

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



DOSIMETRIA TERMOLUMINISCENTE EN EL PROCESO
DE SOLDADURA POR ARCO ELECTRICO

TESIS

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

PRESENTA

JUAN CARLOS ANDRADE CASILLAS

ASESOR

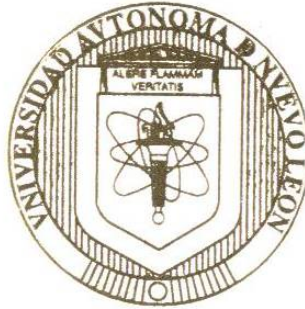
DR. BERNABE LUIS RODRIGUEZ BUENROSTRO

SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N. L. AGOSTO DE 2001



1020146671

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



DOSIMETRIA TERMOLUMINISCENTE EN EL PROCESO
DE SOLDADURA POR ARCO ELECTRICO

T E S I S

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

P R E S E N T A

JUAN CARLOS ANDRADE CASILLAS

A S E S O R

DR. BERNABE LUIS RODRIGUEZ BUENROSTRO

SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N. L. AGOSTO DE 2001

0151-53760 VTLS
23219 Vista.

TM
Z6651
FCFM
2001
;A5



FONDO
TESIS

**DOSIMETRÍA TERMOLUMINISCENTE EN EL PROCESO
DE SOLDADURA POR ARCO ELECTRICO**

Tesis presentada por Juan Carlos Andrade Casillas 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. CARLOS MARTÍNEZ HERNÁNDEZ

VOCAL:

M.C. DANIEL ANGUIANO GARCÍA



AGRADECIMIENTOS

Agradezco infinitamente a Dios por el Don de la Vida.

A mi Maestro de Metrología, Dr. Bernabé L. Rodríguez B., quien fungió como mi asesor y a quien debo la propuesta de tesis, mi sincero agradecimiento por el apoyo brindado durante todo el desarrollo de esta investigación, sin el cual no hubiera sido posible concluir.

A las autoridades de la Universidad Autónoma de Nuevo León por los apoyos financieros otorgados.

A las autoridades de la Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas de la U.A.N.L. por permitirme usar el equipo de Detección y Medición de la Radiación del Laboratorio de Metrología.

A las autoridades de la Escuela Industrial y Preparatoria Técnica "Álvaro Obregón" de la U.A.N.L. por proporcionar el espacio físico del Taller de Soldadura, donde se realizaron las pruebas experimentales de la presente Tesis, y facilitar los actuales planes y programas de estudio.

A los Maestros que impartieron cátedras durante mis estudios de esta Maestría.

A toda mi Familia por el enorme apoyo proporcionado.

A todos los compañeros y amistades que de alguna manera contribuyeron para que felizmente concluyera esta etapa de mis estudios.

DEDICATORIAS

A mi Esposa Reina

**A mis Hijos:
Sandra Elizabeth
Claudia Erika
Karla Patricia
José Juan Carlos
Roberto Carlos**

A mis hijos políticos:

**Irma
Javier**

**A mi Nietos:
Erika Natalia
Dayra Saraí
Carlos Andrés
Javier Eduardo**

**A mis Padres:
Concepción
Silvestre**

A mis Hermanos:

**Blanca Alicia
Irma Leticia
Martha Catalina
Yolanda Patricia
José Humberto
Jesús Javier
Luis Daniel
Martín Gerardo**

A los Estudiantes de la E.I.A.O de la U.A.N.L.

CONTENIDO

	Página
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	3
CAPÍTULO II	
SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO	
2.1 Antecedentes	5
2.2 El proceso de Soldadura por Arco Eléctrico.	5
2.3 Electrodos.	7
2.4 Aspectos Metalúrgicos de la Soldadura.	7
2.5 Radiación generada en el Proceso	8
CAPÍTULO III	
RADIACIONES IONIZANTES	
3.1 Orígenes.	9
3.2 Características.	9
3.3 Rayos-X y Radiación Ultravioleta.	10
3.4 Radiaciones Alfa	10
3.5 Radiaciones Beta	10
3.6 Radiaciones gamma.	11
CAPÍTULO IV	
RAYOS-X E INTERACCIONES CON ÁTOMOS	
4.1 Producción de rayos-X	12
4.2 Interacciones de electrones con átomos.	12
4.3 Radiación por frenamiento	14
4.4 Efecto Fotoeléctrico	15
4.5 Efecto Compton.	15
4.6 Producción de Pares.	15
CAPÍTULO V	
DAÑOS BIOLÓGICOS DE LA RADIACIÓN IONIZANTE	
5.1 Introducción	17
5.2 Daños Genéticos	17
5.3 Daños Somáticos	17
5.4 Dosimetría	18
5.5 Exposición	18

5.6 Dosis Absorbida	18
5.7 Dosis Equivalente	18
5.8 Dosis Máxima Permisible	18
5.9 Efectos de Radiación ionizante no Estocástica.	19
CAPÍTULO VI	
DOSIMETRÍA TERMOLUMINISCENTE	
6.1 Introducción	20
6.2 Aplicaciones de los Dosímetros Termoluminiscentes.	20
6.3 Propiedades de las sustancias Termoluminiscentes.	20
6.4 Propiedades de los Dosímetros de LiF	21
CAPÍTULO VII	
PROPUESTA DE LA TESIS	22
CAPÍTULO VIII	
PROCEDIMIENTO	
8.1 Primera parte	23
8.2 Segunda parte.	25
CAPÍTULO IX	
RESULTADOS EXPERIMENTALES	26
CAPÍTULO X	
ANÁLISIS DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y COMENTARIOS	32
REFERENCIAS	35

INTRODUCCIÓN

Desde nuestros orígenes hasta nuestros días hemos coexistido con las radiaciones naturales. Al producirse radiaciones artificialmente, la humanidad fue percatándose de los efectos que estas representan para la salud. En nuestro País existen ya normas que regulan, en algunos casos, tanto la producción como el uso de las radiaciones, sean estas naturales o artificiales. En el caso de las radiaciones producidas en el proceso de la soldadura por arco eléctrico, no existe tal normatividad, debido en parte a las dificultades que representa, tanto su dosificación, así como la evaluación de riesgos que esta representa para la salud, especialmente para el personal ocupacionalmente expuesto.

Con el descubrimiento de los dosímetros termoluminiscentes y sus enormes ventajas sobre otros tipos de dosímetros, como su sensibilidad, equivalencia de tejido, bajo costo, accesibilidad, maniobrabilidad y durabilidad entre otras, las posibilidades de efectuar monitoreos de radiaciones ionizantes y evaluar los riesgos respectivos, aún para bajas dosis y micro dosis, incluyendo a las producidas en el proceso de soldadura por arco, se han incrementado enormemente. Una prueba reciente de esto lo constituye el trabajo realizado Hernández, J.A.⁽¹⁾, para electrodos comerciales del tipo E-6013.

En la presente tesis se llevó a cabo una investigación experimental con el fin de: monitorear las radiaciones ionizantes emitidas en el proceso SMAW (soldadura por arco con electrodo revestido) para el caso de electrodos comerciales del tipo E-7018 y además, un análisis de la importancia e inclusión de esta temática en el proceso de Enseñanza-Aprendizaje del nivel medio superior.

En el Capítulo I se presenta el Planteamiento del Problema, para continuar con un marco teórico amplio que incluye: Soldadura por Arco Eléctrico, Radiaciones Ionizantes, Rayos-X e Interacciones con Átomos, Daños Biológicos

de la Radiación Ionizante y Dosimetría, y Dosimetría Termoluminiscente, en los capítulos II, III, IV, V y VI respectivamente.

La Propuesta de la Tesis esta contenida en el Capítulo VII, y el respectivo Procedimiento en el Capítulo VIII.

A continuación se presentan los Resultados Experimentales en el Capítulo IX y sus correspondientes Análisis, con sus respectivas Conclusiones y Comentarios en el Capítulo X.

Las referencias se indican, a lo largo de la tesis, con números entre paréntesis a manera de superíndices. El listado completo de estas se incluye al final.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Por tradición en nuestro País el oficio de soldador se aprende de manera empírica, por lo cual en la mayoría de los casos las medidas de protección consisten simplemente de gafas o caretas (vidrios) para proteger exclusivamente a los órganos de visión, ignorándose el hecho de que en el proceso de soldadura por arco eléctrico se producen radiaciones que afectan a todo el cuerpo humano. No obstante esta costumbre generalizada, ya existen instituciones educativas, formadoras de técnicos en diversas áreas, incluida la de soldadura en sus diversas aplicaciones, como es el caso de la Escuela Industrial y Preparatoria Técnica Álvaro Obregón de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

Es en este tipo de instituciones donde se realizan investigaciones sobre la detección y monitoreos de la radiación que se produce en este tipo de procesos, así como las evaluaciones de los riesgos que ésta representa para la salud del personal ocupacionalmente expuesto y las medidas de prevención correspondientes. Un ejemplo de esto lo constituye el trabajo de investigación realizado por el M.C. Juan Antonio Hernández Pérez en 1998⁽¹⁾ (Tesis de Maestría en Ciencias con Especialidad en Metrología de la Radiación) donde se constató que las dosis de radiación en un proceso de soldadura por arco eléctrico varían en un rango que va de 0.128 mGy a 1.605 mGy por arriba de la radiación de fondo a unos 50 cm del arco, al emplear 100 electrodos comerciales del tipo E-6013.

En la actualidad es necesario continuar con este tipo de investigaciones debido principalmente a la gran variedad de electrodos comerciales existentes, y además, a la no existencia de una Normatividad Nacional sobre los monitoreos y los riesgos que representan para la salud del personal ocupacionalmente expuesto a estos procesos, así como la incorporación de tales conocimientos en los planteles educativos respectivos.

En resumen, el problema básico que se plantea en la presente tesis es el de investigar los riesgos que representa el proceso de soldadura por arco eléctrico utilizando electrodos comerciales del tipo E-7018^(*) para personal ocupacionalmente expuesto, utilizando la tecnología de cristales termoluminiscentes de Fluoruro de Litio, la cual es muy accesible y confiable para detectar y cuantificar las dosis de radiación^(1,2,3,4,5) producidas en este proceso. Además se propone una metodología para incluir estos conocimientos en el proceso de Enseñanza-Aprendizaje del mismo.

(*)Los electrodos de nombre comercial E-7018 de la marca INFRA 718 tienen un diámetro de 1/8" y una longitud de 18". De acuerdo con la clasificación de la AWS (American Welding Society) E-7018, la característica designada por el prefijo "E" indica que el metal de relleno o de aporte es un electrodo conductor en el proceso de la soldadura por arco eléctrico, los números 7 y 0 que van a la izquierda de los dos últimos dígitos multiplicados por 1000, indican que tienen una resistencia mínima de 70,000 lb/pulg² a la tensión del metal depositado, el número 1, indica que se usa para soldar en todas las posiciones, y el número 8 que el suministro de la energía eléctrica puede ser de corriente alterna (CA) o corriente directa con electrodo positivo (CDEP), el tipo de escoria que aporta es de bajo hidrógeno, el tipo de arco eléctrico que se forma durante el proceso es de forma regular, el tipo de penetración es regular, y tienen un recubrimiento con 30 % de hierro pulverizado, compuesto de fluoruro de calcio, silicatos de magnesio, aluminio, sodio y potasio. El tiempo para fundir el total del electrodo es de 60 segundos.

CAPÍTULO II

SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO

2.1 ANTECEDENTES

El desarrollo histórico del proceso de Soldadura por Arco Eléctrico tiene sus orígenes a principios del siglo XIX y se presenta en muchos textos sobre el tema, además de enciclopedias e Internet, por lo que la siguiente síntesis histórica se referencia básicamente en el Texto de Soldadura de James A. Pender⁽⁶⁾ y en la Enciclopedia Universal⁽⁷⁾.

El arco eléctrico, llamado también arco voltaico, fue descubierto por el Sir Humphry Davy aproximadamente en 1819 y representa una descarga eléctrica continua que genera luz y calor intensos entre dos electrodos, habiendo entre estos una atmósfera gaseosa. Posteriormente en 1881 A. De Meritens pudo unir placas de plomo de acumuladores con el mismo proceso, N. Bernardos y S. Olczewski en 1885 usaron el proceso de arco de carbón para soldar metales. N. Slavianoff, en el año de 1888, fue el primero en usar un electrodo de metal desnudo para la soldadura por arco eléctrico, y en 1889, H. Zerener utilizó por primera vez el proceso de doble arco de carbón. Fue en 1907 cuando O. Kjellberg desarrolló el primer electrodo recubierto en el proceso de soldadura de arco. Estos experimentos, junto con el perfeccionamiento de los electrodos, contribuyeron a la introducción de muchas variantes en este proceso⁽⁷⁾.

2.2 EL PROCESO DE SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO

La soldadura de arco o soldadura eléctrica es un proceso de amplia aceptación. Entre los diferentes métodos de soldadura manual por arco eléctrico, uno de los más empleados es el de Slavianoff⁽⁸⁾. En este caso el soldador hace que una corriente eléctrica intensa salte entre el electrodo y el metal de la pieza a soldar, estableciéndose un arco eléctrico de tensión más o menos constante. El cebado inicial consiste en provocar un corto circuito breve, rayando o tocando

el electrodo contra la pieza a soldar. Después se separa y se mantiene a una distancia que varía entre 1, 2 o 3 mm. El arco así generado tiene la capacidad de ionizar la atmósfera que le rodea, debido a las altas temperaturas del proceso que varían entre 5000°C y 8000°C ⁽⁹⁾.

La deposición del metal aportado para soldar se realiza en cuatro fases según Rinaldi⁽⁸⁾:

Primera fase: Debido a la elevada temperatura del arco, se funde una porción de la pieza, formándose en ella un pequeño cráter lleno de metal fundido, como se muestra en la siguiente figura.



Segunda fase: Casi simultáneamente se funde el extremo del electrodo formándose una gota que crece. (Siguiendo figura)



Tercera fase: En la figura siguiente se muestra como a consecuencia de la acción térmica y dinámica del arco, esta gota se alarga hasta tocar el metal líquido del cráter, produciéndose en ese momento un corto circuito, con la consecuente extinción del arco.



Cuarta fase: La gota se desprende del electrodo y se suma al metal del cráter, y el proceso se reinicia, como se ilustra a continuación.



Este fenómeno se repite con una frecuencia de 40 veces por segundo, dando lugar a que la sucesión de gotas abandonen el electrodo y suelden la pieza de trabajo⁽⁴⁾.

La soldadura por arco eléctrico produce una intensa luz, que incluye, entre otras, radiación ultravioleta e infrarroja^(6,10). El arco tiene una zona extrema de color violeta, otra de color rojo oscuro que va aclarándose hacia el interior y una última central, de color amarillo claro en donde se alcanza la máxima temperatura⁽⁸⁾.

2.3 ELECTRODOS

Los tres tipos de electrodos metálicos (o “varillas”) que existen en el mercado son: desnudos, con fundente, y con revestimiento grueso. Son utilizados para unir diferentes metales mediante la fusión que genera el calor que se produce⁽¹¹⁾. Los electrodos desnudos tienen su uso limitado para la soldadura de hierro dulce y suave. El electrodo con fundente ayuda a eliminar óxidos y evitar su formación. Los electrodos de revestimiento grueso son utilizados ampliamente en la soldadura comercial. Más del 95 % del total de soldadura manual con arco que se efectúa a la fecha, se hace con electrodos revestidos⁽⁷⁾. En general el revestimiento de los electrodos varía según la aplicación específica, los mas comunes son: Óxido de calcio con adición de óxido de aluminio, óxido de magnesio, y óxido de manganeso⁽¹¹⁾.

2.4 ASPECTOS METALÚRGICOS DE LA SOLDADURA

Los aspectos metalúrgicos durante el enfriamiento en la zona de la soldadura difieren de los que se observan durante el enfriamiento de una pieza fundida. En la soldadura, el metal fundido se solidifica rápidamente (en pocos segundos). La fuente de calor y el cráter de metal fundido alcanza temperaturas más elevadas que en los hornos de fusión. Como resultado del enfriamiento rápido del cráter, las reacciones químicas que se inician en el metal fundido y en la escoria no tienen tiempo para concluirse. Debido a la difusión del calor hacia el metal base y a la radiación hacia la atmósfera del ambiente, el metal se solidifica en el pocillo

originando una reacción química que produce gases de compuestos inorgánicos que envuelven y protegen, tanto al arco eléctrico como al metal que esta agregándose, del oxígeno y del nitrógeno presentes en el aire, quedando la escoria en la parte superior del metal. (Ver figura 2-1)

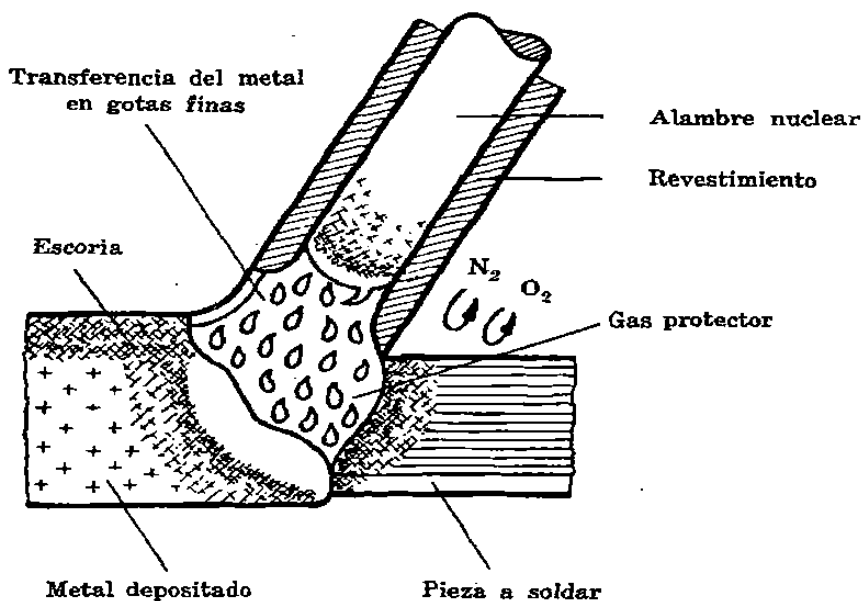


Figura 2-1

2.5 RADIACIÓN GENERADA EN EL PROCESO

Cuando los electrones o iones positivos (o negativos) inciden sobre átomos y/o moléculas, son frenados debido a las múltiples interacciones que realizan en su trayectoria, produciéndose radiaciones electromagnéticas de frecuencias variables que pueden ir desde los rayos-x hasta el infrarrojo, radiación conocida como Bremsstrahlung o radiación de frenado⁽¹²⁾.

Otra forma de producir radiación electromagnética es por la ionización que se puede generar cuando los electrones (o iones) colisionan contra los átomos y/o moléculas del metal o gases presentes, ocasionando reacomodos de electrones y emisión de fotones⁽¹³⁾.

CAPÍTULO III

RADIACIONES IONIZANTES

3.1 ORÍGENES

La palabra radiación en física proviene de radiar o emitir. Las primeras observaciones científicas de radiación se realizaron en el campo de la óptica con el fin de entender, y posteriormente comprender, tanto a los fenómenos donde se emite luz, como a su naturaleza y comportamiento. Algunos pioneros⁽⁷⁾ fueron: Al Hazen (Siglo X), Roger Bacon (Siglo XIII), Pierre de Fermat (Siglo XVII), Christian Huygens (Siglo XVII), Isaac Newton (Siglo XVII) y James Clerk Maxwell (Siglo XIX).

A finales del Siglo XIX hubo dos descubrimientos importantes relacionados con la radiación: El primero fue el descubrimiento de los rayos-X por Wilhelm Röntgen en 1895, y el segundo sobre la radiactividad natural realizado por Antoine Henry Becquerel en 1896.

Las emisiones descubiertas por Röntgen recibieron el nombre de rayos-X, mientras que las radiaciones descubiertas por Becquerel eran emisiones de comportamiento ondulatorio (Rayos gamma [γ]) y otras dos de comportamiento corpuscular (Rayos alfa [α] y rayos beta [β])⁽¹³⁾.

3.2 CARACTERÍSTICAS

Posteriores análisis revelaron que los rayos- γ y los rayos-X son ondas electromagnéticas, mientras que los rayos- α son núcleos de Helio, y los rayos- β son electrones⁽¹²⁾, y que dependiendo de su energía, estas radiaciones pueden causar ionización en los átomos o moléculas que componen las sustancias sobre las que incidan, o también transferirles energía. Pueden penetrar y atravesar sustancias, velar placas fotográficas y/o provocar fluorescencia en ciertos compuestos químicos. No necesitan un medio material para propagarse. Cuando estas radiaciones interactúan con sustancias, muestran un comportamiento dual

(de fenómenos ondulatorios o de partículas clásicas) dependiendo de las características y tipo de interacción⁽¹³⁾.

3.3 RAYOS-X Y RADIACIÓN ULTRAVIOLETA

Las radiaciones ultravioleta son ondas electromagnéticas cuyas longitudes de onda varían de 4×10^{-7} m hasta 5×10^{-9} m, traslapándose con rayos-X blandos. Se originan en diversos procesos como los de descargas eléctricas (transiciones electrónicas) en lámparas y soldadura por arco eléctrico^(12,13). En los rayos-X sus longitudes de onda varían entre 5×10^{-9} m y 1×10^{-11} m. Se producen al incidir un haz de electrones acelerados sobre un sólido metálico por dos procesos simultáneos: frenado del haz electrónico incidente (radiación continua) y transiciones electrónicas en los niveles internos de los átomos del metal excitados por los electrones incidentes. Tanto la radiación ultravioleta como los rayos-X producen lesiones cutáneas en forma de quemaduras dependiendo de: el tiempo de exposición, energía de la radiación, medio y tipo de tejido u órgano, además pueden causar lesiones celulares acumulativas y cambios degenerativos que pueden aparecer posteriormente en forma de melanomas (tumor maligno de la piel) o de alteraciones de la inmunidad de las células de la piel⁽¹⁴⁾.

3.4 LAS RADIACIONES ALFA (α)

Las radiaciones alfa son núcleos de helio compuestos de dos protones y dos neutrones. Dado que son más pesadas que las otras radiaciones mencionadas y tener doble carga positiva, su poder de penetración es muy bajo, solo es capaz de recorrer algunos centímetros cuando inciden sobre alguna sustancia⁽¹²⁾. Cuando penetra un centímetro de aire puede producir hasta 30.000 pares de iones⁽¹³⁾.

3.5 LAS RADIACIONES BETA (β)

Las radiaciones Beta (β), son partículas de masa mucho menor que las alfa y su poder de penetración es mayor. Durante su recorrido por un medio cambian fácilmente de trayectoria y su poder de ionización es inferior, respecto de las partículas alfa. Cuando una partícula beta se acerca a un núcleo atómico

emite parte de su energía en forma de rayos-X. Otra reacción ocurre cuando esta partícula colisiona con un positrón (electrón positivo). En este proceso, conocido como aniquilación del positrón, ambas partículas se “aniquilan” liberando su energía en forma de rayos gamma^(13,14).

3.6 LAS RADIACIONES GAMMA (γ)

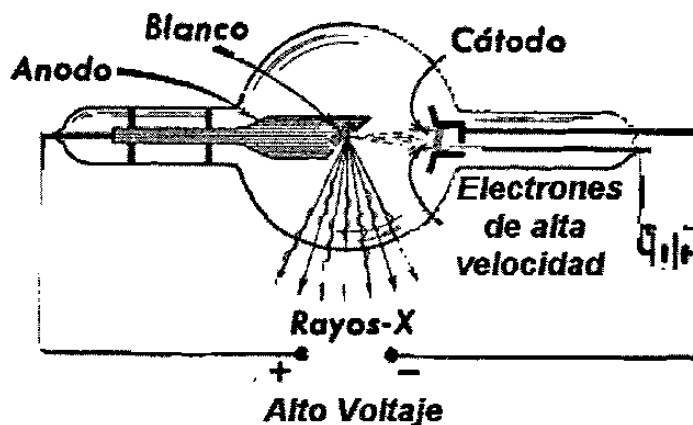
Las radiaciones gamma son ondas electromagnéticas con longitudes de onda más pequeñas que las de los rayos-X⁽¹²⁾. En su interactuar con sustancias pueden sufrir desviaciones en su trayectoria. Su poder de penetración es grande comparado con el de las otras radiaciones, y también pueden causar ionización⁽¹⁴⁾. Actualmente tienen un vasto campo de aplicaciones tanto en el medio industrial como en el sector salud⁽¹³⁾.

CAPÍTULO IV

RAYOS-X E INTERACCIONES CON ÁTOMOS

4.1 PRODUCCIÓN DE RAYOS-X

Los rayos-X son radiaciones electromagnéticas que originalmente se produjeron en tubos de rayos catódicos al incidir electrones sobre un blanco metálico (generalmente wolframio), por dos procesos simultáneos: frenado del haz incidente (radiación continua), y transiciones de electrones en los niveles internos de los átomos. La siguiente figura ilustra esta situación:



Se hace pasar una corriente eléctrica por un alambre, generalmente de tungsteno (cátodo), en un tubo de vidrio al alto vacío, que lo calienta hasta la incandescencia con la consecuente emisión de electrones que son acelerados en la dirección de un blanco metálico (ánodo), a través de una diferencia de potencial y después frenados al chocar violentamente contra la superficie de éste.

4.2 LAS INTERACCIONES DE ELECTRONES CON ÁTOMOS.

Cuando los electrones chocan contra los átomos del blanco pueden ionizar a algunos de los átomos que forman las capas superficiales del metal dependiendo de su velocidad, como se ilustra en la figura 4-2(a).

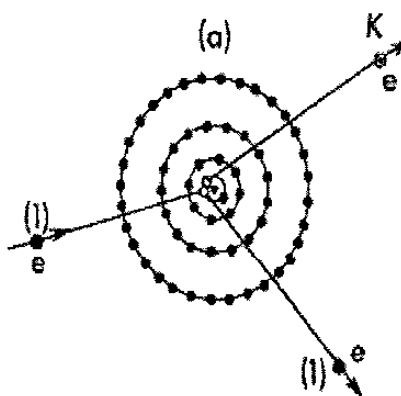


Figura 4-2(a)

En la medida que la capa k (más interna) del átomo pierde un electrón, de otra capa más externa salta un electrón al agujero, emitiendo un fotón o rayo-X. Figura 4-2(b).

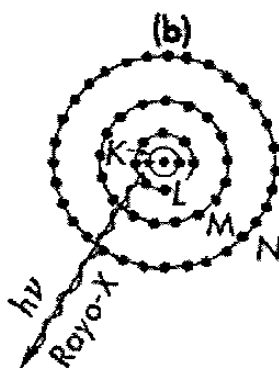


Figura 4-2(b)

El espectro continuo de los rayos X se produce cuando los electrones incidentes interactúan con el campo eléctrico del núcleo de los Átomos. El electrón incidente que atraviesa el campo eléctrico, es atraído por la carga positiva del núcleo y desviado de su trayectoria (Figura 4-2(c)). Durante este recorrido es desacelerado y emite un fotón.

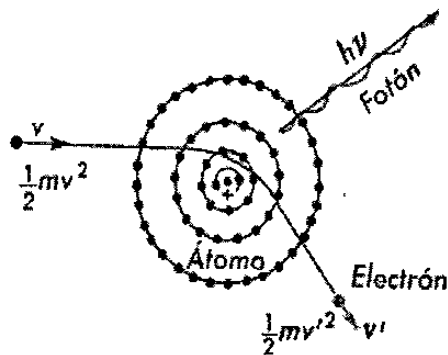


Figura 4-2(c)

4.3 RADIACIÓN POR FRENAMIENTO

Esta radiación de frenado (Bremsstrahlung) es producida por la aceleración de una partícula cargada, en un campo coulombiano. (figura 4-3). Cuanto más cerca del núcleo pase un electrón incidente tanto mayor será la frecuencia del fotón irradiado^(12,13,14).

Hay diferencia en la forma como abordan el problema de la "radiación de frenado" la teoría electromagnética y la mecánica cuántica: La teoría electromagnética predice una (radiación continua) de cada colisión, mientras que el electrón incidente es desacelerado, pero la mecánica cuántica predice la creación de un solo fotón de energía diferente para cada colisión⁽¹²⁾.

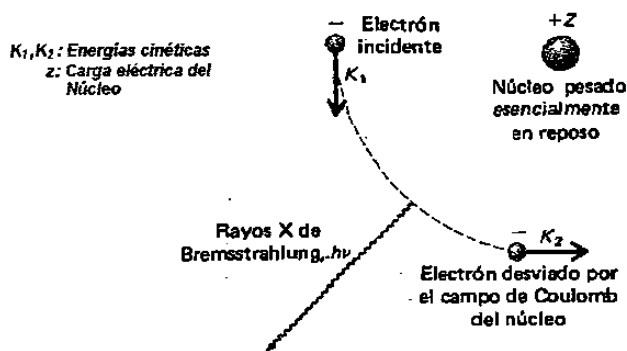


Figura 4-3

Otros efectos importantes producidos por las interacciones de las radiaciones con la materia son: el efecto fotoeléctrico, la dispersión de Compton y la producción de pares.

4.4 EFECTO FOTOELÉCTRICO

Este efecto se puede producir cuando un fotón de determinada energía incide sobre un átomo, provocando la expulsión de un electrón al absorber éste su energía, como se representa en la figura 4-4.

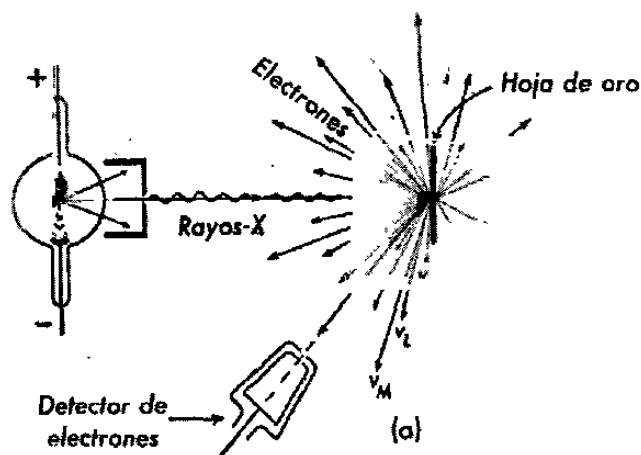


Figura 4-4

Los electrones resultantes son llamados fotoelectrones, dependiendo sus velocidades de las distintas capas electrónicas del átomo que abandonan.

4.5 EFECTO COMPTON

En el efecto Compton un fotón colisiona elásticamente con un electrón libre, cediendo parte de su energía a éste, emergiendo ambos después, conservándose la energía y el momentum.

4.6 PRODUCCIÓN DE PARES

El efecto de la producción de pares se origina cuando un fotón, en la vecindad de un núcleo pesado y la presencia del campo eléctrico interno del átomo, se descompone en un par electrón-positrón. Es común que el positrón se aniquile con algún electrón, produciéndose dos fotones de igual energía.

Estos tres procesos son los responsables de la absorción de fotones por átomos. Para fotones de baja energía predomina el efecto fotoeléctrico, a medianas energías el principal modo de absorción de fotones es el efecto Compton, y a mayores energías la producción de Pares^(12,13,14).

CAPÍTULO V

DAÑOS BIOLÓGICOS DE LA RADIACIÓN IONIZANTE Y DOSIMETRÍA

5.1 INTRODUCCIÓN

Las exposiciones a radiaciones ionizantes, voluntarias o involuntarias, pueden causar diferentes lesiones tanto en células como en tejidos del cuerpo humano. Las interacciones a nivel celular se pueden llevar a cabo en la membrana, el citoplasma o el núcleo, y pueden ser de tipo somático o genético o ambos. La gravedad de la lesión depende del tipo de radiación, de la dosis absorbida (energía depositada), de la zona afectada, del tiempo de exposición y de la sensibilidad del tejido o célula frente a la radiación^(15,16). El lapso de tiempo 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, en unos minutos, días o algunas semanas), y diferidos (a largo plazo, aparecen después de meses, años, décadas y a veces en generaciones posteriores).

5.2 DAÑOS GENÉTICOS

Los daños de tipo genético se presentan cuando la acción de la radiación lesiona al ADN (ácido desoxirribonucleico) de la célula, pudiendo dar lugar a dos tipos de efectos: En el primero, si el núcleo es afectado severamente, la célula pierde sus funciones básicas y muere. Este efecto permite destruir células tumorales en la radioterapia de tumores⁽¹⁶⁾. El segundo efecto se produce cuando se altera la información genética dando lugar a células “mutadas”.

5.3 DAÑOS SOMÁTICOS

Se presentan generalmente en los tejidos, primordialmente en la piel presentando inicialmente una reacción eritema tosa, (enrojecimiento de la piel similar al bronceado por el sol). Esto por lo regular aparece algunas horas después de la exposición⁽¹⁶⁾. La pigmentación de la piel suele reemplazar al

eritema en una semana o más después de la exposición, una exposición adicional en la misma zona trae como consecuencia la exfoliación de la superficie de la piel, que puede degenerar en úlceras persistentes. Esta condición degenerativa se conoce como dermatitis por rayos-X.

5.4 DOSIMETRÍA

Para medir y comparar las energías absorbidas por el tejido vivo, en diferentes condiciones, la Comisión Internacional de Unidades de Radiación (CIUR)⁽¹⁶⁾ define un sistema de unidades aceptado internacionalmente. Estas unidades son actualmente el Becquerel, el Gray y el Sievert (correspondiendo a las anteriores: el Curie (Ci), el Rad y el Rem), que a continuación se explican.

5.5 EXPOSICIÓN

La unidad de exposición es el Roentgen, que corresponde a la cantidad de radiación-X o gamma que produce en el aire iones (de cualquier signo) con una carga eléctrica de 1 Coulomb por kilogramo de aire^(17,19).

5.6 DOSIS ABSORBIDA

La dosis absorbida (D), es la energía depositada por unidad de masa en cualquier material. En el S.I. la unidad de dosis absorbida es el Gray (Gy), que equivale a 1 Joule de energía absorbido por un kilogramo de material^(17,19).

5.7 DOSIS EQUIVALENTE

Es la unidad de radiación ionizante que produce en el organismo humano, el mismo efecto que 1 Roentgen, y 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:

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

5.8 DOSIS MÁXIMA PERMISIBLE

La Comisión Internacional de Protección Radiológica ha dictaminado las dosis máximas permisibles por año para cualquier persona, en las gónadas, médula ósea, o totalidad del cuerpo, siendo esta de 0.05 mSv = 5 Rem. También ha introducido un nuevo concepto en la clasificación de los efectos de la

radiación, basados en la probabilidad de ocurrencia; los efectos estocásticos y los 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, La protección radiológica trata de limitar en lo posible tales efectos, manteniendo las dosis lo más bajas posibles.

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

5.9 EFECTOS DE RADIACIÓN IONIZANTE NO ESTOCÁSTICA

Pueden ser generales o locales. La sintomatología que presentan los efectos generales⁽¹⁵⁾, a partir de la exposición del cuerpo: a 100 rem son cambios marcados en la sangre y aparición de náuseas, fatiga y posibles vómitos; a 200 rem aparecen además a las 24 horas náuseas y vómito. Después de un período latente de una semana aparece caída del cabello, pérdida del apetito y debilidad general entre otros, como diarrea e irritación de la garganta; a 400 rem y dos horas después, muere el 50% de las personas irradiadas.

Los efectos locales pueden ser eritema o necrosis de la piel, caída del cabello, necrosis de los tejidos internos, la esterilidad temporal o permanente, el funcionamiento anormal de los órganos hematopoyéticos (médula ósea y bazo), o alteraciones funcionales del sistema nervioso ^(15,16).

Los efectos diferidos pueden ser el cáncer de los huesos y el pulmonar, consecuencia de una sola exposición por largo tiempo⁽¹⁵⁾.

CAPÍTULO VI

DOSIMETRÍA TERMOLUMINISCENTE

6.1 INTRODUCCIÓN

El dispositivo que permite medir o evaluar una dosis absorbida, una exposición o cualquier otra magnitud radiológica, es llamado dosímetro, y por lo general emplean distintos procedimientos⁽³⁾.

Los dosímetros Termoluminiscentes miden a través de las propiedades que tienen ciertas sustancias cristalinas de absorber la energía de la radiación y después liberarla en forma luz cuando son calentadas a temperaturas inferiores a las que se requieren para alcanzar la incandescencia⁽⁷⁾.

6.2 APLICACIONES DE LOS DOSÍMETROS TERMOLUMINISCENTES

Estos dosímetros son ampliamente utilizados a nivel mundial debido a que son muy económicos y reutilizables. En nuestro país los utiliza la C.N.S.N.S. (Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias) para monitoreos de la radiación ambiental de fondo en diversas entidades; también se emplean en programas de protección y seguridad radiológica sobre todo en hospitales, centros de diagnóstico y radioterapia, laboratorios en el control de calidad, radiografía industrial, y recientemente en los monitoreos de: rayos-X en la radiografía dental no-panorámica^(3,4), en monitores de computadoras⁽¹⁷⁾ y en el proceso de soldadura por arco eléctrico⁽¹⁾.

6.3 PROPIEDADES DE LAS SUSTANCIAS TERMOLUMINISCENTES.

Las sustancias termoluminiscentes como el fluoruro de litio (LiF) o el fluoruro de calcio (CaF₂), cuando son expuestos a diversos tipos de radiación, tienen la propiedad de excitar su configuración electrónica⁽⁷⁾. Este proceso implica dos pasos: en el primero, la energía que se absorbe de la radiación incidente hace que electrones de la red se exciten quedando atrapados en los niveles de vida media larga, y en el segundo; cuando estas sustancias se vuelven a calentar, dichos electrones vuelven a su estado original, emitiendo

fotones cuyas energías son proporcionales a la energía de la radiación que absorbieron⁽²⁰⁾. El intervalo de tiempo entre ambos pasos puede ser corto (menos de una cienmilésima de segundo) o largo (varias horas).

6.4 PROPIEDADES DE LOS DOSÍMETROS DE LiF

Un dosímetro de fluoruro de litio, dopado con magnesio y titanio, tiene una sensibilidad del orden de 0.02 mGy, una densidad de 2.6 (gr/cm³) y un rango útil que va desde 0.03 mGy a 3000 Gy, siendo su desvanecimiento despreciable a temperaturas ambientales (5% por año), además su número atómico promedio es de 8.1, el cual no difiere mucho de 7.4, que corresponde al promedio del tejido humano^(19,20).

CAPÍTULO VII

PROPUESTA DE LA TESIS

El principal aspecto de la problemática planteada en el Capítulo I se refiere a la seguridad radiológica relacionada con el proceso de soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido, dado que nuestro País adolece de las normas, criterios y procesos educativos que proporcionen al personal que se expone a estas radiaciones, las correspondientes medidas de protección y seguridad.

Partiendo del hecho de que ya existe por lo menos una investigación al respecto⁽¹⁾, de la cual se desprende la factibilidad de evaluar los riesgos que representa para la salud la radiación producida en los procesos de soldadura por arco eléctrico utilizando dosímetros termoluminiscentes, en la presente tesis se continúa y fortalece la metodología científica implícita en esta línea de investigación, a través de la siguiente propuesta:

Emplear la Tecnología de Dosímetros Termoluminiscentes de Fluoruro de Litio (Tejido equivalentes) para evaluar los riesgos que representa para la salud el proceso de soldadura por arco eléctrico cuando se emplean electrodos comerciales del tipo E-7018 y además, analizar la posibilidad de incorporar dichos conocimientos en el proceso de Enseñanza-Aprendizaje.

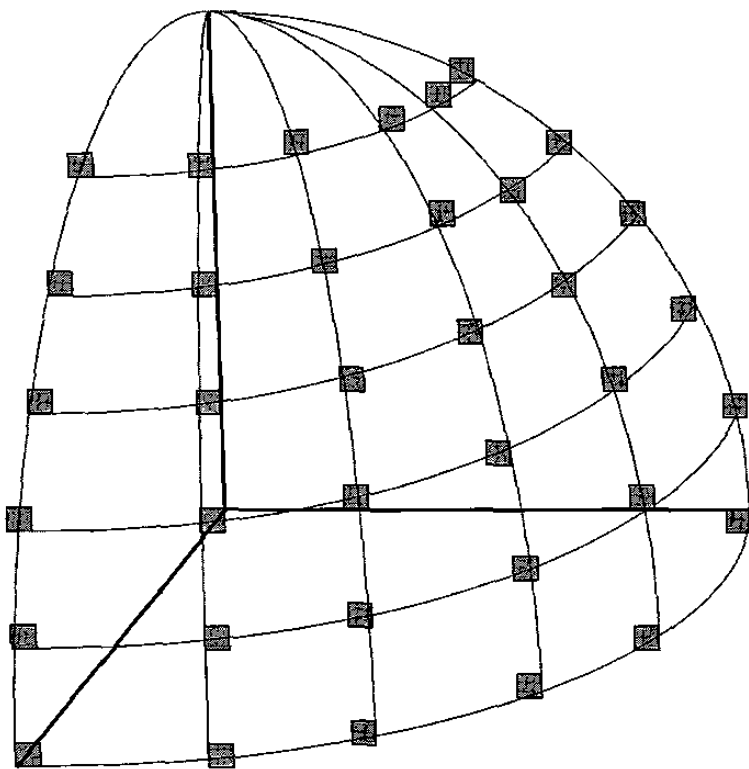
CAPÍTULO VIII

PROCEDIMIENTO

En este capítulo se incluyen las acciones propias del desarrollo de la propuesta de la presente tesis, presentando primero todo lo relativo a la parte experimental y posteriormente lo concerniente al análisis de la propuesta de inclusión de esta temática en los procesos educativos.

8.1 PRIMERA PARTE: DESARROLLO EXPERIMENTAL.

Con el fin de evaluar las dosis de radiación emitida durante la soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido se utilizó una estructura metálica con simetría esférica de 50 cm de radio, abarcando sólo un octante, sobre la cual se colocaron 36 dosímetros termoluminiscentes de fluoruro de litio como se ilustra en la siguiente figura.



Estructura metálica de un octante de esfera de 50cm de radio

El lugar seleccionado para la realización de las mediciones fue el Taller de Soldadura de la Escuela Industrial y Preparatoria Técnica "Álvaro Obregón" de la U.A.N.L., el cual fue previamente monitoreado empleando este tipo de dosímetros durante 48 horas continuas en dos ocasiones con un intervalo de 5 días, a fin de eliminar posibles fuentes de radiación ajenas a nuestro caso.

En las diversas ocasiones que se realizaron los monitoreos, los 39 dosímetros requeridos, de la marca Victoreen, eran previamente calibrados en el Laboratorio de Metrología de las Radiaciones de la Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas de la U.A.N.L., colocándose durante tres horas a una temperatura de 400°C en un horno de la marca Thermolyne, modelo 47900, trazado al NIST (National Institute of Standards and Technology, U.S.A.), y dejándolos enfriar lentamente durante otras tres horas, hasta alcanzar la temperatura ambiente.

De los 39 dosímetros, 36 se colocaron en grupos de seis, espaciados sobre el octante (ver figura anterior) en intervalos angulares polares de 18° y a intervalos angulares azimutales de 15°, o sea, a 0°, 15°, 30°, 45°, 60° y 75° de azimut; dos dosímetros a 5 metros del centro de la estructura y uno más en el Laboratorio de Metrología.

Los electrodos seleccionados fueron del Tipo E-7018, certificados con la norma de calidad ISO-9002 (Ver nota al pié de la página 4). La "máquina de soldar" o "soldadora" fue de la marca INFRA, modelo MI-250 CA/CD PLUS, para soldadura con electrodos revestidos, certificada con la norma de calidad ISO-9001 y se operó para producir una corriente de 100 amperes en el arco.

Se realizaron seis pruebas en las siguientes fechas durante el año 2000: 7, 14, 17, 19 y 23 de Febrero, y otra el 2 de Abril. En cada prueba se soldaron 100 electrodos en el centro del octante. Al concluir cada prueba, los 39 dosímetros y los 3 testigos correspondientes fueron analizados con una lectora de dosímetros marca VICTOREEN, MODELO 2800 M, trazada al NIST, del Laboratorio de Metrología antes mencionado.

8.2 SEGUNDA PARTE: ANÁLISIS DE LA PROPUESTA DE INCLUSIÓN DE ESTA TEMÁTICA EN EL PROCESO DE FORMACIÓN DE TÉCNICOS ESPECIALIZADOS.

Este análisis se realiza con fundamento en los Planes y Programas de Estudio de una de las principales instituciones de nuestro estado formadora de Técnicos Especializados, que es la Escuela Industrial y Preparatoria Técnica “Álvaro Obregón” de la U.A.N.L.

El período de formación es de seis semestres (tres años). El estudiante cubre todas las materias del nivel de Preparatoria y además las correspondientes a su especialidad técnica. En particular, el tema de la seguridad radiológica debe formar parte de la cultura general de cualquier estudiante, ya que todos estamos expuestos a las radiaciones, y con especial acentuación para aquellos cuyo desempeño implicará la presencia de radiaciones ionizantes.

Con el fin de fortalecer la cultura general del estudiantado del nivel medio superior sobre esta temática, se propone incluir sus elementos mas básicos en la Unidad V (Física Moderna) del tronco común del programa actual de estudios, como un inciso o apartado nuevo consecuente al D (Física Nuclear), que contenga esencialmente:

- **Descubrimiento de los efectos de las radiaciones sobre bioseres, particularmente en el género humano.**
- **Efectos genéticos y somáticos (Estocásticos o no).**
- **Unidades y dosis de radiación (Gray y Sievert).**
- **Recomendaciones Internacionales.**

Para quienes requieran conocimientos más amplios según su Especialidad Técnica, como el caso del Bachiller Técnico Soldador, es pertinente enfatizar los riesgos específicos, incluyendo además:

- **Dosis típicas de radiación en los procesos de soldadura, sus riesgos y medidas de protección radiológica.**

CAPÍTULO IX

RESULTADOS EXPERIMENTALES

En las siguientes seis tablas se muestran los resultados obtenidos en cada una de las pruebas realizadas.

PRUEBA 1

7 DE FEBRERO DE 2000

Datos en mGy

	NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3	NIVEL 4	NIVEL 5	NIVEL 6	Testigos
	9.280	8.670	8.020	8.790	8.220	9.130	8.490
	8.180	8.520	8.820	8.270	9.260	8.440	8.380
	8.080	8.640	8.400	8.560	9.620	8.730	8.250
	8.500	8.640	8.560	8.750	8.410	8.630	
	8.630	8.750	8.590	9.030	8.630	8.540	
	8.670	8.600	9.030	8.600	8.880	8.740	
Media	8.557	8.637	8.570	8.667	8.837	8.702	8.373
D. STD.	0.390	0.076	0.348	0.256	0.529	0.239	0.120
Dif. =	0.183	0.263	0.197	0.293	0.463	0.328	

TABLA 1

Promedio de las Diferencias = 0.288 mGy

PRUEBA 2**14 DE FEBRERO DE 2000****Datos en mGy**

	NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3	NIVEL 4	NIVEL 5	NIVEL 6	Testigos
	8.790	8.840	8.980	8.690	8.780	8.940	8.440
	9.230	8.690	8.890	8.570	8.990	8.840	8.460
	8.880	8.660	8.850	9.260	8.960	8.760	8.470
	9.320	9.210	8.730	9.070	8.790	9.260	
	9.100	9.870	9.070	8.780	8.850	8.940	
	8.710	8.850	8.760	8.860	8.910	9.010	
Media	9.005	9.020	8.880	8.872	8.880	8.958	8.457
D. STD.	0.248	0.460	0.130	0.254	0.088	0.172	0.015
Dif. =	0.548	0.563	0.423	0.415	0.423	0.502	

TABLA 2**Promedio de las Diferencias = 0.479 mGy**

PRUEBA 3**17 DE FEBRERO DE 2000****Datos en mGy**

	NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3	NIVEL 4	NIVEL 5	NIVEL 6	Testigos
	8.820	9.850	8.990	9.280	9.010	9.380	8.730
	8.810	9.970	8.910	9.850	9.220	8.880	8.460
	9.300	9.810	8.540	9.490	9.020	8.940	8.430
	9.260	9.410	8.770	9.580	9.060	8.790	
	8.750	9.620	9.800	9.550	8.890	9.200	
	9.060	9.450	9.830	9.650	9.150	9.500	
Media	9.000	9.685	9.140	9.567	9.058	9.115	8.540
D. STD.	0.242	0.228	0.545	0.187	0.115	0.289	0.165
Dif. =	0.460	1.145	0.600	1.027	0.518	0.575	

TABLA 3**Promedio de las Diferencias = 0.721 mGy**

PRUEBA 4**19 DE FEBRERO DE 2000****Datos en mGy**

	NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3	NIVEL 4	NIVEL 5	NIVEL 6	Testigos
	8.800	9.050	8.640	8.770	9.000	8.900	8.880
	8.810	9.300	8.780	8.980	8.890	8.750	8.840
	8.520	9.780	8.870	8.950	9.010	8.740	8.580
	8.680	9.420	8.210	8.670	9.000	9.090	
	9.120	9.020	8.780	9.180	8.930	8.810	
	9.090	8.580	9.020	8.880	9.000	8.830	
Media	8.837	9.192	8.717	8.905	8.972	8.853	8.767
D. STD.	0.233	0.408	0.278	0.177	0.050	0.130	0.163
Dif. =	0.070	0.425	-0.050^(*)	0.138	0.205	0.087	

TABLA 4**Promedio de las Diferencias = 0.185 mGy****(*) No considerado para el promedio de las diferencias**

PRUEBA 5

23 DE FEBRERO DE 2000

Datos en mGy

	NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3	NIVEL 4	NIVEL 5	NIVEL 6	Testigos
	9.090	9.410	8.700	8.840	8.640	9.010	8.770
	8.790	8.790	8.660	8.710	8.680	8.710	8.980
	8.790	9.350	8.890	8.670	8.800	8.800	8.660
	8.610	8.960	8.660	8.770	8.640	8.880	
	9.120	8.620	9.000	8.730	8.720	9.080	
	8.720	8.790	8.980	8.870	8.710	9.010	
Media	8.853	8.987	8.815	8.765	8.698	8.915	8.803
D. STD.	0.206	0.324	0.160	0.077	0.060	0.143	0.163
Dif. =	0.050	0.183	0.012	-0.038^(*)	-0.105^(*)	0.112	

TABLA 5

Promedio de las Diferencias = 0.089 mGy

(*) No considerados para el promedio de las diferencias

PRUEBA 6**2 DE ABRIL DE 2000****Datos en mGy**

	NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3	NIVEL 4	NIVEL 5	NIVEL 6	Testigos
	10.530	9.650	9.690	9.390	9.210	9.230	9.230
	9.650	9.080	8.760	9.090	9.320	9.190	9.080
	9.690	9.180	9.270	9.040	9.080	8.610	9.070
	9.050	8.920	9.030	9.310	9.020	8.920	
	9.400	9.630	9.010	9.020	8.910	8.850	
	9.770	8.970	8.820	9.250	9.120	9.070	
Media	9.682	9.238	9.097	9.183	9.110	8.978	9.127
D. STD.	0.491	0.324	0.342	0.154	0.144	0.233	0.090
Dif. =	0.555	0.112	-0.030^(*)	0.057	-0.017^(*)	-0.148^(*)	

TABLA 6**Promedio de las Diferencias = 0.241 mGy****(*) No considerados para el promedio de las diferencias**

CAPÍTULO X

ANÁLISIS DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

El significado de los resultados obtenidos en cada una de las pruebas realizadas se puede apreciar al final de cada una de las seis tablas del capítulo anterior, donde se indica el promedio de las diferencias con respecto a la radiación de fondo y que reproducimos a continuación:

PRUEBA	PROMEDIO DE LAS DIFERENCIAS CON RESPECTO A LA RADIACIÓN DE FONDO
1 . . .	0.288 mGy
2 . . .	0.479 mGy
3 . . .	0.721 mGy
4 . . .	0.185 mGy
5 . . .	0.089 mGy
6 . . .	0.241 mGy

Estos resultados muestran claramente que la radiación emitida en el proceso de soldadura por arco eléctrico para el caso de electrodos comerciales del tipo E-7018, es detectada por los dosímetros termoluminiscentes de Fluoruro de Litio que son sensibles a las frecuencias del ultravioleta y de los rayos-X de radiación electromagnética, como ocurrió anteriormente⁽¹⁾ para el electrodo comercial E-6013. Es notorio que varían desde 0.089 mGy hasta 0.721 mGy, lo cual se debe muy probablemente a factores muy difíciles de controlar como: la temperatura, humedad y contaminación de la atmósfera donde se realizaron las pruebas, y además de la geometría de la soldadura que se va agregando conforme se consumen los electrodos. Esto, que aparentemente es una debilidad de la investigación, es mas bien una fortaleza, ya que en la vida cotidiana esto es lo que normalmente ocurre.

En relación a los riesgos que esto representa para la salud, es pertinente acentuar que los resultados de esta investigación, segunda de que se tiene información, manifiestan también la posibilidad de evaluar dichos riesgos, no obstante que la dosis observada en la prueba numero 5 es menor que la dosis máxima permisible recomendada por la I.C.R.P. (Comisión Internacional de Protección Radiológica, por sus siglas en inglés) que es de 0.05 Sievert /año, (lo que antes era 5 Rem /año). Nuestros resultados muestran una variación de la dosis absorbida por los cristales (tejido equivalentes), que va de 0.089 mSv a 0.721 mSv, sobre la radiación de fondo, al emplear 100 electrodos en el proceso de soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido, lo que equivale a incrementos que varían de 0.00178% a 0.01442% de la radiación de fondo, o sea que el riesgo máximo en este caso es del orden de 1.5 centésimas, lo cual aparentemente no representa ningún riesgo para la salud. Sin embargo, estos valores deben de **considerarse con mucho cuidado**, ya que la dosis máxima permisible **es anual**, lo que corresponde en promedio a una dosis máxima por día de: $0.05\text{Sv}/365 = 0.000137\text{Sv}/\text{día}$ o $0.137\text{mSv}/\text{día}$. Esto facilita, en nuestro caso, una mejor apreciación y evaluación de los riesgos, ya que estos **varían del 64.5% al 526.3% sobre la dosis máxima permisible por día**, por lo que este proceso amerita de: mucha cautela, reglamentación, normatividad y medidas de protección para el personal ocupacionalmente expuesto.

En resumen, el primer objetivo de la propuesta de ésta tesis, que consistía en evaluar los riesgos que el proceso de soldadura por arco eléctrico representa para la salud del personal ocupacionalmente expuesto se alcanzó y concluyó correctamente, y en lo concerniente al segundo objetivo se puede considerar lo mismo, ya que los conocimientos sobre estos riesgos deben necesariamente formar parte de la cultura general de cualquier estudiante, especialmente para aquellos cuyo futuro desempeño implique este tipo de procesos.

Finalmente se debe enfatizar la importancia de continuar este tipo de investigaciones, no solo para la gran variedad de electrodos que actualmente se

utilizan en el proceso de soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido, sino también en los demás procesos de soldadura.

REFERENCIAS

- 1.- HERNÁNDEZ, J.A.
Detección, Medición y Evaluación de Riesgos por Radiación Ionizante en el Proceso de Soldadura por Arco Eléctrico (Tesis de Maestría).
Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas, U.A.N.L., 1998
- 2.- RODRÍGUEZ, B.L.; HERNÁNDEZ, J. A.
Detección de la Radiación ionizante en la soldadura de Arco Mediante Cristales de Fluoruro de Litio.
Tercera Reunión Nacional Académica de Física y Matemáticas de la Escuela Superior de Física y Matemáticas del I.P.N., 1998.
- 3.- GONZÁLEZ, M.A.
Diseño de un monitoreo de la dispersión de los rayos-X (Tesis de Maestría).
Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas, U.A.N.L., 1995.
- 4.- MORENO, M. D.
Dispersión de Rayos-X en Radiografía Dental (Tesis de Maestría).
Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas, U.A.N.L., 1997.
- 5.- RODRÍGUEZ, B.L.; MATA, C.; VÁZQUEZ, D.
Aplicabilidad de la Dosimetría Termoluminiscente a Terminales de Video.
XLI Congreso Nacional de Física.
Sociedad Mexicana de Física, San Luis Potosí, 1998.
- 6.- PENDER, J.A.
Soldadura.
Ed. Mc Graw-Hill, (tercera edición), 1999.
- 7.- ENCICLOPEDIA UNIVERSAL ILUSTRADA.
Europeo-Americana.
Ed. Espasa-Calpe, S. A., 1996.
- 8.- LUCCHESI, D.
Técnica, Forja, Embutición, Corte y Soldadura.
Ed. Labor, S.A., 1ª Edición, 1973.
- 9.- JANAPÉTOV, M.
Soldadura y Corte de Metales.
Ed. Mir, 1978.

- 10.- HORWITZ, H.
Soldadura, Aplicaciones y Práctica.
Ed. Alfa Omega, 1997.
- 11.- BEGEMAN, M.L.
Procesos de Manufactura.
Ed. C.E.C.S.A., 1999.
- 12.- ACOSTA, V.; COWAN C.L.; GRAHAM, B.J.
Curso de Física Moderna.
Ed. Harla, S.A., 1992.
- 13.- TYPPEMS, P.E.
Física Moderna.
Ed. McGraw-Hill, Sexta Edición, 1999.
- 14.- WHITE, H.E.
Física Moderna.
Ed. Uteha, S.A. de C.V., 1981.
- 15.- ESPINOZA, D.
Manual de Técnicas en Radiología e Imagen.
Ed. Trillas, 1995.
- 16.- RICKARDS, J.; CAMERAS, R.
El Manejo de las Radiaciones Nucleares.
La Ciencia desde México, Fondo de Cultura Económica, 1990.
- 17.- CEMBER, H.
Introduction to Health Physics.
Ed. McGraw-Hill, 1992.
- 18.- SHAPIRO, J.
Radiation Protection.
Ed. Harvard University Press.
Cambridge, Massachusetts and London, 1990.
- 19.- KNOLL, G.F.
Radiation Detection and Measurement.
Ed. John Willey & Sons, 1991.

- 20.- TSOULFANIDIS, N.
Measurement and Detection of Radiation.
Ed. Hemisphere Publishing Corporation, 1983.

