

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

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



**DETECCION, MEDICION Y EVALUACION DE RIESGOS
POR RADIACION IONIZANTE EN EL PROCESO
DE SOLDADURA POR ARCO ELECTRICO**

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

Juan Antonio Hernández Pérez

ASESOR:

Dr. Bernabé Luis Rodríguez Buenrostro

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

1981
DEPARTMENT OF MEDICINE
IONIA, MICHIGAN
EVERETT R. JACOBSON
M.D.
FACADEMIA
SOCIETY OF
MEDICAL
PROFESSORS
AND
SURGEONS
OF
MICHIGAN
1981

TM
Z6651
FCFM
1998
H4

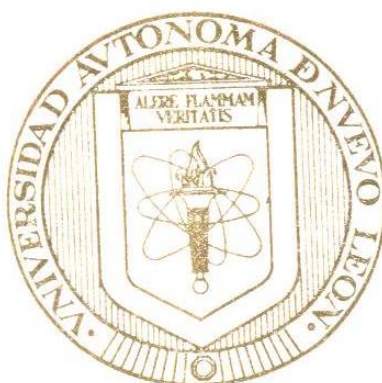


1020124896

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 EVALUACION DE RIESGOS
POR RADIACION IONIZANTE EN EL PROCESO
DE SOLDADURA POR ARCO ELECTRICO

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

Juan Antonio Hernández Pérez

ASESOR:

Dr. Bernabé Luis Rodríguez Buenrostro

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

TM
Z665
FCFM
1992
H4

0124-42660



FONDO
TESIS

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

**DETECCIÓN, MEDICIÓN Y EVALUACIÓN DE RIESGOS
POR RADIACIÓN IONIZANTE EN EL PROCESO DE
SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO**

TESIS

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

PRESENTA

Juan Antonio Hernández Pérez

ASESOR

Dr. Bernabé Luis Rodríguez Buenrostro

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



**FONDO
TESIS**

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo ha sido posible gracias al apoyo y colaboración del Dr. Bernabé Luis Rodríguez Buenrostro quien fungió como mi asesor y a quien en gran parte corresponde la idea fundamental para la realización de este trabajo.

A la Universidad Autónoma de Nuevo León por el apoyo económico otorgado, así como las facilidades brindadas al permitirme utilizar las instalaciones del Laboratorio de Metrología de la Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas y del Taller de Soldadura de la Escuela Industrial y Preparatoria Técnica Álvaro Obregón ambas de la U. A. N. L. donde se llevaron a cabo los experimentos.

A todas las autoridades universitarias, compañeros maestros y amistades que de una u otra forma me apoyaron en la realización de la presente tesis.

DEDICATORIA

A MIS PADRES

Antonio Hernández Martínez

y

María del Socorro Pérez Rodríguez

**DETECCIÓN, MEDICIÓN Y EVALUACIÓN DE RIESGOS
POR RADIACIÓN IONIZANTE EN EL PROCESO DE
SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO**

Tesis presentada por Juan Antonio Hernández Pérez 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:

DR. RUBÉN MORONES IBARRA

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	— — — — — — — — — —	1
CAPÍTULO I ANTECEDENTES	— — — — — — — — — —	3
CAPÍTULO II RAYOS-X	— — — — — — — — — —	6
CAPÍTULO III DETECCIÓN DE LA RADIACIÓN	— — — — — — — — — —	11
CAPÍTULO IV DOSIMETRÍA DE LA RADIACIÓN	— — — — — — — — — —	23
CAPÍTULO V EFECTOS BIOLÓGICOS DE LAS RADIACIONES	— — — — — — — — — —	28
CAPÍTULO VI SEGURIDAD RADIOLÓGICA	— — — — — — — — — —	35
CAPÍTULO VII PROPUESTA DE LA TESIS	— — — — — — — — — —	43
CAPÍTULO VIII DISEÑO EXPERIMENTAL Y PROCEDIMIENTO	— — — — — — — — — —	44
CAPÍTULO IX ANÁLISIS DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y COMENTARIOS	— — — — — — — — — —	47
REFERENCIAS	— — — — — — — — — —	53

INTRODUCCIÓN

Los cristales de fluoruro de litio son ampliamente utilizados a nivel mundial como dosímetros de radiación ionizante debido a que son relativamente económicos y reutilizables. En nuestro País los utiliza la C.N.S.N.S. para monitoreos de la radiación ambiental de fondo en diversas entidades y también se emplean como dosímetros en programas de protección y seguridad radiológica en donde se haga uso de la radiación ionizante, como: hospitales, centros de diagnóstico y radioterapia, laboratorios, en el control de calidad, radiografía industrial, etc. En cuestión de microdosis, la alternativa de emplear en nuestro País esta tecnología empieza a consolidarse. Prueba de esto son los trabajos desarrollados sobre monitoreos de la radiación ionizante en radiografía dental no-panorámica^(13,14) y en terminales de vídeo^(15,16). Por lo que respecta a la soldadura de arco, no se encontró información relativa a monitoreos ni evaluaciones de riesgos debido a radiación-X o ultravioleta, salvo lo relativo a la protección visual y corporal contra la intensidad de la radiación convencional. Consientes de los riesgos que la radiación ionizante representa para el cuerpo humano, se procedió a diseñar un experimento con el fin de evaluar las dosis presentes en este tipo de procesos.

En el primer capítulo se presenta lo concerniente a los antecedentes del arco de soldadura. En el capítulo II lo

referente a la producción y conceptos básicos de rayos-X. Instrumentos de medición y detección de la radiación ionizante se incluyen en el capítulo III. En el capítulo IV están contenidos los fundamentos de la dosimetría de la radiación ionizante. En el capítulo V se hace referencia al daño biológico producido por la radiación ionizante. Recomendaciones y normas en el uso de la radiación ionizante se presentan en el capítulo VI. El capítulo VII contiene la propuesta de la tesis. Posteriormente se plantea el diseño experimental y procedimiento en el capítulo VIII, para finalizar en el capítulo IX con la respectiva presentación de los resultados, conclusiones y comentarios, y posteriormente las referencias propias de esta tesis.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

Los gases y vapores a una temperatura y presión normales no son buenos conductores de la corriente eléctrica, sin embargo, se convierten en electroconductores cuando llevan partículas portadoras de cargas eléctricas (iones positivos y/o negativos). El aire contiene en estado normal solamente una cantidad insignificante de iones, los metales por el contrario, siempre tienen cierta cantidad de electrones libres que los hacen electroconductores.⁽¹⁾

El arco de soldadura representa una descarga eléctrica producida en un espacio gaseoso entre el electrodo y la pieza a soldar o entre dos electrodos, acompañada de una emisión considerable de radiación térmica, lumínica visible, infrarroja, ultravioleta y rayos-X. Para que surja una descarga eléctrica en el medio gaseoso entre el electrodo y la pieza que se suelda, el gas debe estar ionizado, convirtiéndose en electroconductor. El proceso de ionización del medio gaseoso transcurre de la siguiente forma:⁽²⁾

El arco de soldadura se produce tocando la pieza a soldar con el electrodo y, a continuación, retirándole de dicha pieza una distancia de 2 mm a 5 mm (figura 1).

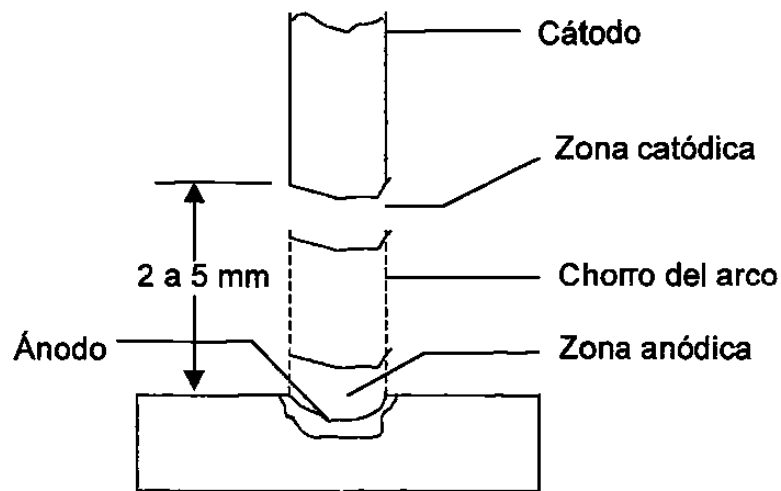


Figura 1. Esquema del arco de soldadura

A consecuencia de la alta resistencia eléctrica en el espacio entre la pieza que se suelda y el electrodo, y de la corriente entre ambos, se desprende una gran cantidad de calor. Bajo el efecto de la influencia de factores como, el calor (emisión termoiónica), la energía de radiación luminosa (emisión fotoeléctrica), el campo eléctrico que surge al unir el electrodo con la fuente de corriente eléctrica (autoemisión), y la atracción de los iones con carga positiva del metal a soldar, se produce la precipitación de los electrones desde el electrodo hacia el metal que se suelda. En el medio gaseoso entre el electrodo y el metal a soldar, estos electrones, al incidir sobre los átomos y moléculas del aire y vapores metálicos, expulsan de ellos electrones, creando iones y electrones libres.⁽²⁾

A consecuencia de las colisiones, la energía cinética de los electrones y iones se transforma parcialmente en energía térmica que mantiene una alta temperatura, del orden de 5000°C a 8000°C en el electrodo y en la pieza que se suelda.⁽¹⁾

Dada la emisión de radiación ionizante en arco de soldadura y debido a su amplio uso y aplicación, surge la necesidad de monitorear los niveles de radiación ionizante con el fin de consolidar un diseño metrológico de evaluación de las dosis de radiación emitida, ya que este tipo de radiación puede ser nocivo para la salud si rebasa la normatividad que se considere normal o prudente en estos casos.

Hasta la fecha se cuenta con muy escasa o nula información sobre estos temas, debido principalmente a la creencia sin fundamentos y/o pruebas de su riesgo para la salud, y a su vez, a la dificultad de realizar monitoreos rentables.

CAPÍTULO II

RAYOS-X

Los rayos-X son radiaciones electromagnéticas cuya longitud de onda va desde $1 \times 10^{-11}\text{m}$ hasta $5 \times 10^{-9}\text{m}$. Una forma de producirlos se describe a continuación: se emiten electrones termoiónicos por un cátodo y son acelerados a altas velocidades a través de una diferencia de potencial y después frenados al chocar contra un blanco metálico (ánodo)(figura 2). Cuando los electrones inciden sobre los átomos del metal muchos de los electrones de bombardeo “arrancan” electrones de las capas interiores del átomo y dejan agujeros en estos niveles internos. A medida que los electrones de los niveles exteriores caen en estos agujeros emiten fotones, o sea rayos-X .

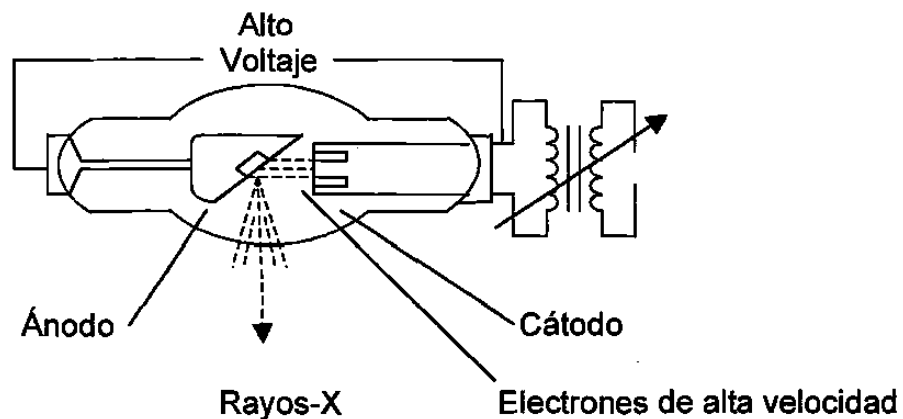


Figura 2. Tubo de rayos-X

El electrón incidente es desacelerado a medida que interacciona con la materia para crear fotones.^(3,4)

La radiación producida por la aceleración de frenado de una partícula cargada es llamada Bremsstrahlung (palabra alemana que significa “radiación por frenamiento” o “radiación de frenado”). Hay diferencia en la forma como abordan el problema de la Bremsstrahlung tanto la teoría electromagnética como la mecánica cuántica: la teoría electromagnética predice una radiación continua a causa de las colisiones o captura mientras el electrón es desacelerado. Por otro lado la mecánica cuántica predice la creación de un solo fotón con energía diferente para cada colisión o captura (figura. 3).⁽³⁾

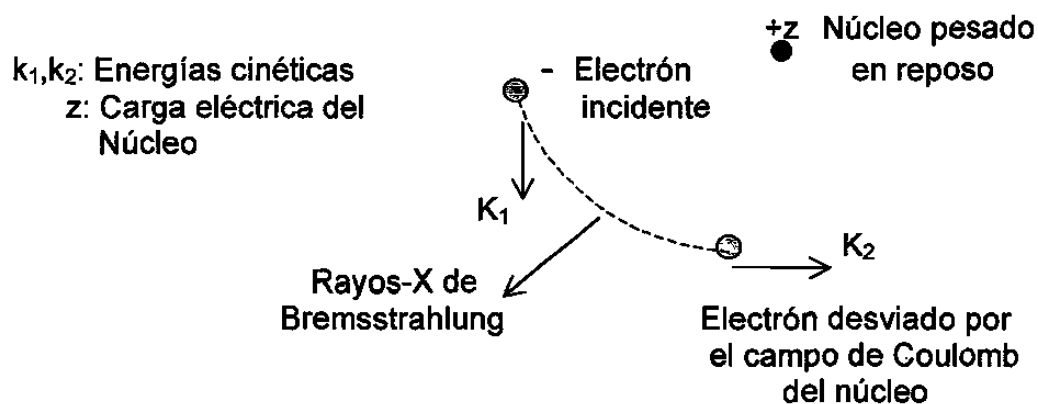


Figura 3. Radiación del tipo Bremsstrahlung producida por la desaceleración de un electrón

Otros efectos producidos en la interacción de la radiación con la materia son: El efecto Compton, el efecto Fotoeléctrico y la Producción de Pares.

En el efecto Compton el fotón colisiona con un electrón como si fuera un choque elástico entre dos esferas. El electrón secundario adquiere sólo parte de la energía del fotón, y el resto se la cede a otro fotón de menor energía (figura 4). Los electrones desplazados se conocen como electrones Compton, y tanto ellos como el fotón residual tienen capacidad para desplazar a nuevos electrones, produciendo más fotones.^(3,4)

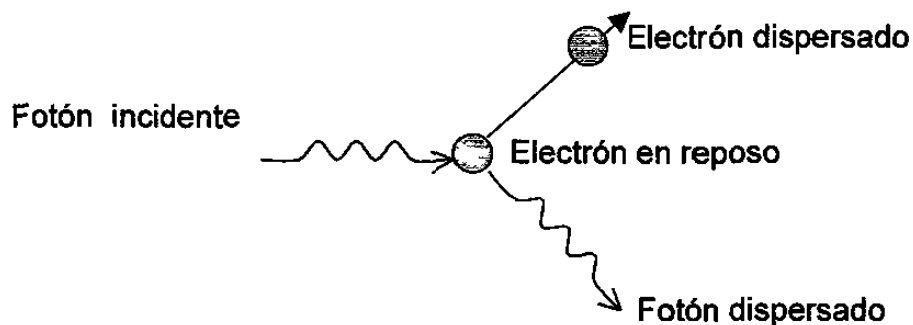


Figura 4. Dispersión Compton de un fotón por un electrón en reposo

En el efecto fotoeléctrico un fotón se encuentra con un electrón del material y le transfiere toda su energía, desapareciendo el fotón original. El electrón resultante, llamado fotoelectrón, adquiere toda la energía del fotón la cual es suficiente para desligarlo de su átomo y convertirlo en proyectil. Se frena éste por ionización y excitación del material (figura. 5).^(3,4)

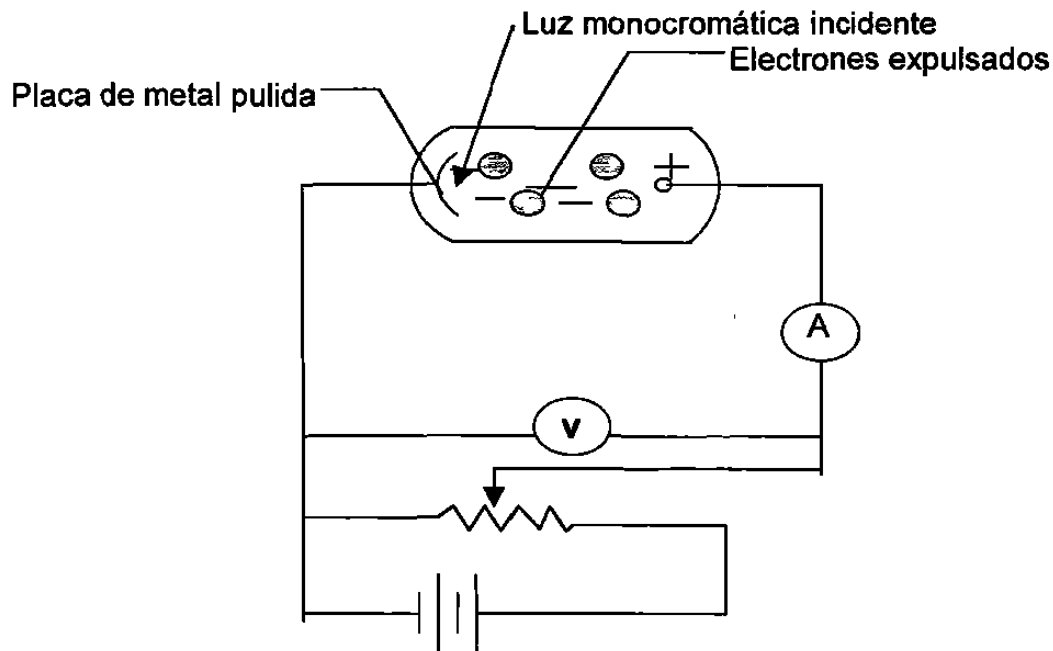


Figura 5. Efecto fotoeléctrico

Otro efecto relacionado con este tema es la Producción de Pares, la cual ocurre cuando un fotón energético se acerca al campo eléctrico de un núcleo. En este caso el fotón se transforma en un par electrón-positrón (figura 6). Como la suma de las masas del par es 1.02 Mev, esto no puede suceder si la energía del fotón es menor que esta cantidad. Si la energía del fotón original es mayor que 1.02 Mev, el excedente se lo reparten el electrón y el positrón como energía cinética, pudiendo ionizar al material. El positrón al final de su trayecto se aniquila con algún electrón

produciéndose dos fotones de aniquilación, de 0.51 Mev cada uno.

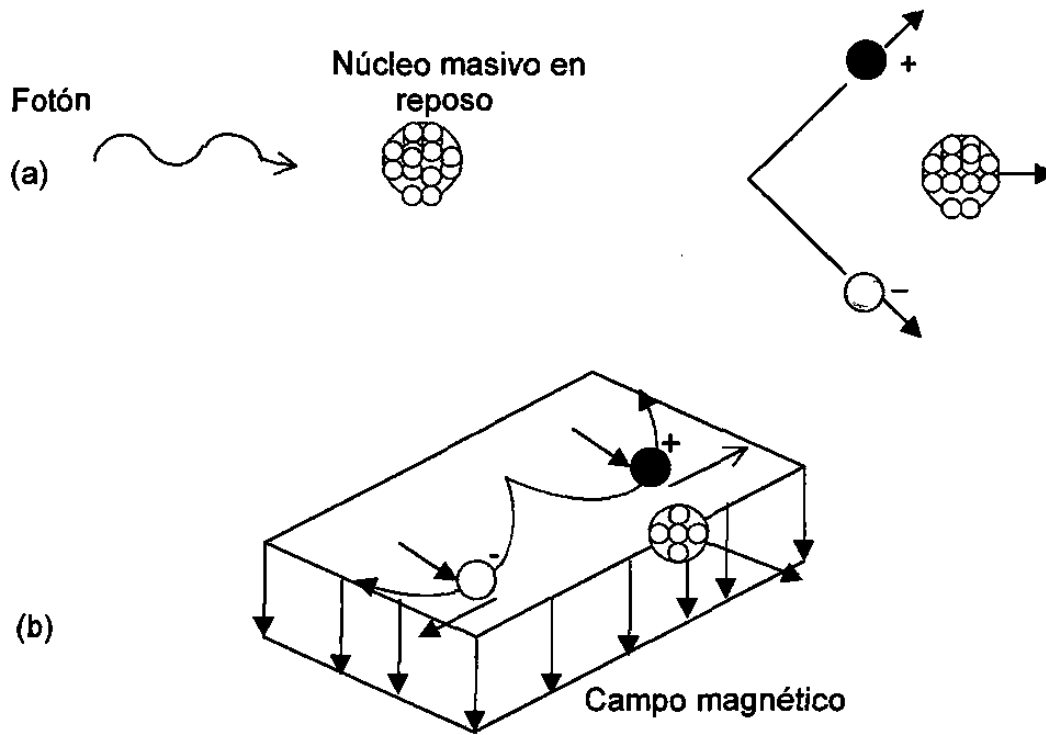


Figura 6. (a) La producción de pares ocurre en la vecindad de un núcleo pesado, el momento y la energía se conservan. (b) En un campo magnético, el electrón y el positrón tienen trayectorias de curvatura opuesta.

Cada uno de los efectos predomina a diferentes energías de los fotones. A bajas energías (del orden de los rayos-X) predomina el fotoeléctrico; a energías medianas (alrededor de 1 Mev), el Compton; y a mayores energías, la Producción de Pares.^(3,4)

CAPÍTULO III

DETECCIÓN DE LA RADIACIÓN

Todos los usos de la radiación están basados en cualquiera de las dos siguientes propiedades: penetración de la materia y depósito de energía. Las radiografías, por ejemplo, son posibles gracias a que los rayos-X penetran de manera distinta los diferentes materiales. Por otro lado, en la radioterapia se busca depositar energía en los tejidos malignos para eliminarlos. Lo que le sucede a la radiación al pasar por la materia es, por tanto, de primordial interés en varios campos. Uno es el ya mencionado de la medicina, otro el de la protección radiológica, y el de diversas aplicaciones científicas e industriales. Además, puesto que la radiación ionizante en general no es perceptible por los sentidos, es necesario valerse de instrumentos apropiados para detectar su presencia. Asimismo, interesan su intensidad, su energía, o cualquier otra propiedad que ayude a evaluar sus efectos. Se han desarrollado muchos tipos de detectores de radiación, algunos de los cuales se describirán aquí. Cada tipo de detector es sensible a cierto tipo de radiación y a cierto intervalo de energía. Así pues, es de primordial importancia seleccionar el detector adecuado a la radiación que se desea medir. El no hacerlo puede conducir a errores graves.

El diseño de los detectores está basado en el conocimiento de la interacción de las radiaciones con la materia. Como se sabe, las radiaciones depositan energía en los materiales, principalmente a través de la ionización y excitación de sus átomos. Además, puede haber emisión de luz, cambio de temperatura, o efectos químicos, todo lo cual puede ser indicador de la presencia de radiación.

Entre los instrumentos de medición y detección de radiación ionizante mas comunes están los siguientes: el contador Geiger-Muller, la cámara de ionización, el contador proporcional, los detectores de centelleo y los dosímetros termoluminiscentes, los cuales se describirán a continuación en forma sintética:

A) Detectores gaseosos: El contador Geiger-Muller, la cámara de ionización y el contador proporcional, basan su funcionamiento en la recolección de iones del gas producidos por el paso de la radiación o una partícula cargada y de la señal eléctrica así generada en un circuito externo. Estos detectores constan de un gas encerrado en un recipiente de paredes tan delgadas como sea posible para no interferir con la radiación que llega. Los iones positivos y negativos producidos por la radiación dentro del gas, se recogen directamente en un par de electrodos a los que se aplica un alto voltaje. La corriente eléctrica así inducida, en general tiene forma de pulsos de corta duración;

estos pulsos son contados directamente, o activan un medidor de corriente (figura 7). Esta medida de ionización puede transformarse directamente a unidades de exposición (Roentgens).

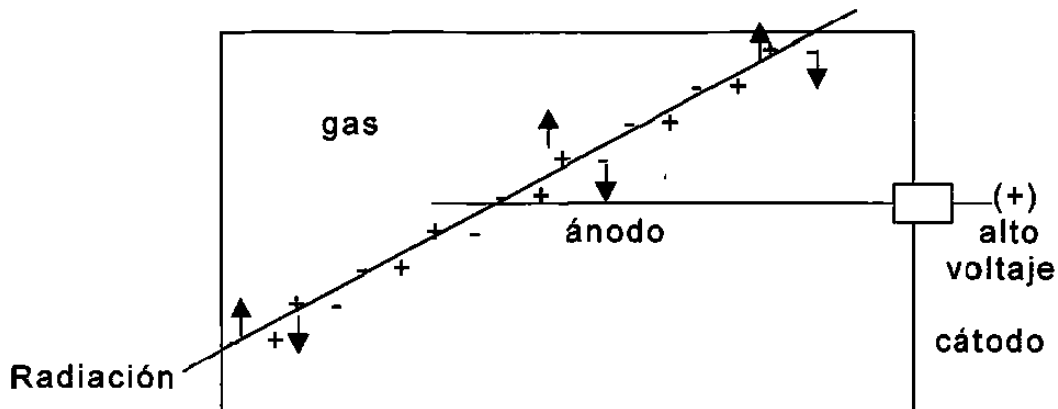


Figura 7. Funcionamiento de un detector gaseoso. Los iones y electrones producidos en el gas por la radiación son colectados en el ánodo y el cátodo

Debido a la baja densidad de un gas (comparado con un sólido), los detectores gaseosos tienen baja eficiencia para detectar rayos-X o gamma, pero detectan prácticamente todas las partículas alfa o beta que logran traspasar las paredes del recipiente. En un detector gaseoso se utiliza normalmente una mezcla de gas inerte (argón) con un gas orgánico; el primero ayuda a impedir la degradación y el segundo cede fácilmente electrones para recuperar las condiciones iniciales después de una descarga.

La geometría más utilizada en contadores gaseosos es la de un cilindro metálico con un alambre central. Se aplica un alto voltaje positivo al alambre, convirtiéndose éste en ánodo y el cilindro en cátodo. Entonces los electrones se dirigen al alambre y los iones

positivos al cilindro. La velocidad de los electrones es mayor que la de los iones (figura 8).

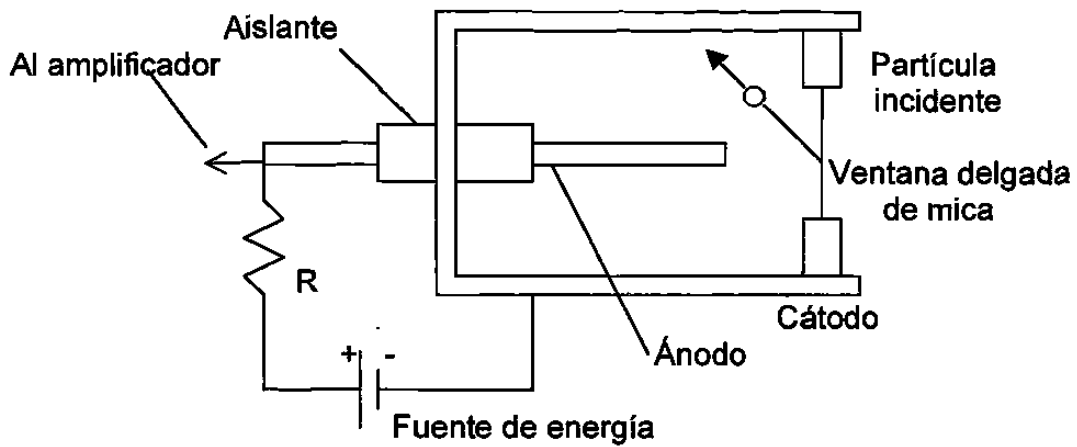


Figura 8. Detector gaseoso típico

Cuando una radiación produce un cierto número de pares de iones, éstos se dirigen a los electrodos correspondientes debido a la aplicación de un alto voltaje. Sin el alto voltaje apropiado, el detector no funciona o puede dar lecturas erróneas. En su trayecto hacia los electrodos, los iones y electrones son acelerados por el campo eléctrico, y pueden a su vez producir nuevas ionizaciones, o bien pueden recombinarse (neutralizarse). La magnitud de estos efectos depende del tipo de gas, del voltaje aplicado y del tamaño del detector. Los diferentes detectores gaseosos se distinguen por su operación en diferentes regiones de voltaje. La figura 9 muestra estas regiones para un detector típico; se gráfica el número de iones colectados en los electrodos contra el voltaje aplicado para partículas alfa y beta respectivamente.

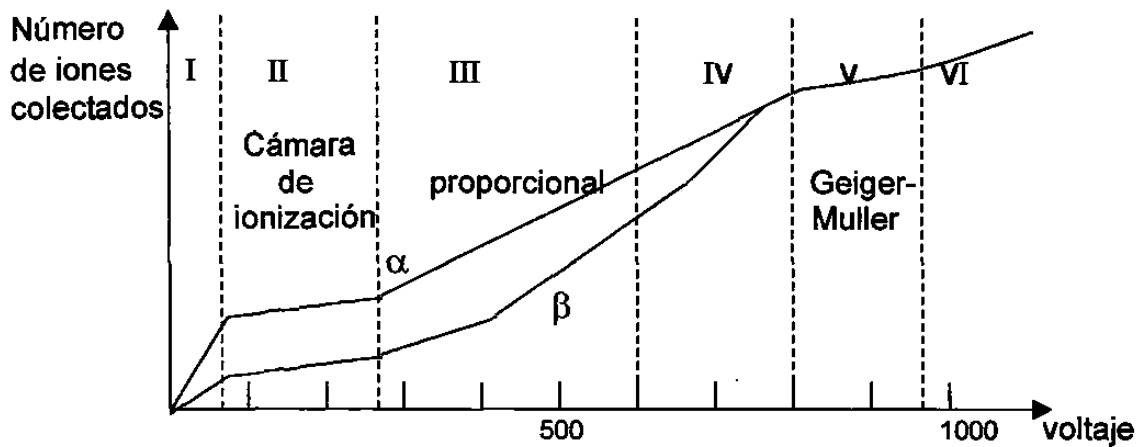


Figura 9. Regiones de operación de un detector gaseoso

En la región I el voltaje es tan bajo que la velocidad que adquieren los iones y electrones es pequeña, dando lugar a una alta probabilidad de que se recombinen. Por el peligro de perder información, esta región normalmente no se utiliza.

En la región de voltaje II, el número de iones colectados no cambia si se aumenta el voltaje. Se recogen en los electrodos esencialmente todos los iones primarios; es decir, no hay ni recombinación ni ionización secundaria. Por esta razón, el tamaño del pulso depende de la ionización primaria y, por lo tanto, de la energía depositada por cada radiación. Se llama región de cámara de ionización y se usa para medir la energía de la radiación, además de indicar su presencia. En general, la corriente generada en esta cámara es tan pequeña que se requiere de un circuito electrónico

amplificador muy sensible para medirla.

En la región III, llamada proporcional, la carga colectada aumenta al incrementarse el voltaje. Esto se debe a que los iones iniciales (primarios) se aceleran dentro del campo eléctrico pudiendo, a su vez, crear nuevos pares de iones. Si aumenta el voltaje, la producción cada vez mayor de ionización secundaria da lugar a un efecto de multiplicación. Los pulsos producidos son mayores que en la región anterior, pero se conserva la dependencia en la energía de las radiaciones. Aumentando aún más el voltaje, se llega a la región IV, llamada de proporcionalidad limitada, que por su inestabilidad es poco útil en la práctica. Si sigue aumentándose el voltaje, se llega a la región V, llamada Geiger-Muller. En esta región la ionización secundaria y la multiplicación son tan intensas que se logra una verdadera avalancha de cargas en cada pulso. Los pulsos son grandes por la gran cantidad de iones colectados, pero se pierde la dependencia en la ionización primaria. Los detectores Geiger-Muller que operan en esta región son indicadores de la presencia de radiación, pero no pueden medir su energía. Son los más utilizados porque son fáciles de operar, soportan trabajo pesado, son de construcción sencilla y se pueden incorporar a un monitor portátil. Generalmente operan con un voltaje de alrededor de 700 a 800 volts, pero este puede variar según el diseño de cada detector.

Si se incrementa el voltaje aún más, se obtiene una descarga continua (región VI), no útil para conteo.

El pulso eléctrico producido en un detector Geiger-Muller tiene una forma característica que se muestra en la figura 10, que es una gráfica del voltaje en el ánodo contra el tiempo.

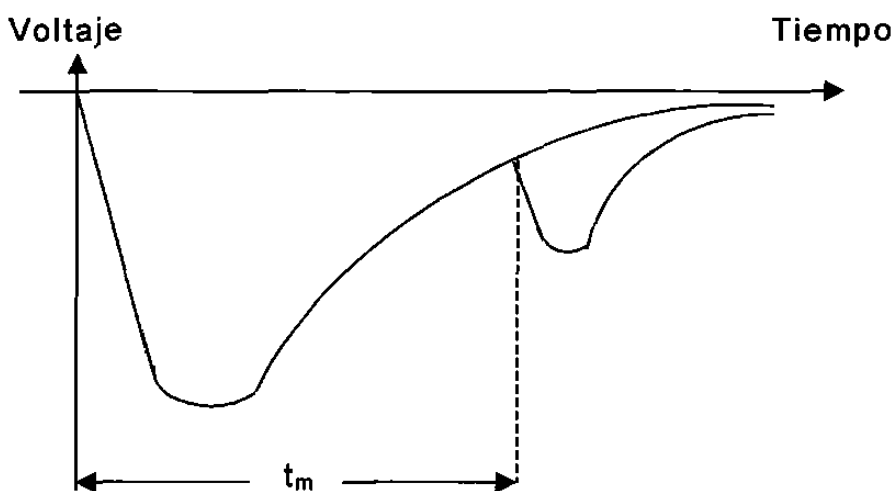


Figura 10. Forma característica de los pulsos eléctricos provenientes de un detector gaseoso

Lo primero que sucede es que los electrones producidos en la ionización llegan rápidamente al ánodo (+), provocando una caída brusca de su voltaje en una fracción de microsegundo. Los iones positivos se mueven más lentamente, tardando cientos de microsegundos en llegar al cátodo para restablecer las condiciones iniciales. Durante este tiempo, llamado tiempo muerto del detector, éste no puede producir nuevos pulsos.

El tiempo muerto del detector (t_m) depende de su diseño, del voltaje aplicado, del circuito externo y del gas utilizado. En general es una cantidad dada y el usuario no tiene acceso a cambiar su valor. Sin embargo, cuando la rapidez de conteo con el detector es grande, pueden suceder muchos pulsos cercanos uno al otro. Entonces existe la posibilidad de que llegue una radiación antes de que el detector se restablezca de la anterior, o sea dentro del tiempo muerto, en cuyo caso la nueva radiación no se registra, entonces la lectura será errónea.

Si la rapidez (razón) de conteo es muy alta, por ejemplo si uno acerca demasiado el detector a la fuente radiactiva, existe la posibilidad de que deje de contar. Esto se debe a que las radiaciones muy seguidas unas de otras llegan al detector antes de que éste se pueda restablecer. Se dice entonces que el detector está saturado. Esta es una condición peligrosa porque el detector puede no contar nada a pesar de estar dentro de un campo de radiación muy intenso.

B) Detectores de centelleo

En los detectores de centelleo se aprovecha el hecho de que la radiación produce pequeños destellos luminosos en ciertos sólidos. Esta luz se recoge y transforma en un pulso eléctrico.

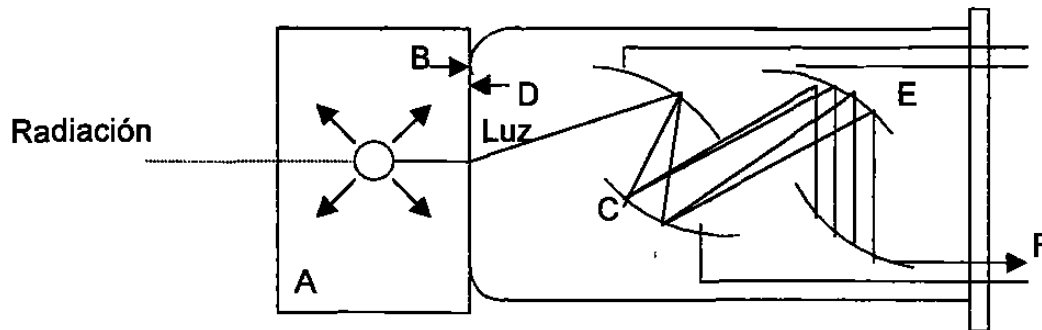
Los detectores de centelleo tienen algunas ventajas sobre los de gas. En primer lugar, un sólido, por su mayor densidad, es más eficiente en detener la radiación que un gas. Por lo tanto la eficiencia de un detector de centelleo es muy superior a la de uno de gas, especialmente para rayos gamma. En segundo lugar, el proceso de luminiscencia, o sea la absorción de radiación y la posterior emisión de luz, es muy rápido, disminuyendo el tiempo muerto.

El material que produce el destello se llama cristal de centelleo. Se selecciona para que tenga una alta eficiencia en absorber radiación ionizante y emitir luz (luminiscencia). Debe ser transparente para poder transmitir la luz producida, y debe estar a oscuras para que la luz ambiental no le afecte.

El material más empleado como cristal de centelleo es el yoduro de sodio activado con talio, NaI(Tl) . Es de costo muy bajo y es muy estable. Otro muy común es el yoduro de cesio activado con talio, CsI(Tl) , y hay otros materiales inorgánicos de usos especiales. Por otro lado, especialmente para detectar neutrones, suelen emplearse materiales orgánicos como plásticos. De éstos los más importantes son el antraceno y el estilbeno. Para ciertas aplicaciones son útiles también los líquidos orgánicos.

Con objeto de transformar la pequeña cantidad de luz producida por un cristal de centelleo en una señal eléctrica que se puede manejar con más comodidad, se pone en

contacto con un dispositivo llamado fotomultiplicador, esquematizado en la figura 11.



- A Cristal de centelleo
- B Contacto óptico
- C Tubo fotomultiplicador
- D Fotocátodo
- E Dinodos
- F Señal de salida

Figura 11. Detector de centelleo y fotomultiplicador

El tubo fotomultiplicador es un recipiente de vidrio sellado y al alto vacío. La cara que está en contacto con el cristal de centelleo va cubierta en su interior por un material que emite electrones al recibir luz (fotocátodo) y opera como una celda fotoeléctrica. Estos electrones son acelerados y multiplicados en campos eléctricos secuenciales entre electrodos llamados dinodos, lográndose multiplicaciones de un millón de veces. En el último de ellos la señal eléctrica es suficientemente grande para poder ser manejada con amplificadores y analizadores de pulsos convencionales.

C) Dosímetros termoluminiscentes.

Son sustancias, como el fluoruro de litio (LiF) o el fluoruro de calcio (CaF_2), que al recibir radiación, muchos de los electrones excitados quedan atrapados en niveles de vida media grande generalmente, debido a defectos en la red cristalina. Cuando posteriormente son calentados estos cristales, los electrones atrapados vuelven a caer a sus estados originales, emitiendo luz en el proceso (de allí el nombre de termoluminiscentes). La cantidad de luz emitida es *proporcional* a la dosis acumulada desde la última vez que se calentó (figura 12).

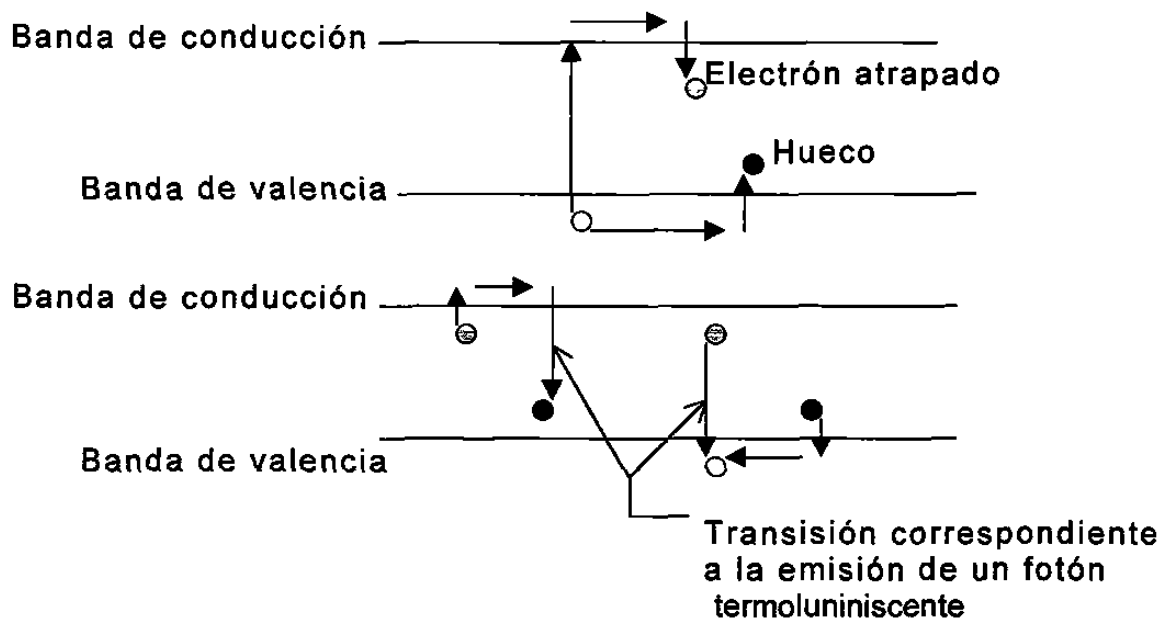


Figura 12. El diagrama superior representa la formación de un par electrón-hueco al incidir la radiación. El diagrama inferior representa dos modos posibles de recombinación al aumentar la temperatura, produciéndose la emisión de un fotón termoluminiscente

La respuesta a la radiación del cristal termoluminiscente está en relación directa con la energía incidente. La señal que transmite el cristal se transforma electrónicamente y se recoge por medio de un tubo fotomultiplicador, y se transforma a través de un convertidor analógico digital en valores numéricos.

Estos dosímetros son de costo moderado, precisos, resistentes y pueden ser utilizados varias veces.

Los dosímetros termoluminiscentes, como los otros detectores, tienen limitaciones en cuanto al tipo de radiación y la energía a que son sensibles. Su sensibilidad es función de los mismos parámetros para los detectores en general, y deben ser calibrados junto con los sistemas que dan las lecturas.^(5,6,7,9)

CAPÍTULO IV

DOSIMETRÍA DE LA RADIACIÓN

La acción de la radiación ionizante en un organismo vivo resulta fundamentalmente dañina debido en primera instancia a la energía que células y tejidos absorben de esta. Dicha energía, absorbida principalmente a través de los mecanismos de ionización y excitación atómica, produce descomposición química de las moléculas presentes.

Para poder medir y comparar las energías absorbidas por el tejido en diferentes condiciones ha sido necesario definir los siguientes conceptos, así como las unidades correspondientes *de: exposición, de dosis absorbida y dosis equivalente.*

Estas definiciones y unidades han ido evolucionando a medida que se ha tenido mayor conocimiento de la radiación.

La Comisión Internacional de Unidades de Radiación (CIUR)⁽¹⁰⁾ se ha abocado a la tarea de definir un sistema de unidades aceptado internacionalmente, y de empleo rutinario en la Comisión Internacional de Protección Radiológica (CIPR).⁽¹⁰⁾ Estas unidades en el sistema internacional (S.I) incluyen el Becquerel, el Gray y el Sievert. Vienen a substituir al Curie (Ci), al rad y rem, que eran las unidades

tradicionales. En primer lugar, se definirán las unidades del S.I. para cada uno de los conceptos, y después las originales(anteriores). La transición de un sistema de unidades a otro ha sido lenta, por lo que es frecuente encontrar las unidades originales en textos, en los medidores de radiación, y en el uso cotidiano.

Exposición

La exposición es una medida de la ionización producida por una radiación; su unidad es el Roentgen. Un Roentgen (R) es la exposición (X o gamma) recibida por un kilogramo de aire en condiciones estándar de presión y temperatura (CSPT) si se produce un número de pares de iones equivalente a 2.58×10^{-4} Coulombs. Como la carga de un ion es 1.602×10^{-19} Coulombs, esto equivale a que se produzcan 1.61×10^{15} pares de iones/kilogramo de aire. En resumen,

$$1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ Coulombs/kg. de aire en CSPT,}^{(6,7.)}$$

Esta definición es totalmente equivalente a la original, en la que se tomaba 0.001293 gramos (1cm^3) de aire en vez de un kilogramo, y una unidad electrostática de carga en vez de un Coulomb.

Del número de iones producidos en aire por un Roentgen se puede calcular la energía absorbida, si se recuerda que la

energía necesaria para cada ionización del aire es de 34 eV, equivalente a 5.4×10^{-18} joules (J).

Así,

$$1R = 0.00869 \text{ J/kg. de aire.}$$

Como en tejido la energía de ionización es diferente que en aire,

$$1 R = 0.0096 \text{ J/kg. de tejido}^{(6,7)}$$

Dosis Absorbida

En vista de que el Roentgen es una medida de la energía que se deposita en diferentes cantidades según el material que recibe la exposición, resulta más cómodo definir un nuevo concepto, la dosis absorbida (D), como la energía depositada por unidad de masa, independientemente de qué material se trate.

En el S.I. la unidad de dosis absorbida es Gray (Gy), definido como sigue:

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}^{(6,7)}$$

La unidad original de dosis absorbida era el rad, definido como:

$$1 \text{ rad} = 0.01 \text{ J/kg}^{(6,7)}$$

Como se puede ver: $1 \text{ Rad} = 0.01 \text{ Gray} = 1 \text{ centi Gray}$. Nótese también que un Roentgen equivale en tejido a una

dosis de 0.96 rad, casi un rad, por lo que con frecuencia estas dos unidades se confunden.

Dosis equivalente

Aunque todas las radiaciones ionizantes son capaces de producir efectos biológicos similares, una cierta dosis absorbida puede producir efectos de magnitudes distintas, según el tipo de radiación de que se trate. Esta diferencia de comportamiento ha llevado a definir una cantidad llamada factor de calidad (Q) para cada tipo de radiación.

Se seleccionó arbitrariamente $Q = 1$ para rayos-X y gamma, y para las otras radiaciones los valores dados en el cuadro 1.

tipo de radiación	Q
Rayos-X, γ	1
Electrones	1
Neutrones térmicos	2.3
Neutrones rápidos	10
Protones	10
Partículas alfa	20

Cuadro 1. Factores de calidad

El factor de calidad es una medida de los efectos biológicos producidos por las distintas radiaciones, comparados con los producidos por los rayos-X y gamma, para una dosis absorbida dada. Así, por ejemplo, un Gray de

partículas alfa produce efectos biológicos 20 veces más severos que un Gray de rayos-X (según los valores del cuadro 1). El factor de calidad Q depende de la densidad de ionización de las diferentes radiaciones.

La dosis equivalente es un nuevo concepto que se definió tomando en cuenta el factor de calidad. Es igual a la dosis absorbida multiplicada por el factor de calidad. La unidad de dosis equivalente en el S.I. es el Sievert (Sv), definido como:^(6,7)

$$1 \text{ Sv} = 1\text{Gy} \times Q$$

La unidad original era el rem, con $1 \text{ rem} = 1 \text{ rad} \times Q$.
Nótese que $1 \text{ rem} = 0.01 \text{ Sv}$

CAPÍTULO V

EFFECTOS BIOLÓGICOS DE LAS RADIACIONES

Como muchos otros agentes físicos, químicos o biológicos, las radiaciones ionizantes son capaces de producir daños orgánicos. Esto es en virtud de que la radiación interacciona con los átomos de la materia viva, provocando en ellos principalmente el fenómeno de ionización. Esto da lugar a cambios importantes en células tejidos, órganos, y en el individuo en su totalidad. El tipo y la magnitud del daño dependen del tipo de radiación, de su energía, de la dosis absorbida (energía depositada), de la zona afectada, y del tiempo de exposición.

Así como en cualquier otro tipo de lesión, este daño orgánico en ciertos casos puede recuperarse. Esto dependerá de la severidad del caso, de la parte afectada, y del poder de recuperación del individuo, donde la edad y su estado general de salud serán factores importantes.

Para los agentes farmacológicos en general es válida la regla de que, para obtener un efecto biológico dado, se requiere dar una determinada dosis mayor que la dosis umbral. La dosis umbral es aquella que marca el límite abajo del cual no hay efecto.⁽⁸⁾ Algunas sustancias no tienen una respuesta de este tipo, es decir no tienen umbral, por lo tanto no hay una dosis mínima para producir un efecto.

El lapso entre la absorción de la radiación y la manifestación de sus efectos se conoce como *período latente*. Con base en esto se pueden clasificar los daños biológicos como agudos (a corto plazo), que aparecen en unos minutos, días o semanas, y diferidos (largo plazo), que aparecen después de años, décadas y a veces en generaciones posteriores.

El daño biológico tendrá diferentes manifestaciones en función de la dosis. A bajas dosis (menos de 100 mSv o 10 rem) no se observa ninguna respuesta clínica. Al aumentar a dosis mayores el organismo va presentando diferentes manifestaciones hasta llegar a la muerte. La dosis letal media, aquella a la cual 50% de los individuos irradiados mueren, es de 4 Sv (400 rem).⁽¹⁰⁾ Ordinariamente, cuando se hace referencia a dosis equivalentes se quiere indicar una dosis promedio al cuerpo total. Esto es importante ya que en ocasiones pueden aplicarse grandes dosis de radiación a áreas limitadas (como en radioterapia) con un daño local. Si estas mismas dosis se aplican a todo el cuerpo, pueden ser letales.

Cuando la radiación ionizante incide sobre un organismo vivo, la interacción a nivel celular se puede llevar a cabo en las membranas, el citoplasma, y el núcleo.

Si la interacción sucede en alguna de las membranas se producen alteraciones de permeabilidad, lo que hace que puedan intercambiar fluidos en cantidades mayores que las normales. En ambos casos la célula no muere, pero sus funciones de multiplicación no se llevan a cabo. Cuando el daño es generalizado la célula puede morir.

Cuando la interacción ocurre en el citoplasma, cuya principal sustancia es el agua, al ionizarse ésta se forman radicales químicamente inestables. Algunos de estos radicales tenderán a unirse para formar moléculas de agua y moléculas de hidrógeno (H), las cuales no son nocivas para el citoplasma. Otros se combinan para formar peróxido de hidrógeno (H_2O_2), el cual sí produce alteraciones en el funcionamiento de las células. La situación más crítica se presenta cuando se forma el hidronio (HO), el cual produce envenenamiento.⁽¹⁰⁾

Cuando la radiación ionizante llega hasta el núcleo de la célula, puede producir alteraciones de los genes e inclusive rompimiento de los cromosomas, provocando que cuando la célula se divida lo haga con características diferentes a la célula original. Esto se conoce como daño genético de la radiación ionizante, que si se lleva a cabo en una célula germinal (espermatozoide u óvulo) podrá manifestarse en futuras generaciones.

Por lo tanto, la radiación ionizante puede producir en las células: aumento o disminución de volumen, muerte, un estado latente, y mutaciones genéticas.

Por otro lado, estas propiedades destructivas de la radiación se pueden transformar en un beneficio. La radioterapia busca eliminar tejidos malignos en el cuerpo aplicándoles altas dosis de radiación. Siendo inevitable afectar otros órganos sanos cercanos, por lo que, en un buen tratamiento de radioterapia, se trata de que sea mínima la exposición de otras partes del cuerpo.

Recientemente la CIPR ha introducido un nuevo concepto en la clasificación de los efectos, basado en la probabilidad de ocurrencia: *los efectos estocásticos y los no estocásticos*.

Los efectos estocásticos son aquéllos cuya probabilidad de ocurrencia se incrementa con la dosis recibida, así como con el tiempo de exposición. No tienen una dosis umbral para manifestarse. Pueden ocurrir o no; no hay un estado intermedio. La inducción de un cáncer en particular es un efecto estocástico. Su probabilidad de ocurrir depende de la dosis recibida; sin embargo, no se puede asegurar que el cáncer se presente, menos aún determinar una dosis. La protección radiológica trata de limitar en lo posible los efectos estocásticos, manteniendo la dosis lo mas baja posible.

En los efectos no estocásticos la severidad aumenta con la dosis, y se produce a partir de una dosis umbral. Para estos casos la protección consiste en prevenir los efectos,

no excediendo los umbrales definidos en cada caso. Las quemaduras caen en esta categoría.

El síndrome de radiación aguda es el conjunto de síntomas por la exposición del cuerpo, ya sea total o de grandes proporciones.

Los efectos agudos pueden ser generales o locales. Los generales presentan la sintomatología que se resume en cuadro 3.

Unidades rem	tiempo transcurrido, posradiación, signos y síntomas
0 a 25	ningún efecto detectable, con poca probabilidad de que aparezcan efectos diferidos
50	Cambios pasajeros en la sangre, con posibles efectos diferidos.
100	Cambios marcados en la sangre y aparición de náuseas, fatiga y posibles vómitos.
200	24 horas después de la irradiación, aparición de náuseas y vómito. Periodo latente de una semana. Caída del cabello, pérdida de apetito, debilidad general y otros síntomas, como diarrea e irritación de la garganta al cabo del periodo latente.
400	Al cabo de una a dos horas, náuseas y vómito. Periodo latente de una semana. Luego, caída del cabello, pérdida de apetito y debilidad general con fiebre Inflamación de boca y garganta en la tercera semana. A la cuarta semana, palidez, diarrea, hemorragia nasal y rápida extenuación. Muerte de 50% de los individuos irradiados.
600	Náuseas y vómito al cabo de una a dos horas. Corto periodo latente. Diarrea, vómito, inflamación de boca y garganta en la primera semana. Fiebre, rápida extenuación y fallecimiento en 100% de los casos durante la segunda semana.

Cuadro 3. Síntomas de irradiación aguda en todo el cuerpo⁽⁸⁾

Los efectos locales pueden ser eritema o necrosis de la piel, caída del cabello, necrosis de tejidos internos, la esterilidad temporal o permanente, la reproducción anormal de tejidos como el epitelio del tracto gastrointestinal, el funcionamiento anormal de los órganos hematopoyéticos (médula ósea y bazo), o alteraciones funcionales del sistema nervioso y de otros sistemas.^(8,10)

Los efectos diferidos pueden ser la consecuencia de una sola exposición por largo tiempo. Entre éstos han de considerarse: las cicatrices atróficas locales o procesos distróficos de órganos y tejidos fuertemente irradiados, las cataratas del cristalino, el cáncer de los huesos debido a la irradiación del tejido óseo, el cáncer pulmonar, las anemias plásticas ocasionadas por radiolesiones de la médula ósea, y la leucemia.⁽⁸⁾

La dosis permisible se determina por las normas siguientes:⁽⁸⁾

- a) La dosis permisible máxima que pueden recibir los órganos críticos es de 3 rem en 13 semanas consecutivas o 5 rem por año.
- b) La dosis local en la piel, aparte de la zona relacionada con los órganos críticos, puede llegar a 8 rem en 13 semanas consecutivas o 30 rem por año; la dosis en

manos, antebrazos, pies y tobillos puede llegar al doble.

- c) La dosis máxima permisible para los órganos internos, excluidos los hematopoyéticos, es de 4 rem en 13 semanas consecutivas o 15 rem por año.

La dosis recibida debe también satisfacer la norma de que la dosis acumulada (D) no sea, en ningún caso, mayor que $5(N-18)$ rem, donde N representa la edad de la persona e indica que una persona menor de 18 años no debe trabajar con radiaciones ionizantes de manera permanente.⁽⁸⁾

CAPÍTULO VI

SEGURIDAD RADIOLÓGICA

La Comisión Internacional De Protección Radiológica (CIPR) es un organismo establecido para recomendar prácticas seguras sobre el uso de radiación. En diversas ocasiones ha emitido recomendaciones, las cuales han ido variando según se ha obtenido más experiencia sobre el tema. En la actualidad se aceptan las siguientes recomendaciones de tipo general:

- A) No debe adoptarse ninguna práctica que involucre radiación a menos que produzca un beneficio neto.
- B) Las exposiciones a la radiación deben mantenerse tan bajas como sea razonablemente posible.
- C) El equivalente de dosis que reciba cualquier individuo no debe exceder los límites determinados por la CIPR para cada circunstancia.

En todo uso de la radiación conviene adoptar estas recomendaciones cuyo énfasis está en mantener las exposiciones tan bajas como sea posible, en vista de los efectos biológicos identificados como producto de la

radiación, no excediendo los umbrales definidos en cada caso.

Para el personal ocupacionalmente expuesto se ha definido el concepto de **dosis máxima permitida**, prefiriéndose en la actualidad el término **límite recomendado de dosis equivalente**, el cual se ha fijado en 50 mSv (5 rem) por año. Esta dosis, promediada sobre 50 semanas, da el valor de 1 mSv (100 mrem)/semana. Considerando 40 horas de trabajo por semana, esto equivale a 25 microSv (2.5 mrem)/hora. Se recomienda no exceder esta dosis. De hecho, es de esperarse que la dosis recibida siempre sea considerablemente menor que estos límites. Si por necesidades de trabajo se exceden estas dosis, debe procurarse no recibir más radiación en un intervalo de tiempo suficiente para que el promedio no exceda el límite de dosis equivalente. Esta precaución no es para que los efectos de la radiación de alguna manera se anulen, sino para no exceder una cierta posibilidad de que se presenten efectos estocásticos.

Si por alguna razón una persona no ocupacionalmente expuesta recibe una dosis, deberán tomarse las medidas para evitar que exceda 5 mSv (0.5rem)/año, o sea una décima parte del límite de dosis equivalente para personal ocupacionalmente expuesto.⁽¹⁰⁾

El hombre siempre ha estado expuesto a una cierta cantidad de radiación ambiental proveniente de fuentes naturales y de fuentes artificiales.

De fuentes naturales de radiación recibimos aproximadamente 1 mSv (100mrem)/año. Una fuente natural es la radiación cósmica, que nos llega de fuera del planeta. La atmósfera sirve de blindaje para la mayor parte de ella, pero de cualquier manera nos llega una dosis de aproximadamente 0.35 mSv (35mrem)/año en el ecuador a nivel del mar. ⁽¹⁰⁾ Esta dosis aumenta con la latitud debido al campo magnético de la Tierra, hasta que a latitud 50°, se reciben aproximadamente 0.5 mSv (50 rem)/año. La dosis también aumenta con la altura sobre el nivel del mar porque hay menos atmósfera para absorber la radiación. A 2000 metros sobre el nivel del mar, aumenta a 1 mSv/año, mientras que a 5000 metros llega a 3 mSv/año. En un viaje aéreo trasatlántico, se reciben aproximadamente 0.05 mSv. ⁽¹⁰⁾

Otra fuente natural de radiación son ciertos elementos radioactivos que están presentes en cualquier mineral, como el uranio, el torio y el potasio 40(⁴⁰K). De ellos recibimos en general, dependiendo de variaciones locales, entre 0.3 y 1 mSv/año. El radón es un gas radiactivo producido por el decaimiento del uranio de todos los materiales. Es responsable de aproximadamente 0.3 mSv/año, como una tercera parte de la dosis natural que recibimos. ⁽¹⁰⁾ En ciertos

lugares se puede acumular este gas, como en lugares mal ventilados o en fallas geológicas, aumentando la dosis.

Algunos ejemplos de fuentes artificiales son los reactores nucleares, las fuentes radiactivas y los aparatos para usos médicos e industriales de la radiación. Una radiografía de tórax produce 0.2 mSv, pero en una región muy localizada del cuerpo.⁽¹⁰⁾

Se entiende por radiación externa la que recibe el organismo debido a fuentes exteriores a él. La dosis recibida dependerá del tipo de radiación y de su energía (por lo tanto de su poder de penetración). En general los emisores de partículas alfa no se consideran de riesgo externo importante porque éstas no penetran sino unas micras de la piel, además de que cualquier material del grueso de un papel, o unos centímetros de aire, las absorben.⁽¹⁰⁾

Los emisores de partículas beta son más importantes por el poder de penetración mayor de las beta en tejido, unos cuantos milímetros. Los emisores de rayos-X y gamma, así como los neutrones, constituyen las fuentes de mayor riesgo externo, debido principalmente a su gran poder de penetración en el organismo, por lo tanto, pueden afectar cualquier órgano. Por otro lado, son las fuentes más comúnmente usadas en diversas aplicaciones.

Las medidas de protección contra la irradiación por fuentes externas son: *tiempo, distancia y blindaje.*⁽¹⁰⁾

El efecto del *tiempo* se debe simplemente a que la dosis se acumula con el tiempo. Si una persona recibe una razón de dosis dada, la dosis acumulada será el producto de ésta por el tiempo de exposición.

Para tomar en cuenta el efecto de la *distancia*, considérese una fuente puntual de actividad A que emite radiación uniformemente en todas direcciones, como lo indica la figura 13.

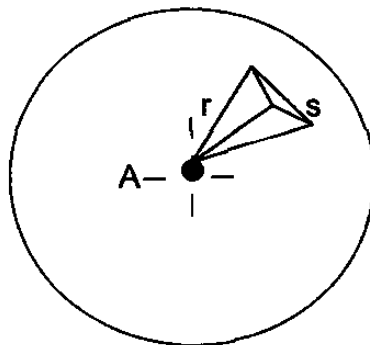


Figura 13. Fuente radiactiva que emite uniformemente en todas direcciones

Considerando por el momento que la radiación viaje en línea recta, o sea sin tomar en cuenta dispersión de Compton en el caso de rayos gamma o dispersión elástica en el caso de neutrones. La radiación actúa como si la fuente fuese un

foco luminoso. A medida que uno se aleja de él, la iluminación disminuye, obedeciendo la ley del cuadrado de la distancia.

En el caso de la radiación, la dosis que recibe una persona es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia a la fuente, obedeciendo la fórmula:

$$D_1/D_2 = (R_2)^2/(R_1)^2$$

Es posible calcular la dosis absorbida o equivalente que recibe un tejido dado a cierta distancia r de una fuente de actividad A (figura 14).

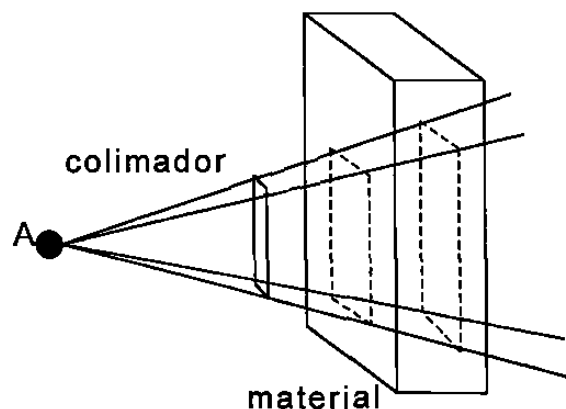


Figura 14. El material absorbe dosis en el volumen indicado

Si la radiación está colimada, el tejido absorbe energía en el volumen indicado por líneas quebradas, que contiene cierta

masa. La razón de dosis de rayos gamma recibida se calcula con la fórmula:

$$\frac{D}{t} = \frac{\Gamma A}{r^2}$$

donde D/t es la razón de dosis equivalente en rem/hr, A es la actividad en Ci(Curie) y r es la distancia (media) de la fuente al absorbedor en metros. La *constante gamma* (Γ) tiene un valor dado para cada tipo de fuente.

El *blindaje* es el tercer factor de protección contra radiación externa. Consiste en interponer entre la fuente y la persona suficiente material para atenuar la radiación. La atenuación sigue una ley exponencial:

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

en donde I_0 es la intensidad de radiación que llega al material atenuador (blindaje), $I(x)$ es la intensidad que penetra a una distancia x , μ es el coeficiente lineal de atenuación, y x es el grueso del blindaje. Se acostumbra emplear el coeficiente másico de atenuación μ/ρ , cuyas unidades son cm^2/g , dividiendo μ entre la densidad del material ρ . En el cuadro 2 se dan los coeficientes másicos de atenuación para algunos materiales comunes y para dos energías distintas de rayos gamma.

Material	μ/ρ en cm^2/g		ρ en g/cm^3
	E = 0.66 Mev	E = 1.33 Mev	
Aire	0.078	0.055	0.001293
Agua (tejido)	0.087	0.06	1
Aluminio	0.077	0.055	2.7
Plomo	0.1	0.056	11.3
Fierro	0.073	0.053	7 – 7.9
Cemento	0.078	0.055	2.7 – 3

Cuadro 2. Coeficiente másico de atenuación de rayos gamma de dos energías distintas en diferentes materiales⁽¹⁰⁾

A la fórmula de razón de dosis recibida por una fuente de actividad conocida debe agregarse el factor exponencial si se quiere tomar en cuenta el blindaje, quedando:⁽¹⁰⁾

$$\frac{D}{t} = \frac{\Gamma A}{r^2} e^{-\mu x}$$

CAPÍTULO VII

PROPUESTA DE LA TESIS

Como cualquier otra actividad, existen ciertos riesgos en el uso de las radiaciones ionizantes.

Es bien conocido que si una persona es expuesta a una dosis de radiación, ya sea accidentalmente, por motivos de trabajo, o por tratamiento médico, pueden causarse daños a la salud.

En el manejo inadecuado de la radiación ionizante se han presentado accidentes de consecuencias serias y espectaculares. Además, es del conocimiento público que las radiaciones pueden tener efectos a largo plazo, lo que ha llevado frecuentemente a temores irracionales y al rechazo de su empleo. Por otra parte, como las radiaciones no se ven ni se sienten, se han dado casos en que el usuario cae en actitudes de falsa confianza. Ambos extremos son igualmente nocivos.

Considerando lo anteriormente expuesto y dado que no existen reportes de investigación relativa a monitoreos ni evaluaciones de riesgos debido a la radiación ionizante o ultravioleta producida por el arco de soldadura, se propone en el presente trabajo, detectar y medir los niveles de radiación en este tipo de soldadura, realizando la evaluación de las dosis de radiación ionizante utilizando cristales termoluminiscentes de fluoruro de litio (LiF).

CAPÍTULO VIII

DISEÑO EXPERIMENTAL Y PROCEDIMIENTO

Considerando que el patrón de la radiación emitida en el proceso de soldadura de arco no tiene porque presentar anisotropías, o sea, direcciones "preferidas", se preparó una estructura metálica con forma de cascarón esférico de 50 cm de radio, pero abarcando solo un octante de ángulo sólido, como se muestra en la figura 15, sobre la cual serían colocados 36 dosímetros termoluminiscentes, en grupos de seis, y a ángulos azimutales de 0° , 15° , 30° , 45° , 60° y 75° .

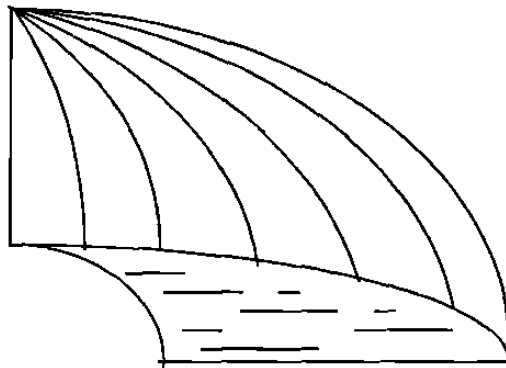


Figura 15. Estructura metálica abarcando un octante de ángulo sólido

El proceso de soldar los 100 electrodos, a los que se les mediría la radiación-X, se llevaría a cabo en el centro de dicho cascarón. La preparación de los cristales termoluminiscentes para este experimento se llevó a cabo de la siguiente forma:

- 1.- Someterlos durante 3 horas a una temperatura de 400°C en un horno marca THERMOLYNE MODELO 47900, trazado al NIST.
- 2.- Una vez enfriados hasta la temperatura ambiente, se verifica que se encuentren en su estado normal de excitación a través del lector de dosímetros, marca VICTOREEN, MODELO 2800 M, trazado al NIST.
- 3.- Se colocan los dosímetros en grupos de seis sobre la estructura.
- 4.- Se colocan los testigos, uno en el Laboratorio de Metrología de la F.C.F.M. de la U.A.N.L. y los otros tres a distancias del orden de 5 metros del centro del proceso de soldadura, en el Taller de Soldadura de la E.I.A.O. de la U.A.N.L.
- 5.- Se procede a soldar los 100 electrodos consecutivamente.
- 6.- Una vez terminado el proceso de soldar los electrodos, se retiran los dosímetros y se llevan al laboratorio a realizar las lecturas consecutivamente.

Los electrodos de tipo comercial y amplia aplicación seleccionados para este diseño experimental son del tipo 6013, con diámetro de 5/32" y recubrimiento de potasio con alto contenido de titanio, cuyas características de operatividad se presentan en el cuadro 3.

RESISTENCIA MÍNIMA A LA TENSIÓN (ALIVIO DE ESFUERZOS)	60,000 Lb/Pulg ² .
TIPO DE ENERGÍA	C.A. o C.D. POLARIDAD INVERTIDA
TIPO DE ARCO	EXCAVADORA
PENETRACIÓN	PROFUNDA
POLVO DE HIERRO EN EL RECUBRIMIENTO	0
RECUBRIMIENTO	POTASIO DE ALTO CONTENIDO DE TITANIO
POSICIÓN PARA SOLDAR	TODAS
APLICACIÓN	METALES BLANDOS
DISEÑO	BAJO CONTENIDO DE HIDRÓGENO
USO	EL MÁS COMÚN
TIEMPO PARA FUNDIR 12" DE ELECTRODO 5/32	60 SEGUNDOS
CORRIENTE DIRECTA	100 AMPERES

CUADRO 3. CARACTERÍSTICAS DEL ELECTRODO 6013 DE ACERO AL CARBONO

CAPÍTULO IX

ANÁLISIS DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

En las tablas 1,3 y 5 se muestra la totalidad de los datos obtenidos por los 36 cristales que se colocaron en grupos de 6 sobre la estructura metálica en cada ocasión que se repitió el proceso de soldar 100 electrodos continuamente, procurando cada vez que las condiciones ambientales fuesen lo más similar posible. Además, en las tablas 2,4 y 6 se presentan solo los datos no descartados para efectuar el cálculo numérico de las diferencias de dosis absorbidas por los 36 cristales y las respectivas dosis absorbidas por los testigos.

Los resultados obtenidos muestran clara y significativamente que las dosis de radiación, producto de un proceso de soldadura de arco de 100 electrodos y absorbidas por cristales termoluminiscentes, son superiores a las dosis absorbidas por los cristales testigo.

GRUPO 1 NIV=0	GRUPO 2 NIV=1	GRUPO 3 NIV=2	GRUPO 4 NIV=3	GRUPO 5 NIV=4	GRUPO 6 NIV=5	GRUPO 7 TESTIGOS
9.130	8.740	9.230	9.060	8.230	8.270	8.950
8.770	9.050	9.260	8.890	8.320	8.390	8.350
8.760	8.980	9.890	9.070	8.350	8.290	8.290
9.160	9.240	9.080	8.910	8.280	8.310	
9.600	8.980	8.860	9.410	8.310	8.280	
9.050	9.240	9.380	8.320	8.230	8.280	
Xm= 9.07833	Xm= 9.03833	Xm= 9.28333	Xm= 8.94333	Xm= 8.28667	Xm= 8.30333	Xm= 8.53000
D.std. = 0.30941	D.std. = 0.18830	D.std. = 0.34680	D.std. = 0.35775	D.std. = 0.04926	D.std. = 0.04457	D.std. = 0.36497

TABLA 1. Datos en mGy de los primeros cien electrodos sus medias (Xm) y desviaciones standard (D.std.) (28 de Enero 1998).

GRUPO 1 NIV=0	GRUPO 2 NIV=1	GRUPO 3 NIV=2	GRUPO 4 NIV=3	GRUPO 5 NIV=4	GRUPO 6 NIV=5	GRUPO 7 TESTIGOS
9.130		9.230	8.060		8.270	
8.770	9.050	9.260	8.890	8.320		8.350
	8.980		9.070		8.290	8.290
9.160		9.080	8.910	8.280	8.310	
	8.980			8.310	8.280	
9.050		9.380			8.280	
Xm= 9.028	Xm= 9.003	Xm= 9.238	Xm= 8.983	Xm= 8.303	Xm= 8.286	Xm= 8.320
Dif.= 0.708	Dif.= 0.683	Dif.= 0.918	Dif.= 0.663	Dif.= -----	Dif.= -----	

TABLA 2. Datos seleccionados, sus medias (Xm) y la diferencia (Dif.) respecto al fondo (28 Enero 1998).

GRUPO 1 NIV=0	GRUPO 2 NIV=1	GRUPO 3 NIV=2	GRUPO 4 NIV=3	GRUPO 5 NIV=4	GRUPO 6 NIV=5	GRUPO 7 TESTIGOS
9.510	11.670	11.380	10.220	9.340	10.510	9.220
8.760	9.240	8.940	9.120	10.360	10.990	9.370
11.100	10.140	9.480	9.870	9.180	9.190	9.680
9.230	10.290	9.900	9.310	9.440	10.340	
9.100	11.900	9.330	10.410	10.150	10.250	
10.210	11.500	0.270	8.980	9.490	12.560	
Xm=	Xm=	Xm=	Xm=	Xm=	Xm=	Xm=
9.65167	10.79001	9.88333	9.65167	9.66000	10.6400	9.42333
D.std.=	D.std.=	D.std.=	D.std.=	D.std.=	D.std.=	D.std.=
0.86101	1.05694	0.86586	0.59938	0.47754	1.11089	0.23459

TABLA 3. Datos en mGy de los segundos cien electodos, sus medias (Xm) y desviaciones standard (D.std.) (2 de febrero 1998)

GRUPO 1 NIV=0	GRUPO 2 NIV=1	GRUPO 3 NIV=2	GRUPO 4 NIV=3	GRUPO 5 NIV=4	GRUPO 6 NIV=5	GRUPO 7 TESTIGOS
9.510	11.670		10.220	9.340	10.510	9.220
			9.120		10.990	9.370
	10.140	9.480	9.870			
9.230	10.290	9.900	9.310	9.440	10.340	
9.100		9.330			10.250	
10.210	11.500	10.270		9.490		
Xm=	Xm=	Xm=	Xm=	Xm=	Xm=	Xm=
9.513	10.900	9.745	9.630	9.423	10.523	9.295
Dif.=	Dif.=	Dif.=	Dif.=	Dif.=	Dif.=	
0.218	1.605	0.450	0.635	0.128	1.228	

TABLA 4. Datos seleccionados, sus medias (Xm) y la diferencia (Dif.) respecto al fondo (2 de febrero 1998)

GRUPO 1 NIV=0	GRUPO 2 NIV=1	GRUPO 3 NIV=2	GRUPO 4 NIV=3	GRUPO 5 NIV=4	GRUPO 6 NIV=5	GRUPO 7 TESTIGOS
10.290	9.330	9.240	9.160	10.170	8.740	9.160
9.660	10.190	10.270	9.130	9.090	9.840	9.320
9.340	9.580	9.020	9.200	9.750	9.870	9.520
9.130	9.040	9.140	9.870	10.100	9.110	
9.940	9.410	9.220	11.050	9.790	9.760	
9.330	9.660	9.340	10.140	9.910	10.390	
Xm= 9.6150	Xm= 9.5350	Xm= 9.37167	Xm= 9.75833	Xm= 9.80167	Xm= 9.61833	Xm= 9.3333
D.std.= 0.43712	D.std.= 0.38713	D.std.= 0.45292	D.std.= 0.76041	D.std.= 0.38618	D.std.= 0.59294	D.std.= 0.18037

TABLA 5. Datos en mGy de los terceros cien electrodos, sus medias (Xm) y desviaciones standard (D.std.) (3 de febrero 1998)

GRUPO 1 NIV=0	GRUPO 2 NIV=1	GRUPO 3 NIV=2	GRUPO 4 NIV=3	GRUPO 5 NIV=4	GRUPO 6 NIV=5	GRUPO 7 TESTIGOS
	9.330	9.240	9.160	10.170		9.160
9.660			9.130		9.840	9.320
9.340	9.580	9.020	9.200	9.750	9.870	
		9.140	9.870	10.100	9.110	
9.940	9.410	9.220		9.790	9.760	
9.330	9.660	9.340	10.140	9.910		
Xm= 9.567	Xm= 9.495	Xm= 9.192	Xm= 9.500	Xm= 9.944	Xm= 9.645	Xm= 9.240
Dif.= 0.327	Dif.= 0.255	Dif.= -----	Dif.= 0.260	Dif.= 0.704	Dif.= 0.405	

TABLA 6. Datos seleccionados, sus medias (Xm) y la diferencia (Dif.) respecto al fondo (3 de febrero 1998)

Estos resultados, es decir, las diferencias de dosis absorbida por los 36 cristales y por los testigos, varían en un rango que va de 0.128 mGy a 1.605 mGy por arriba de la radiación de fondo.

Los resultados de este trabajo fueron parcialmente presentados en:

1.- REUNIÓN ACADÉMICA DE FÍSICA Y MATEMÁTICAS.
ESCUELA SUPERIOR DE FÍSICA Y MATEMÁTICAS
del INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL.

7 Agosto 1998⁽¹¹⁾

2.- XLI CONGRESO NACIONAL DE FÍSICA.
SOCIEDAD MEXICANA de FÍSICA.

San Luis Potosí, SLP.

30 de Octubre 1998⁽¹²⁾

Los cristales termoluminiscentes utilizados en el presente trabajo tienen una variedad de características que los hacen más ventajosos que otros detectores; algunas de estas características son: dimensiones, comodidad, resistentes, precisos, bajo costo, sensibilidad, reutilizables.

Además, los resultados favorables del presente trabajo, permiten que se constituya en fuente de investigación para futuros trabajos con la respectiva utilidad para los usuarios de soldadura de arco en lo referente a establecer mejores medidas de protección y seguridad radiológica.

Lo anterior permite corroborar plena y satisfactoriamente la propuesta de esta tesis consistente en detectar los niveles de radiación producidos en soldadura de arco a través de dosímetros termoluminiscentes, y evaluar los riesgos que esta radiación representa para la salud.

REFERENCIAS

- 1.- JANAPÉTOV, M.
Soldadura y Corte de Metales.
Editorial Mir, 1978.
- 2.- SCHIMPKE, P., HORN, H. A.
Tratado General de Soldadura, Vol.II, Soldadura Eléctrica.
G. Gili, S.A., 1982.
- 3.- BLATT, F.
Fundamentos de Física.
Prentice-Hall Hispanoamericana, México, 1991.
- 4.- ACOSTA, V., COWAN C.L., GRAHAM B.J.
Curso de Física Moderna.
Harla, S.A., 1975.
- 5.- SHAPIRO, J.
Radiation Protection.
Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, and London,
England, 1990.
- 6.- CEMBER, H.
Introduction to Health Physics.
Mcgraw-hill, 1992.
- 7.- KNOLL, G.F.
Radiation Detection and Measurement.
Wiley, 1979.
- 8.- ESPINOZA, D., NAVA, RDZ., PÉREZ, D.
Manual de Técnicas en Radiología e Imagen.
Trillas, 1995.
- 9.- TSOULFANIDIS, N.
Measurement and detection of radiation.
Hemisphere Publishing Corporation, 1983.
- 10.- RICKARDS, J., CAMERAS R.
El Manejo de las Radiaciones Nucleares.
La Ciencia desde México, Fondo de Cultura Económica, 1990.

- 11.- RODRÍGUEZ, B. L., HERNÁNDEZ, J. A.
Detección de la Radiación Ionizante en Soldadura de Arco Mediante Cristales de Fluoruro de Litio(memorias).
Reunión Académica de Física y Matemáticas.
I.P.N., 1998.
- 12.- RODRÍGUEZ, B. L., HERNÁNDEZ, J. A.
Evaluación de Riesgos por Radiación Ionizante en el Proceso de Soldadura por Arco Eléctrico (memorias).
XLI Congreso Nacional de Física.
Sociedad Mexicana de Física, San Luis Potosí, 1998.
- 13.- GONZÁLEZ, M. A.
Diseño de un monitoreo de la dispersión de rayos-x (tesis de maestría).
Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas, UANL., 1995.
- 14.- MORENO, M.D.
Dispersión de rayos-x en radiografía dental (tesis de maestría).
Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas, UANL., 1997.
- 15.- MATA, C.
Dosimetría termoluminiscente para evaluar y monitorear los niveles y riesgos de la radiación ionizante producidos por monitores de computadoras (tesis de maestría).
Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas, UANL., 1998.
- 16.- RODRÍGUEZ, B. L., MATA, C., VÁZQUEZ, D.
Aplicabilidad de la dosimetría termoluminiscente a terminales de vídeo (memorias).
XLI Congreso Nacional de Física.
Sociedad Mexicana de Física, San Luis Potosí., 1998.

