis de Radiación Absorbida o RAD es igual a 100 ergs por gramo de masa de material irradiado.

La equivalencia entre las unidades Gray y Rad es la siguiente:

$$1 \text{ Gray (Gy)} = 100 \text{ rad}$$

además:

$$1 \text{ Gray} = 10^4 \text{ erg /gr, para cualesquier tipo de radiación en material biológico }^{(1)}.$$

Se considera aproximadamente que en el tejido muscular la densidad electrónica es de 3.28×10^{23} electrones por gramo, y en aire es de 3.01×10^{23} electrones por gramo, por lo que la energía de absorción (en joules por kilogramo de tejido) correspondiente a una exposición de un coulomb por kilogramo de aire, es:

$$1 \text{ Coulomb/kg}_{\text{aire}} = (3.28/3.01) (34\text{Gy}) = 37 \text{ J/kg}_{\text{tejido}}$$

de donde se deduce que una exposición de $87.8 \text{ ergs/gr}_{\text{aire}}$ es equivalente a la absorción de $95 \text{ ergs/gr}_{\text{tejido muscular}}$. Este valor es cercano a la dosis de cualquier tejido expuesto a 1-R, o sea 1- rad.

En el apéndice II se presenta una Tabla con los principales efectos corporales de dosis agudas por exposición a radiación ionizante.

2.2.4 Materiales Termoluminiscentes. Los materiales termoluminiscentes TL son, hasta la fecha, sustancias cristalinas caracterizados por su resplandor al ser calentados. Un detector termoluminiscente TLD opera bajo el principio de que la energía de la radiación que absorbe produce estados excitados en los átomos que lo conforman, permaneciendo así hasta que se eleva su temperatura lo suficiente para que regresen a un estado de más baja energía, con la consecuente emisión de luz. “La cantidad de luz emitida es proporcional a la dosis absorbida por el detector”⁽⁹⁾.

En general, los dosímetros termoluminiscentes retienen por buen tiempo la información captada en condiciones normales. El tipo de dosímetros que nos interesa son los de Fluoruro de Litio dopado con magnesio y titanio, cuya sensibilidad es del orden de 0.2 mGy. El desvanecimiento de este material termoluminiscente es despreciable a temperaturas ambientales, además su número atómico promedio es 8.1, que no difiere mucho de 7.4, que corresponde al promedio de tejidos humanos vivo⁽⁹⁾.

En la siguiente tabla se presentan las características básicas de tres materiales termoluminiscentes comerciales⁽¹³⁾.

PROPIEDAD	LiF	Li ₂ B ₄ O ₇	CaF ₂
Densidad (gr/cm ³)	2.6	2.4	3.18
Rango útil	0.03 mGy a 3000 Gy	0.05 mGy a 10 000 Gy	0.03 mGy a 3000 Gy
Desvanecimiento	Despreciable, 5% por año	<5% en 3 meses	10% en las primeras 16 horas 15% en 2 semanas

CAPÍTULO III

EFECTOS BIOLÓGICOS DE LA RADIACIÓN IONIZANTE

3.1 INTRODUCCIÓN.

Los tejidos de los seres vivos son sensibles a las radiaciones ionizantes como se indicó en los antecedentes, produciendo alteraciones que pueden ser de tipo somático, genético o ambos. En particular las células sufren desequilibrios en los enlaces químicos de sus moléculas constituyentes, destruyendo o alterando su función, cuando esto ocurre en la molécula del DNA se presentan mutaciones que pueden originan la formación organismos nocivos para la salud⁽¹⁶⁾.

3.2 UNA MEDIDA DEL DAÑO BIOLÓGICO: H

La DOSIS ABSORBIDA se señala con letra D, la que multiplicada por un factor de calidad Q, dá como resultado la magnitud H denominada “Dosis Equivalente”, cuya unidad original fue el rem, esto es:

$$H = D \times Q$$

que viene a ser “una medida del daño biológico que cada tipo de radiación produce sobre los tejidos vivos”.

Los efectos biológicos producidos por la radiación ionizante dependen de la energía total depositada por gramo o por cm^3 a lo largo de su trayectoria. Debido a esto se introdujo el término de calidad Q. Un ejemplo típico se presenta en el daño biológico producido por absorción de partículas α , que será mucho mayor que el daño producido por radiación γ , en igualdad de dosis. El factor de calidad especificado es: $Q_{\alpha} = 10 Q_{\gamma}$. (Ver Tabla 3)

TIPO DE RADIACION	FACTOR DE CALIDAD Q
Rayos X y γ	1
Rayos β , $E_{max} > 0.03$ Mev	1
Rayos β , $E_{max} < 0.03$ Mev	1.7
Partícula α	10
Núcleos de alta energía	20

Tabla 3. Valor del factor de calidad para algunos tipos de radiación⁽¹⁾

Una recomendación muy importante proporcionada por el National Council Radiation Protection es: “Ningún individuo que esté expuesto (en forma ajena a su ocupación habitual) a radiaciones, debería recibir una dosis equivalente mayor de 500 mrem (0.5 rem) dentro de un año calendario”. Esto incluye las radiaciones de todas clases⁽¹⁾.

En general es conveniente incluir a otros factores en la definición de H , como el de distribución, resultando:

$$H(\text{Sieverts}) = D(\text{Grays}) \cdot Q \cdot N, \text{ donde } N \text{ es un factor de distribución}^{(8)}$$

3.2.1 Dosis equivalente. Una de las principales unidades para expresar la dosis equivalente fue el rem, definido como: Un 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.

La unidad actual de Dosis Equivalente es el Sievert (Sv) que se define como:

1 Sv es igual a una dosis absorbida de 1 Gy de rayos-X o β ⁽¹⁾.

$$1 \text{ Sievert(Sv)} = 1 \text{ J/kg} = 100 \text{ rem}$$

3.2.2 Dosis máxima permisible. La Comisión Internacional sobre Protección Radiológica (I.C.R.P. por sus siglas en inglés) ha dictaminado las “Dosis Máximas Permisibles” por año y para cualquier individuo, como se indica en la siguiente tabla:

Órgano	Dosis limite para el público
1. Gónadas, Médula ósea, o totalidad del cuerpo	0.5 rem (5 mSv)
2. Piel, Tiroides y Huesos	3.0 rem (30 mSv)*
3. Manos o Pies	7.5 rem (75 mSv)
4. Otros órganos	1.5 rem (15 mSv)

*1.5 rems hasta 16 años de edad.

Tabla 4. Dosis Máxima Permisible por año⁽¹³⁾

3.2.3 Efectos producidos por la radiación. Los efectos producidos por la radiación se pueden clasificar en dos grupos: Estocásticos y No-Estocásticos.

Los efectos Estocásticos son los que aparentemente no tienen una dosis de umbral a partir de la cual se manifiesta la probabilidad de que ocurra el efecto. Se considera una función de la dosis.

Los efectos No-Estocásticos se producen a partir de una dosis de umbral y aumentan severamente con la dosis.

Independientemente de esta clasificación, los efectos de la radiación pueden ser de tipo genético o de tipo somático, según sea el daño causado.

CAPÍTULO IV

PROPUESTA DE TESIS

Dada la muy escasa información encontrada sobre los tipos e intensidades de radiación ionizante que emiten los monitores de computadoras modernas, así como de las respectivas evaluaciones de los riesgos que representa para la salud, incluyendo sus normatividades, se pretende a través de la presente investigación, mostrar científicamente la posibilidad de desarrollar una metodología confiable, sencilla y muy accesible que permita no solo monitorear dicha radiación, sino además evaluar los riesgos a su exposición y constituirse como básica para establecer en nuestro País las normatividades que la modernidad exige.

Nuestra propuesta concreta es:

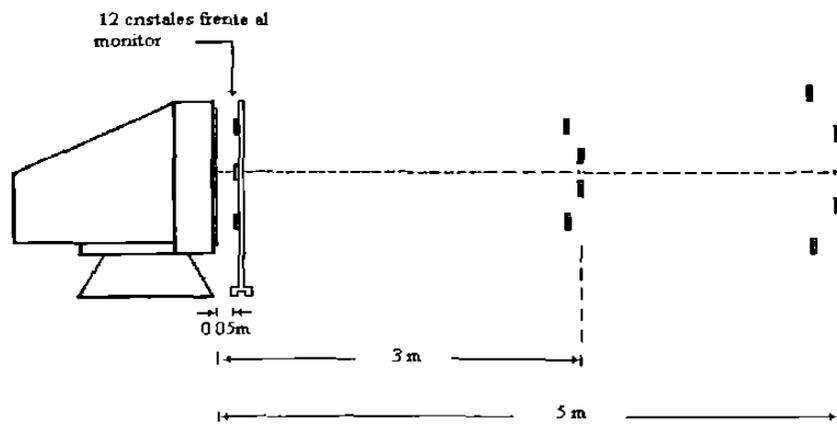
**DESARROLLAR LA METODOLOGÍA ANTES MENCIONADA
UTILIZANDO DOSÍMETROS TERMOLUMINISCENTES DE
FLUORURO DE LITIO (LiF).**

CAPÍTULO V

PROCEDIMIENTO

Similarmente a las investigaciones realizadas por Mata Martínez⁽³⁾ y Puente Tristán⁽⁴⁾, se procedió a monitorear la radiación ionizante proveniente de monitores de computadoras utilizando para ello 20 dosímetros termoluminiscentes (cristales de LiF) de marca Victoreen, los que fueron “desactivados” cada vez que se repitió el experimento en un horno marca Thermolyne, modelo 47900, trazado al NIST. Después de la exposición se midieron las dosis absorbidas por los cristales en un Lector de Dosímetros Termoluminiscentes debidamente calibrado marca Victoreen, modelo 2800 M.

Se diseñó una rejilla de madera cuyas dimensiones, 45cm de base por 35cm de altura, cubrieron las correspondientes a la pantalla típica del monitor (de alta resolución) de una computadora, como las que utilizan los estudiantes de preparatoria (Marca DIGITAL 386). En ella se colocaron 12 dosímetros (cristales) distribuidos uniformemente frente al monitor y a una distancia constante de 5 cm. Los otros 8 dosímetros se distribuyeron en el entorno frontal y lateral del monitor a distancias de 3 y 5 metros, y en diferentes direcciones, como se ilustra en la siguiente figura.



El experimento se repitió 4 veces, manteniendo las mismas condiciones y especificaciones. Los tiempos de exposición de los dosímetros fueron: 48, 72, 96 y 120 horas respectivamente, y el color que se programó para la pantalla fue el violeta. Al término de cada exposición se analizaron los dosímetros.

Las cuatro ocasiones que se expusieron los dosímetros, estas se llevaron a cabo en un área aislada del Laboratorio de Física de la Escuela Preparatoria No. 8 de la U.A.N.L. durante el verano de 1999.

Las lecturas de los dosímetros, así como su preparación, se realizaron en el Laboratorio de Metrología de las Radiaciones de la Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas de la U.A.N.L.

CAPÍTULO VI

PRESENTACION Y ANALISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos (en mGy) de los 12 cristales frente a la pantalla del monitor se presentan en la Tabla 5, y los de los restantes 8 en la Tabla 6.

No. de Cristal	T = 48 Hrs	T = 72 Hrs	T = 96 Hrs	T = 120 Hrs
1	0.40	0.28	1.28	1.38
2	0.49	1.35	1.16	1.27
3	0.30	1.13	1.68	1.94
4	0.94	0.35	1.36	0.83
5	0.98	1.00	1.86	1.84
6	1.24	1.39	1.38	0.77
7	0.63	1.61	1.62	1.96
8	1.16	0.84	1.84	1.64
9	0.74	1.10	1.59	1.54
10	1.08	1.95	1.96	1.90
11	1.46	1.37	0.98	2.17
12	1.25	1.43	1.42	1.81
Media	0.88	1.15	1.51	1.58
σ_{n-1}	0.37	0.48	0.29	0.44

Tabla 5

No. de Cristal	T = 48 Hrs	T = 72 Hrs	T = 96 Hrs	T = 120 Hrs
1	0.47	0.50	1.31	1.20
2	0.37	0.63	1.72	0.91
3	0.62	0.97	1.23	0.87
4	0.68	1.06	0.58	0.75
5	0.04	1.15	1.85	1.36
6	0.55	0.82	0.61	2.01
7	1.03	0.48	0.90	1.90
8	1.09	0.91	1.10	1.76
Media	0.61	0.81	1.16	1.34
σ_{n-1}	0.35	0.25	0.46	0.49

Tabla 6

Considerando solo resultados cuya dispersión tenga un valor absoluto máximo de una desviación estándar (σ_{n-1}), las correspondientes medias y desviaciones se presentan en la Tabla 7 y 8.

TABLA 7
(Cristales frente a la pantalla)

Horas de exposición.	Media (mGy)	σ_{n-1}
48	1.00	0.26
72	1.24	0.24
96	1.53	0.22
120	1.69	0.25

TABLA 8
(Cristales restantes)

Horas de exposición.	Media (mGy)	σ_{n-1}
48	0.55	0.22
72	0.87	0.15
96	1.13	0.17
120	1.22	0.36

Sus correspondientes gráficas de barras se presentan en las figuras 5 y 6.

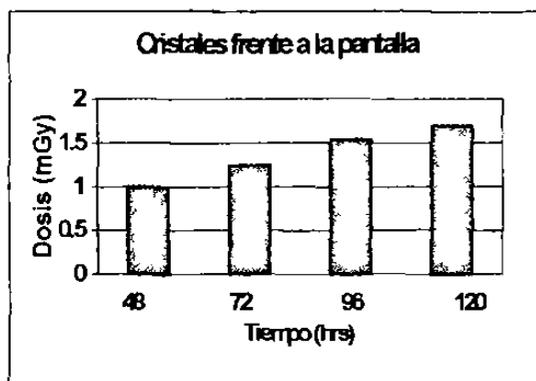


Figura 5

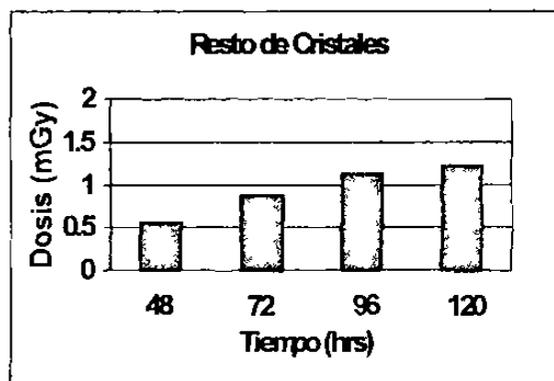


Figura 6

Con el fin de obtener la razón de dosis por hora, los resultados de las Tablas 7 y 8 se dividen entre el respectivo número de horas, obteniéndose los resultados que se muestran a continuación en las Tablas 9 y 10.

TABLA 9
(Cristales frente a la pantalla)

Horas de exposición.	Razón de Dosis(mGy/Hora)
48	0.021
72	0.018
96	0.016
120	0.014
Media	0.017

TABLA 10
(Cristales restantes)

Horas de exposición.	Razón de Dosis(mGy/Hora)
48	0.011
72	0.012
96	0.012
120	0.010
Media	0.011

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

Los resultados de las Tablas 7 y 8 muestran claramente la tendencia acumulativa de las Dosis Absorbidas, tanto a .05m de la pantalla del monitor como a distancias de 4m (en promedio), y en las Tablas 9 y 10 se obtuvieron las medias de las correspondientes Razones de Dosis, que fueron: 0.017mGy/Hora a una distancia de 5cm de la pantalla del monitor, y de 0.011 mGy/Hora para una distancia promedio de 4m de dicha pantalla.

Estos resultados también se pueden expresar en mSv, dado que el factor de calidad $Q=1$ para los rayos X.

Con el fin de evaluar los riesgos que estas radiaciones representan para la salud, en la Tabla 11 se presentan los resultados calculados para ambos casos (a .05m y a 4.0m de la pantalla) en intervalos de tiempo de 1 Semana, 1 Mes (30 días), 6 Meses (180 días) y 1 Año (365 días).

Dosis Absorbida (mGy)

Intervalo de tiempo / Caso	1 Semana	1 Mes	6 Meses	1 Año
A 5cm de la pantalla	2.856	12.24	73.44	148.92
A 4m de la pantalla	1.848	7.920	47.52	96.36

Considerando la dosis máxima permisible que recomienda el I.C.R.P., que es de 0.05 Sv (5 rem) en un año, concluimos que las exposiciones durante 1 año a 5cm (0.05m) y a 4m de la pantalla, que fueron de 1.4892Sv y 0.9636Sv respectivamente, deben de ser consideradas muy seriamente al evaluar la dosis anuales a que se exponen los usuarios de estos dispositivos, ya que ambos

resultados rebasan claramente la máxima dosis recomendada, el primero es casi 3 veces mayor y el segundo 2 veces mayor.

La confiabilidad de estos resultados esta bien consolidada por la metodología científica con que se procedió, la que ya había sido utilizada en ocasiones anteriores para casos similares por Mata Martínez⁽³⁾ y Puente Tristán⁽⁴⁾.

En resumen se concluye lo siguiente:

1. Se confirma plenamente la propuesta de la presente tesis, en el sentido de desarrollar una metodología confiable, sencilla y muy accesible para monitorear y evaluar los riesgos que representa para la salud, la radiación ionizante producida por monitores de computadoras.
2. Los riesgos que esta radiación ionizante representa para la salud deben de incluirse en lo sucesivo como parte muy significativa de la exposición a que está sujeto cualquier individuo, no se diga aquellos que por su propio desempeño hacen uso de computadoras con este tipo de monitores.
3. Los resultados de esta investigación acentúan la necesidad de contar con una normatividad que permita el uso racional de estos monitores.
- 4.- Es sumamente importante darle la continuidad a este tipo de investigaciones, ya que la gran diversidad de monitores existentes de este tipo y la carencia de las correspondientes regulaciones, así lo requieren.

APÉNDICE I⁽²⁾

Rango de longitud de onda Rango de energías Método de detección
(m) (J)

Rayos gamma	5×10^{-13}	4×10^{-13}	Contador Geiger	Emulsiones fotográficas	Contadores de cristal
	1×10^{-11}	2×10^{-14}			
Rayos X	1×10^{-11}	2×10^{-14}	Fotografía	Cámara de ionización	
	5×10^{-9}	4×10^{-17}			
Ultravioleta	5×10^{-9}	4×10^{-17}	Fotografía	Fluorescencia	
	4×10^{-7}	5×10^{-19}			
Visible	4×10^{-7}	5×10^{-19}	Ojo	Fotografía	Fotoceldas
	7×10^{-7}	2.8×10^{-19}			
Infrarrojo	7×10^{-7}	2.8×10^{-19}	Bolómetro	Termopila	Fotoconductor
	3.5×10^{-4}	5.7×10^{-22}			
Hertzianas cortas, televisión, radar	3.5×10^{-4}	5.7×10^{-22}	Resonancia eléctrica		
	4×10^1	5×10^{-27}			
Radio	4×10^1	5×10^{-27}	Resonancia eléctrica		
	2×10^4	1×10^{-29}			
Micropulsaciones	1×10^8	2×10^{-33}	Receptores magnéticos		
	5×10^{10}	4×10^{-36}			

APÉNDICE II

Algunos efectos de Dosis agudas de radiación ionizante⁽²⁾

EFEECTO	100-200 rem	200-600 rem	600-1000 rem	1000-5000 rem	Más de 5000 rem
Incidencia de vómito	100 rem: 5% 200 rem:50%	300 rem:100%	100%	100%	100%
Tiempo que tarda en presentarse	3 hr.	2 hr.	1 hr.	1 hr.	½ hr.
Órgano afectado	Tejido hema - topoiético	Tejido he - matopoiético	Tejido hema - topoiético	Gastrointes - tinal	Nervioso central
Signos característicos	Leucopenia moderada	Leucopenia severa: púrpura; hemorragia; infección; apilaje después de 300 rem	Igual que el anterior	Diarrea; fiebre	Convulsiones Temblores, ataxia; letargo
Período crítico posterior		4-6 semanas	4-6 semanas	5-14 días	1-48 horas
Terapia	Descanso; vigilancia he - matológica	Transfusio - nes de san - gre; antibió - ticos	Posible transplante de médula ósea	Mantener el balance electrolítico	Sedativos
Pronóstico	Excelente	Bueno	Cauteloso	Sin esperanza	Sin esperanza
Periodo de convalecencia	Varias semanas	1-12 meses	Largo	-----	-----
Incidencia de muerte	Ninguna	0-80% (variable)	80-100% (variable)	90-100 %	90-100 %
La muerte ocurre en		2 meses	2 meses	2 semanas	2 días
Causas de la muerte		Hemorragia; Infección	Hemorragia; Infección	Colapso circulatorio	Falla respiratoria; Endema cerebral

CAPÍTULO VIII

REFERENCIAS

1.- CEMBER, H.

Introduction to Health Physics.

Mc Graw-Hill, 1992.

2.- ACOSTA V., COWAN C.L., GRAHAM B.

Curso de Física Moderna.

Harla, S.A. de C.V., 1975

3.- MATA MARTÍNEZ, 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, UANL. 1998.

4.- PUENTE TRISTÁN, V.M.

Detección, Medición y Modelo matemático de la radiación ionizante producida en televisores comerciales.

Tesis de maestría. Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas, UANL. 1998

5.- <http://www.ret.or.j.p/eico/radefx/early/catarat.htm>

6.- KAPLAN, I.

Física Nuclear.

Ed. Aguilar. 1962

- 7.- WHITE, H.E.
Física Moderna,
Montaner y Simón, S.A., 1979

- 8.- SHAPIRO, J.
Radiation Protection.
Harvard University Press, 1990.

- 9.- INSTRUCTION MANUAL.
Thermoluminescence Dosimeter.
(TLD) Reader Model 2800 M.
Published by Victoreen Inc., 1991.

- 10.- CHELET, YVES.
La energía nuclear.
Ediciones Martínez Roca. Barcelona, 1967.

- 11.- GIFFIN, NOEL
Short-term Somatic Effects.

- 12.- [http://www.csn/información /diccionario/dice D. Htm/](http://www.csn/información/diccionario/dice D. Htm/)

- 13.- KNOLL, G.F.
Radiation Detection and Measurement.
J. Wiley, 1979.

14.- HALL, E. AND BEIR.

Radiobiology for the Radiologist, 1994.

15.- TIPLER, P.

Física.

Reverte, S.A., 1987

16.- BLATT, F. J.

Fundamentos de Física

Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A., 1991.

