

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA



101 128

**MANEJO Y CONTROL DE MATERIALES
RADIATIVOS EN SEGURIDAD E
HIGIENE INDUSTRIAL**

M O N O G R A F I A
Que Para Obtener el Título de
I N G E N I E R O Q U I M I C O
P r e s e n t a

GUILLERMO SANCHEZ GUTIERREZ

México, D. F.

15906

1979



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Jurado asignado originalmente según el tema.

PRESIDENTE : RAMON VILCHIS ZIMBRON
VOCAL : LUIS GALVEZ CRUZ
SECRETARIO : FERNANDO ITURBE HERMANN
1er. SUPLENTE: JUAN LARTIGUE GORDILLO
2do. SUPLENTE: CARITINO MORENO PADILLA

Sitio donde se desarrolló el tema: INSTITUTO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. ASOCIACION MEXICANA DE SEGURIDAD E HIGIENE, PETROLEOS MEXICANOS.

Sustentante: GUILLERMO SANCHEZ GUTIERREZ.

Asesor del tema: RAMON VILCHIS ZOMBRON.

"INDICE GENERAL"

	PAG.
INTRODUCCION	IX
I). - <u>CAPITULO I</u>	
1. - HECHOS HISTORICOS.	2
2. - DEFINICION DE RADIACION.	7
3. - NATURALEZA DE LAS RADIACIONES.	7
A). - RADIACIONES ELECTROMAGNETICAS.	8
a). - Rayos "X"	10
b). - Radiaciones Gamma.	11
B). - PARTICULAS.	13
a). - Radiaciones Alfa.	13
b). - Radiaciones Beta.	13
c). - Neutrones.	14
d). - Protones.	14
4. - UNIDADES.	15
II). - <u>CAPITULO II</u>	17
1. - DETECCION Y MEDIDA DE LAS RADIACIONES.	18
A). - CAMARA DE IONIZACION.	20
B). - DETECTOR GEIGER MULLER.	24
C). - DETECTOR DE CENTELLEO.	28
D). - DOSIMETRO DE BOLSILLO TIPO CAMARA - DE IONIZACION.	32
E). - DOSIMETRO DE BOLSILLO TIPO PELICULA.	35
III). - <u>CAPITULO III</u>	38
1. - EFECTOS BIOLOGICOS.	39
A). - DOSIS MAXIMA PERMISIBLE Y CONCENTRA CION MAXIMA PERMISIBLE.	44

	PAG.
IV). - <u>CAPITULO IV</u>	49
I. - USOS GENERALES DE APLICACION INDUSTRIAL.	50
A). - INSPECCION RADIOGRAFICA.	50
B). - INSPECCION FLUOROSCOPICA.	53
a). - Inspectoscopio.	53
b). - Comprobación Fluoroscópica del Calzado.	53
C). - INSPECCION CONTINUA Y AUTOMATICA.	53
a). - Medición de espesores y uniformidad.	53
b). - Medición de Altura.	54
c). - Medición de niveles de llenado de Líquidos.	55
D). - ANALISIS.	58
a). - Difracción de Rayos "X"	58
E). - MATERIALES AUTOLUMINOSOS.	58
F). - ELIMINACION DE CORRIENTE ESTATICA.	58
G). - OTROS USOS.	59
a). - Mantenimiento de oleoductos.	59
V). - <u>CAPITULO V</u>	66
I. - NORMAS GENERALES DE CONTROL DE SEGURIDAD EN EL MANEJO DE RADIACIONES.	67
A). - PROTECCION CONTRA RADIACIONES EXTERNAS.	67
a). - Alejamiento ó Distancia.	67
b). - Tiempo de Exposición.	x 69
c). - Blindaje.	70
d). - Empelo de Radiaciones de Mínimo Poder - de Penetración.	72
B). - PROTECCION CONTRA RADIACIONES INTERNAS.	73
C). - EQUIPO DE PROTECCION.	78
D). - VIGILANCIA RADIOLOGICA.	
E). - CONTROL MEDICO.	84
F). - MECANISMO DE MANEJO A DISTANCIA.	86
G). - SIMBOLO QUE INDICA PRESENCIA DE RADIACION.	87

	PAG.
VI). - <u>CAPITULO VI.</u>	91
CONCLUSIONES.	92
BIBLIOGRAFIA.	95

INTRODUCCION

El incremento en la aplicación de los diferentes tipos de elementos radiactivos dentro de los campos que conciernen a la química, medicina y demás ramas de la ciencia o aplicaciones de éstas a la tecnología, para la búsqueda de beneficios a la humanidad, ha ocasionado al mismo tiempo tomar ciertas medidas preventivas de seguridad, para evitar los problemas de contaminación que afectan la salud del ser humano.

La contaminación puede ser causada principalmente por; el empleo de los diversos materiales radiactivos en la transportación, manejo, protección y procesamiento, así como también los posibles accidentes que se puedan presentar en las manipulaciones de los mismos.

El presente estudio tiene por objeto dar a conocer en forma simple y breve las propiedades básicas de los materiales radiactivos que se manejan, las transformaciones que ocurren en los procesos de elaboración, las dosis máximas permisibles en el organismo, los efectos biológicos que -- pueden ocasionar, y, principalmente; las reglas de seguridad que permiten manejar tales materiales sin incurrir en riesgos innecesarios para las propias instalaciones y su personal.

Una de las medidas de seguridad más importantes es la de, adiestrar al personal en técnicas de protección radiológica, mediante cursos de capacitación y trabajando bajo la supervisión de una persona calificada y de experiencia.

Hay que tener en cuenta que el presente no proporciona la suficiente información para poder hacer un estudio a fondo de un tema en particular, recomendando para esto recurrir a la bibliografía aunada al final del presente, así como buscar literatura lo más actualizada que sea posible en la que trate con detalle el tema que desee saber.

Las características que implica este estudio las puede abordar un estudiante de profesional de la facultad de química en vista de los conceptos básicos y a la vez sencillos que se han utilizado.

NOTA: Los números que se encuentran en--
marcados con paréntesis () al final
de cada tema, corresponden respec-
tivamente a los de la bibliografía que
está reunida al final del presente tra-
bajo.

D). - "CAPITULO I"

I. - HECHOS HISTORICOS.

En la segunda mitad del siglo XIX, se produjeron rayos "X" muchas veces y en gran cantidad, sin que su presencia fuera advertida por algunos de los numerosos experimentadores que estudiaban la descarga eléctrica a través de los gases.

Su existencia fue descubierta por Wilhelm Konrad Röntgen, (1845- - 1923), cuando en el otoño de 1895, notó que algunos cristales de platino-cianuro de bario mostraban una fuerte fluorescencia al funcionar un tubo de descarga. Los cristales se encontraban a unos 3m. del tubo, muy fuera del alcance de los rayos catódicos. Pensando que este fenómeno podía deberse a la luz de algún tipo procedente del tubo, lo envolvió en papel negro, pero encontró que la fluorescencia no disminuía, así descubrió un nuevo tipo de radiación, que podía pasar a través del papel negro con mayor facilidad. -- Hizo una profunda investigación de las propiedades de los rayos y publicó un informe preciso, con la primera fotografía de rayos "X", jamás tomada (la mano de su esposa), antes de fin de año. Su único error estuvo en la ex explicación que dió de su naturaleza; pensó que eran ondas electromagnéticas que se diferenciaban de las ondas luminosas porque eran longitudinales. Sin embargo, reconoció la naturaleza tentativa de ésta hipótesis llamándolos rayos "X".

La noticia de este descubrimiento produjo un interés mundial y los médicos utilizaron los rayos casi inmediatamente tanto para diagnósticos como para tratamientos. Se emplearon para localizar cuerpos extraños en los tejidos, fracturas de huesos y para tratar casos de cáncer, en lo que -

se hizo algún progreso alentador. Se encontraron también rápidamente -- usos no médicos. En los primeros años los rayos se emplearon para de-- tectar una fisura en una soldadura, para localizar perlas en las ostras, -- distinguir diamantes naturales y artificiales, detectar la presencia de la - chatarra metálica en balas de textiles (para aumentar el peso) y para el -- examen de cables aislados. Pero pocos de estos usos podían efectuarse re-- gularmente, porque, en aquel tiempo, los tubos de rayos X eran poco efi-- cientes y seguros ya que todavía estaban sin establecer las técnicas de tra-- bajo con la nueva radiación.

El descubrimiento de la radiactividad por Antoine Henry Becquerel (1852-1908), al principio del año 1896, se debió en parte a una hipótesis -- equivocada y, en parte, al azar. Röntgen había descubierto los rayos "X", al final del tubo de descarga, donde el vidrio mostraba una fuerte fluorescencia y esto condujo a Becquerel a sospechar una conexión entre la emi-- sión de luz y de rayos X. Expuso cristales de sustancias fosforescentes a la luz solar para hacerles emitir luz, los envolvió en un papel negro para-- evitar que la luz saliera y después colocó una placa fotográfica en contacto con los cristales envueltos para detectar cualquier rayo X emitido. Entre las sustancias que él ensayó estaba el sulfato de potasio y uranio, que pro-- dujo un perfil del cristal sobre la placa fotográfica, y pudo demostrar que se emitía algo semejante a los rayos "X", haciendo una radiografía a una moneda colocada entre el cristal y la placa.

En 1899 se descubrió que un campo magnético podía separar la ra-- diación en dos tipos. Uno, llamado rayos alfa, no se desviaba y parecía -

ser muy penetrante, mientras que la desviación de los rayos beta, sí, existía, sugería que se trataba de partículas cargadas negativamente. Cuatro años más tarde, aplicando campos mucho más intensos, los rayos alfa fueron separados en un haz de partículas portadoras de carga positiva, que tenían poco poder de penetración, y una radiación que no se desviaba. También se demostró que los rayos alfa eran absorbidos muy fácilmente, pues bastaban unos pocos centímetros de aire, en cambio los rayos beta atravesaban algunos milímetros de aluminio, los cuales no oponían obstáculo alguno al paso de los rayos gamma.

Para el año 1900, Becquerel había medido la relación de carga y masa de las partículas beta y demostró de esta manera que eran idénticas a los rayos catódicos o electrones, sobre los que Thomson llevó a cabo una determinación similar tres años antes.

Rutherford y Soddy, en 1903, anuncian una teoría en la cual explican como un elemento radiactivo se desintegraba en dos partes, una partícula que expulsaba y la otra que formaba un átomo de un elemento diferente, que al ser inestable hacía lo mismo, repitiéndose el proceso hasta que se alcanzaba un elemento estable.

Los primeros experimentadores usaron la descarga de un electroscoPIO calibrado para detectar y medir las actividades de estos cuerpos. Crookes, en 1903, hizo lo que ha probado ser un muy valioso descubrimiento, al encontrar que las partículas alfa producían destellos de luz, en una pantalla de sulfuro de zinc. Los destellos se observaban a través de un microscopio simple, uno por cada partícula alfa recibida y el fenómeno se consideró como una demostración visual de la radiactividad.

Unos 5 años más tarde se usó cuantitativamente para contar partículas alfa, el método de centello fue ampliamente usado como dispositivo de medida durante unos veinte años, hasta que fue desplazado por el ahora familiar, tubo de Geiger. Este junto con la cámara de ionización, tuvieron su origen en un método ideado por Rutherford y Geiger, en 1908, para contar partículas alfa, dirigiéndolas dentro de un tubo metálico que contenía un gas a presión baja.

En 1906, Rutherford midió la relación de carga y masa de las partículas alfa por un método similar, al que usó J.J. Thomson para los electrones, y el resultado sugirió que cada partícula era, bien una molécula de hidrógeno ionizada simplemente o bien un átomo de helio doblemente ionizado. Dos años más tarde, juntamente con Geiger, midió la carga de una partícula alfa, y con los resultados obtenidos se consideró la probabilidad de que la partícula fuera un átomo de helio. Al año siguiente, juntamente con Royds, convirtió esta probabilidad en certeza demostrando que las partículas alfa, introduciéndolas a un tubo evacuado, daban un gas que se identificó, positivamente como helio por su espectro.

La naturaleza de los rayos X y gamma se estableció definitivamente hasta el año de 1912, cuando Laue sugirió pasar un haz estrecho de Rayos X a través de un cristal y obtuvo un cierto número de manchas simétricas en una placa fotográfica colocada detrás del cristal. Debujo que las manchas eran el resultado de la difracción causada por la reflexión de los rayos en las capas de átomos regularmente espaciadas en el cristal, y esto no podía tener más que una explicación: la de que los rayos eran ondas semejantes a la luz.

Experimentos posteriores realizados por W. H. y W. L. Bragg, confirmaron completamente este punto de vista y midieron la longitud de onda, encontraron que era del orden de 10^{-8} centímetros, es decir alrededor de una milésima parte de la longitud de onda de la luz visible.

Después de la II Guerra Mundial, la invención del fotomultiplicador que convierte un pulso de luz, demasiado débil para ser detectado por el ojo humano, en un impulso eléctrico que se puede medir, ha hecho renacer el método de centelleo que actualmente es preferido al del tubo Geiger.

En 1934 Curie y Joliot obtuvieron el primer isótopo radiactivo artificial. Bombardearon aluminio con partículas alfa y lo transformaron en fósforo, pues se encontró que era radiactivo y que decaía exponencialmente, exactamente de la misma forma que los elementos pesados. Utilizando otras partículas rápidas, por ejemplo, protones y deuterones, se obtuvieron un gran número de nuevos isótopos, muchos de los cuales eran radiactivos.

En 1939, Hahn y Strassman descubrieron que, cuando se bombardeaba uranio con neutrones, el átomo se divide en dos partes aproximadamente iguales, emitiendo al mismo tiempo varios neutrones y una gran cantidad de energía. Este descubrimiento no sólo fue causa de una nueva fuente de elementos radiactivos llamados productos de fisión, sino que orientó a la investigación hacia la posibilidad de mantener una cadena continua de fisión en el uranio, ahora conocida como reacción en cadena. Esto se logró cuando Fermi en 1942, construyó e hizo funcionar la primera pila atómica (hoy un reactor).

Actualmente existe un gran número de estos reactores, y como contienen un número verdaderamente enorme de neutrones, que se mueven con gran variedad de velocidades, resulta ahora posible fabricar isótopos radiactivos a escala comercial. Los materiales inactivos se irradian en el reactor y cuando se sacan tienen actividades mucho más grande que la de los elementos radiactivos existentes en la naturaleza. Se han encontrado innumerables usos en medicina y en la industria y, en algunos casos, han suplantado al tubo de rayos X como una fuente de radiación de alta energía. (1)

2. - DEFINICION DE RADIACION.

Las radiaciones pueden ser definidas, en general, como una forma de transmisión especial de energía. Dicha transmisión se efectúa mediante ondas electromagnéticas o por desintegración espontánea de átomos de elementos inestables los cuales se transforman en otros elementos.

En muchos casos pueden ocurrir que un átomo se transmite en otro que a su vez es radiactivo produciéndose de ésta manera una cadena de desintegraciones hasta llegar a un elemento estable.

La velocidad de desintegración de cada átomo radiactivo, está caracterizada por su constante de desintegración. Cuyo valor es invariable respecto de cualquier transformación química. (2)

3. - NATURALEZA DE LAS RADIACIONES.

Como se ha dicho anteriormente todos los materiales radiactivos tienen la propiedad de emitir cierto tipo de radiaciones o partículas ele-

mentales, como resultado del proceso de descomposición que sufren los átomos de que están formados. Estas partículas elementales o radiaciones son de varias clases distintas. Algunas de ellas han encontrado ya aplicaciones prácticas y más adelante se analizarán algunos casos. (3)

A). - RADIACIONES ELECTROMAGNETICAS.

Este tipo de radiaciones está constituido por ondas electromagnéticas, ondas que se diferencian tan sólo de la energía de que son portadoras.

Para propósito del estudio de los riesgos profesionales se analizan los grupos de radiaciones de mayor significado biológico que son; ondas de radio, televisión y radar.

En la zona inferior del espectro electromagnético (véase figura No. 1), se hallan las ondas de radio de las cuales no se conocen lesiones biológicas.

Las ondas de televisión son también inofensivas en sí mismas, en instalaciones de radar y de radio de onda ultra corta se han registrado algunos accidentes. Son especialmente sensibles aquellas zonas de órganos del cuerpo que no están adaptados para disipar calor y regular la temperatura con rapidez, por ejemplo: la córnea del ojo, la vejiga, algunas regiones de tracto gastrointestinal.

La forma más simple de prevenir el daño, es evitar que los operarios de las instalaciones de radar entren inadvertidamente al haz de radiaciones. (5)

a). - Radiaciones Térmicas.

Las radiaciones térmicas corresponden a la zona infrarroja del espectro electromagnético, (véase figura No. 1) tiene mayor longitud de onda que la luz visible y por lo tanto, son portadoras de menor energía.

Un cuerpo sometido a más de 500°C, emite radiaciones térmicas. A causa de su gran longitud de onda estas radiaciones son poco energéticas y, por tanto, poco penetrantes. (4)

Desde un punto de vista biológico, sólo la piel y superficies externas del cuerpo se ven afectados por radiaciones infrarrojas. Particularmente sensible es la córnea del ojo que pueden llegar a producirse cataratas. Antiguamente, se consideró dicha enfermedad como típica de los sopladores de vidrio. (5)

b). - Radiaciones Ultravioleta.

Las radiaciones ultravioleta son más energéticas que la radiación infrarroja y la luz visible.

Naturalmente, recibimos luz ultravioleta del sol y artificialmente se produce tal radiación en las lámparas germicidas, aparatos médicos y de investigación, equipos de soldadura, etc.

Sus efectos biológicos son de mayor significado que en el caso de la luz infrarroja. La piel y los ojos deben protegerse contra una exposición excesiva. (3)

Los casos de cáncer en la piel observados entre algunos obreros agrícolas y marineros que trabajan continuamente con el torso desnudo se atribuye a excesiva exposición a las radiaciones ultravioleta. La piel pue

de protegerse de la luz ultravioleta mediante lociones o cremas que absorben las radiaciones. Los ojos deben protegerse con lentes oscuros que absorban perfectamente las radiaciones más nocivas. (5)

B. - RADIACIONES CORPUSCULARES.

Este tipo de radiaciones es el formado por corpúsculos, que son partículas de materia. Así como las ondas muestran propiedades corpusculares y tienen muchas propiedades en común.

Hay una variedad extraordinaria de corpúsculos: partículas alfa, partículas beta, protones y otras partículas. (4)

A). - RADIACIONES ELECTROMAGNETICAS.

a). - Rayos X.

En términos de longitud de onda, los rayos X ocupan un lugar inmediato inferior a la luz ultravioleta en el espectro electromagnético (véase figura No. 1). Su longitud de onda está entre 10^{-6} y 10^{-10} centímetros aproximadamente. Su frecuencia en hertz está entre 10^{17} y 10^{21} . Estos se producen mediante el impacto de electrones de alta velocidad cercana a la de la luz (300, 000 Km/seg.), y no tienen masa ni carga eléctrica, por estas razones, son mucho más penetrantes que las partículas alfa y beta, pudiendo atravesar totalmente el cuerpo humano. Sin embargo, los huesos logran detener estos rayos y proyectar sombra, característica que se aprovecha para la obtención de las radiografías. Los rayos X pueden penetrar varios centímetros de plomo y viajar en el aire algunos centenares de metros. En consecuencia la aproximación de una fuente de rayos X a -

nuestro cuerpo, nos puede causar daño, si recibimos una gran cantidad de radiación, ya que dicha radiación por su alta energía, puede atravesar nuestro cuerpo y lesionar algunos de nuestros órganos vitales. (3)

b). - Radiaciones Gamma.

En comparación con los rayos X emitidos por aparatos, la principal diferencia de los rayos gamma estriba en su mayor fuerza de penetración, como cabría esperar de su menor longitud de onda, entre 10^{-10} y 10^{-11} centímetros o menos hasta fundirse gradualmente con los fotones causados por el choque de partículas muy cargadas de energía procedentes del espacio exterior contra partículas en la atmósfera terrestre.

Los rayos gamma se originan en el núcleo del átomo y portan su energía en un número de diferentes frecuencias en lugar de un espectro continuo como los rayos X. Generalmente la radiación gamma es consecuencia de la emisión de partículas alfa y beta que más adelante se mencionarán con más detalle.

Muchos radioisótopos por ejemplo ^{60}Co , ^{24}Na e ^{31}I , emiten su energía en forma de rayos gamma cuando sus núcleos pasan por un readjustamiento para alcanzar una forma más estable, originando además una radiación de partículas alfa y/o beta. (4)

Por tanto, los rayos X son de características y propiedades similares a la radiación gamma. Con excepción de las características ya mencionadas, es decir que se les llaman rayos gamma, a los emitidos por materiales radiactivos, y rayos X a los producidos con equipos generadores de radiaciones, como los equipos que suelen denominarse de rayos X. (3)

LA UNIDAD ANGSTROM - Es la unidad física de longitud, equivale a un $1 \times 10^{-10} \text{ m}$.

ELECTRON VOLT - La cantidad de energía que adquiere un electrón por una diferencia potencial de un volt

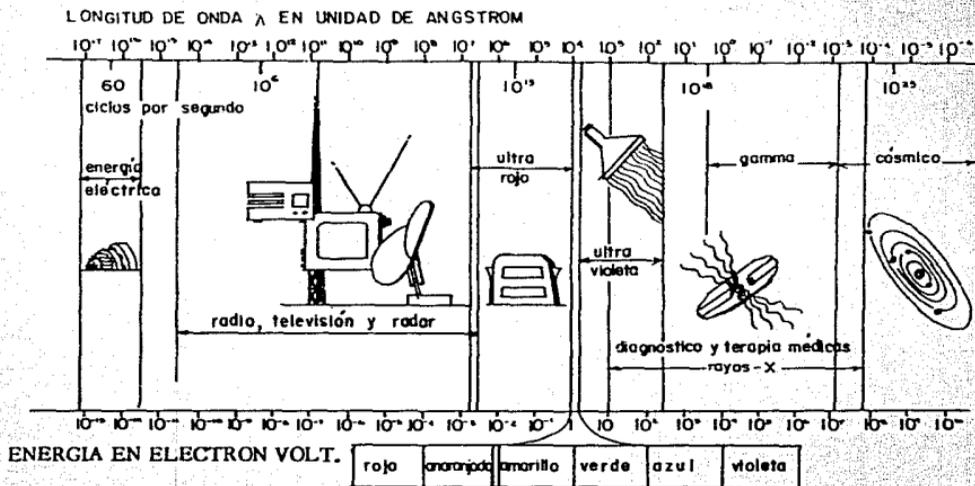


FIGURA No. 1

ESPECTRO ELECTROMAGNETICO

B). - PARTICULAS.

a. - Radiaciones Alfa.

Son partículas con una masa relativamente grande, compuestas por dos protones y dos neutrones, con un número de masa de 4 y carga positiva de 2, siendo idénticas al núcleo de helio.

Se producen por la desintegración espontánea de algunos elementos radiactivos naturales, así como por algunos radioisótopos y elementos artificiales como el plutonio. Los principales emisores naturales de rayos alfa, son el radio, radio C, radón, polonio y el torio.

Las partículas alfa, se mueven en general a una velocidad del orden de 13, 800 a 20, 000 Km/seg. Debido a sus características solo pueden viajar de 3 a 7 centímetros a través del aire a penetrar alrededor de 0.007 - centímetros en los tejidos humanos, y pueden ser detenidas hasta por una hoja de papel. Por tanto, las partículas alfa, no causan grandes problemas, al menos que el material emisor sea ingerido o inhalado y se fije en el organismo. (3)

b. - Radiaciones Beta,

Son más pequeñas que las alfa, aproximadamente unas 8000 veces, poseen carga eléctrica negativa. Debido a la alta velocidad con que pueden moverse, generalmente superior a la velocidad de las partículas alfa, a su tamaño y carga relativamente pequeña, son más penetrantes que las alfa y de hecho algunas de éstas pueden viajar algunos metros en el aire antes de ser detenidas. (3)

Algunas de éstas partículas, por su velocidad, pueden penetrar la piel de nuestro cuerpo; pero bastarán pocos centímetros de aluminio, madera o vidrio, para detenerlas totalmente. Por lo que el daño a nuestro organismo dependerá en forma directa, de la cantidad de material radiactivo presente. (4)

c). - Radiación por Neutrones.

Es probablemente la forma de radiación con mayor utilidad potencial, por su característica de generar, bajo ciertas condiciones nuevos materiales radiactivos. Estas partículas son unas 2 000 veces más grandes que las beta, como su nombre lo sugiere son eléctricamente neutras, es decir no poseen carga eléctrica, algunas de ellas se mueven tan aprisa como los rayos gamma, es difícil detenerlas y pueden atravesar varios centímetros de plomo, sin embargo se ha visto que sustancias ligeras, ricas en hidrógeno, como la parafina y el agua, pueden frenarlas fácilmente. (1)

Una de las formas más comunes de generar neutrones para ciertas radiaciones consiste en someter el elemento llamado berilio a la acción de las partículas alfa de una fuente radiactiva. (4)

d). - Radiaciones por Protones.

Los protones son producidos artificialmente por aceleradores de partículas como el ciclotrón, el generador de Van de Graaf. Son idénticos a los núcleos de hidrógeno. De ahí que sus propiedades sean intermedias entre las partículas alfa y los rayos beta, en los que se refiere a la penetración en la materia; Difícilmente llegan los protones a constituir un

riesgo biológico. (5)

4. - UNIDADES.

Las ondas de radar, la luz infrarroja y la radiación ultravioleta, se expresan en términos de la energía incidente por unidad de superficie y por unidad de tiempo. Usualmente se emplea como unidad el microwatt por centímetro cuadrado (mwatt/cm^2).

Las radiaciones ionizantes se expresan en términos de la energía absorbida por unidad de peso del material de interés como son: El Roentgen (R) es una unidad de exposición a la radiación X o gamma. La exposición de 1R es cuando la ionización producida da lugar a 2.58×10^{-4} Coul./Kg. de aire.

El Rad es la unidad de dosis absorbida por los materiales en base a la energía transferida por la radiación.

1 Rad = 100 ergios/gramo de material, esta unidad se puede emplear independiente del tipo de radiación de que se trate, a diferencia del Roentgen que sólo es aplicable a los rayos X y gamma. (6)

Sin embargo para tomar en cuenta la diferente eficacia de los distintos tipos de radiaciones, se ha introducido una nueva unidad llamada REM, se define de la siguiente manera.

Dosis en REM = (EBR) (dosis en RAD).

El EBR, es un factor que se ha fijado para cada tipo de radiación y se define como la efectividad biológica relativa. También se puede definir el REM, como una dosis de cualquier tipo de radiación que produce en un

tejido un efecto igual al producido por un Roentgen de radiación, electromagnética (X, gamma).

El valor de EBR, ha sido determinado por medios empíricos para ondas y partículas de interés por lo que se mencionan algunos de ellos en la siguiente tabla: (5).

VALORES DE EFICIENCIA BIOLÓGICA RELATIVA (EBR)	
<u>TIPO DE RADIACION</u>	<u>EBR</u>
Rayos X	1
Rayos Gamma	1
Partículas Beta	1
Neutrones Lentos	5
Partículas Alfa	10
Protones	10
Neutrones Rápidos	10
Núcleos Pesados,	20

II). - "CAPITULO II"

1. - DETECCION Y MEDIDA DE LA RADIACION.

Los sentidos del hombre, por sí solos, no son capaces de determinar la existencia de la radiación, por lo que es necesario la ayuda de aparatos especiales para detectarla y medirla, aprovechando los efectos físicos, químicos y eléctricos que la radiación produce en los materiales.

En igual forma que se usan balanzas de precisión para pesar sustancias o compuestos químicos, con aproximación hasta de 0.0001 gr; en la medida de la radiación se tienen aparatos tan sensibles que son capaces de registrar una sola desintegración o emisión de partículas o rayos.

Los aparatos usados para medir las radiaciones se pueden dividir, de acuerdo con su uso, en dos grupos principales que son:

- a). - Instrumentos que sirven para valuar los niveles de radiación en una área de trabajo.
- b). - Instrumentos usados para determinar la cantidad de radiación que recibe cada operador; también llamados de Control Individual.

Estos últimos instrumentos son de dimensiones tales que el personal puede portarlos permanentemente consigo sin molestias y sin que dificulten el desempeño de su trabajo; además están diseñados para medir la exposición total acumulada en unidades que pueden relacionarse fácilmente con la dosis de radiación absorbida, este grupo lo componen los siguientes:

Dosímetros de Bolsillo Tipo Película fotográfica.

Dosímetros de Bolsillo Tipo Cámara de Ionización.

En el grupo enunciado en primer término (Inciso a), o sea aparatos de control no individual, como los usados para determinar las actividades de una muestra de material radiactivo o medir el nivel de radiación existente en un laboratorio, etc. Generalmente vienen diseñados para medir - desintegraciones por minuto, es decir, unidades relacionadas con el curie, o para medir Roentgen por hora, o sea, unidades de exposición a la radiación; en esta clase se agrupan los siguientes:

Cámara de Ionización.

Detector Geiger-Müller.

Detector Proporcional.

Detector Cherenkov.

Detector de Centelleo.

Materiales Radiofotoluminiscentes.

Existen también los instrumentos de visualización de trazo que registran la trayectoria de las partículas ionizantes individuales. En este grupo se hallan:

Cámara de Niebla.

Cámara de Burbuja.

Cámara de Chispa.

Cámara de Centelleo.

Emulsiones Nucleares o Ionográficas. (7)

Uno de los efectos de la radiación más comunmente aprovechados para su detección, es la ionización que causan las partículas alfa y beta al

atravesar los gases que los rodean, haciéndolas así eléctricamente conductores.

Este principio lo utilizan la cámara de ionización, el detector proporcional y el detector Geiger Muller.

Ciertos cristales, como el yoduro de sodio activado con talio, lanzan destellos de luz visible, cuando incide en ellos la radiación; dichos cristales se utilizan en los detectores de centelleo.

La radiofotoluminiscencia es una propiedad que tienen algunos materiales de fluorecer bajo la luz ultravioleta, después de haber sido expuestos a la radiación, en una región espectral diferente.

Todos estos instrumentos están complementados con una serie de circuitos eléctricos, amplificadores, medidores y carátulas, en donde se indica el resultado de la medida de la radiación. (3)

A continuación se mencionarán algunos de estos aparatos con más detalle.

INSTRUMENTOS QUE SIRVEN PARA EVALUAR LOS NIVELES DE RADIACION EN UNA AREA DE TRABAJO.

A). - CAMARA DE IONIZACION.

Descripción. - Una cámara de ionización es un recinto que contiene dos piezas metálicas aisladas del mismo; una está conectada a una tensión positiva y la otra a una tensión negativa. (Véase figura No. 2). El gas que se encuentra entre los electrodos sirve de aislante. Puede ser simplemente aire seco, gases raros, o mezclas gaseosas.

Entre ambos electrodos, la diferencia de potencial crea un campo eléctrico y toda carga colocada en ese campo tenderá a desplazarse. Una carga positiva se dirigirá hacia el electrado negativo y una carga negativa recorrerá el trayecto opuesto. Si en ese espacio, una fuente radiactiva - emite radiaciones nucleares, el frenamiento de dichas radiaciones en el gas produce la ionización de las moléculas, es decir, la creación de pares de iones, un electrón (carga negativa) y un ión con carga positiva.

En el campo eléctrico, los dos iones de signos distintos, migrarán en sentido opuesto y serán recogidos por cada uno de los electrodos. Este pa saje será equivalente a una corriente eléctrica. El gas ya no será aislante perfecto. Si se toma la precaución de instalar el circuito eléctrico, que - crea la diferencia de potencial entre los dos electrodos, un aparato de me dición de corriente muy sensible, se podrá observar el paso de corriente - cuando el número de iones producidos sea suficiente.

Existe un gran número de aparatos basados en este principio, que - difieren en el método de lectura del conjunto de cargas eléctricas. Por con siguente, es preciso recordar que la carga de un ion es de 1.6×10^{-14} cou lumbs. Un rayo alfa de polonio da origen en todo su recorrido cerca de -- 150,000 pares de iones, correspondientes a una carga de 5×10^{-14} cou-- lumbs. Por ello, los aparatos de detección deben ser muy sensibles. (8)

Las cámaras de ionización deben ser aptas, en especial, para las partículas alfa. Se coloca la fuente en el recinto mismo. Aunque se usan también las cámaras de ionización para detectar los rayos gamma y beta.

Cuanto más grande sea la cámara, más sensible será el aparato y mayor el voltaje necesario para la operación adecuada.

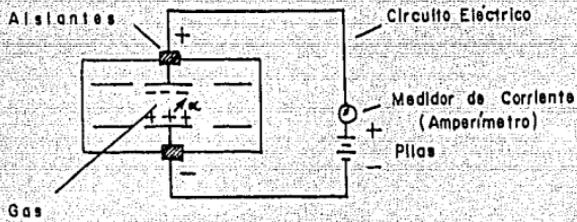


Figura No. 2

Principio de la Cámara de Ionización

Operación:

La mayoría de las cámaras de ionización destinadas a la inspección cuentan con un interruptor selector marcado con "Off" "Wait" y XI, X10, - X100. Cuando el interruptor está en "Off", las baterías están desconectadas, el medidor está en corto circuito y no trabaja el instrumento.



Figura No. 3

Modelo de la Cámara de Ionización

Con el interruptor en "Wait" las baterías están conectadas y se calienta el circuito; el instrumento se puede ajustar en cero después de un tiempo de calentamiento que varía entre 1 a 5 minutos. Algunos instrumentos tienen la posición cero en el medidor el cual está conectado mientras que la cámara de ionización no lo está, lo que posibilita el ajuste del me-

didor en cero aún en presencia de la radiación.

La cámara de ionización no se agota o sufre cambios en sus características. Sin embargo, el circuito de la cámara de ionización de estos instrumentos de inspección tienen muchos elementos fáciles de desajustar si no se manipulan en una forma adecuada.

Como no se emplean audífonos en esta clase de aparatos, el operador tiene que mirar en forma constante el indicador de lecturas para determinar exactamente la intensidad del campo. Hay un retardo en el tiempo mientras la radiación instantánea ingresa a la cámara y el indicador de lecturas señala la intensidad máxima del campo. Por ello se recomienda dar cierto margen de tiempo (diez segundos) al indicador para que logre su posición máxima antes de efectuar la lectura.

Usos:

En los trabajos de inspección de rayos X, los instrumentos del tipo cámara de ionización son muy útiles para medir la intensidad de exposición. Este tipo de cámara se emplea ampliamente para reconocer betas y gammas y cuando se le modifica en forma adecuada, se puede utilizar para el monitoreo de neutrones. (9)

B). - DETECTOR GEIGER-MULLER.

Descripción: Es una cámara de ionización que funciona de manera algo especial y se utiliza para las mediciones de intensidad relativa de radiación beta y gamma. (8)

Los elementos principales del detector portátil Geiger-Muller son:

1. - El tubo Geiger-Muller y su cubierta.
2. - El circuito electrónico.
3. - El mecanismo indicador.

El tubo Geiger Muller es, en esencia, un tubo de vidrio lleno de un gas inerte a presión menor que la atmosférica. El gas, generalmente argón, produce pares iónicos (al ser irradiado). La pared del tubo, la hace de cátodo y el alambre que atraviesa el eje del tubo, de ánodo (véase figura No. 4). (9)

Entre el gas y los electrodos existe un potencial eléctrico muy elevado. Al incidir la radiación sobre este tubo Geiger, se ioniza el gas que se encuentra dentro del mismo y los iones producidos son atraídos por los electrodos. Estos iones en su viaje hacia los electrodos ionizan por colisión la totalidad de la molécula del gas, produciéndose inmediatamente después una carga eléctrica, a este fenómeno se le conoce como la producción de un pulso.

El circuito eléctrico asociado al tubo, cuenta el número de pulsos y es directamente proporcional a la cantidad de radiación que incide sobre el tubo, la escala del aparato está calibrada en unidades adecuadas para la medición de radiaciones (microamperímetro). (10)

El mecanismo indicador en la mayoría de los detectores Geiger es doble; audífonos para la señal audible y el medidor para hacer las lecturas. Los medidores son, en realidad, microamperímetros que indican en una escala la intensidad de radiación mediante una aguja. La aguja oscila ligeramente, por lo que debe emplearse la lectura media. (9)

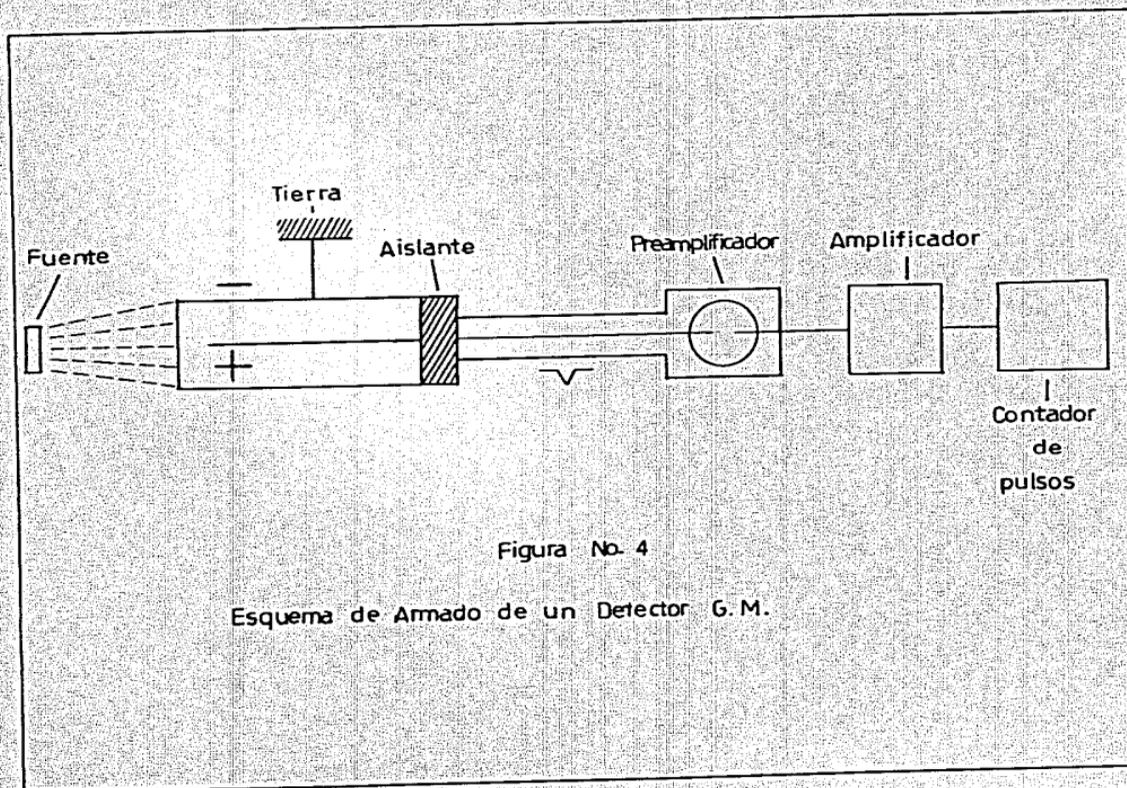


Figura No. 4

Esquema de Armado de un Detector G. M.

Operación:

El funcionamiento del instrumento Geiger Müller de Inspección es, en esencia, igual al de una cámara de ionización. El periodo de calentamiento es mucho menos crítico y toma generalmente de 5 a 10 segundos.

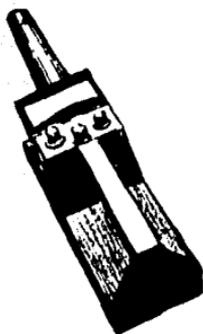


Figura No. 5

Modelo de Detector Geiger-Müller

Debemos de no sobrepasar la capacidad máxima de los instrumentos de detección Geiger, ya que tiene la desventaja, que a niveles de exposición muy elevados se paraliza el detector dando una lectura de cero.

Usos:

Los instrumentos de detección Geiger Müller son útiles para la inspección de bajos niveles de radiación beta y gamma. Su elevada sensibilidad los hace especialmente apropiados para el monitoreaje de la contaminación y para ubicar fuentes extraviadas. En este sentido, los audífonos

de que están provistos son de gran utilidad para el Inspector, ya que éste - no está obligado a mirar continuamente la escala del medidor a fin de conocer la respuesta. (9)

C). - DETECTOR DE CENTELLEO.

Descripción: Los detectores de centelleo se basan en los destellos que se producen cuando la radiación interacciona con materiales fluorescentes. Los centelleos producidos en el material fluorescente o el cristal, son transformados por un tubo fotomultiplicador en pulsos eléctricos, que pueden ser amplificados y registrados por un microamperímetro u otro aparato indicador de corriente adecuada (véase figura No. 6). El número de pulsos recibidos por unidad de tiempo, es proporcional a la intensidad de la radiación.

Estos instrumentos cuentan con cuatro partes fundamentales;

1. - Centellador,
2. - Tubo Fotomultiplicador.
3. - Circuito Electrónico,
4. - Mecanismo del Indicador.

El centellador puede ser líquido o sólido cristalino. En el trabajo de Inspección se prefiere el cristalino. Cuando deseamos detectar la radiación gamma emplearemos un cristal de yoduro de sodio.

El tubo fotomultiplicador recoge los destellos de luz del material fluorescente y convierte estos destellos en impulsos eléctricos. El fotomultiplicador consta de una pantalla sensible que emite electrones cuando

la luz incide sobre ella.

El circuito electrónico sirve para mantener el voltaje a lo largo de los elementos del tubo fotomultiplicador y para amplificar los pulsos de corriente del tubo fotomultiplicador a una magnitud lo suficientemente grande como para ser leída en un mecanismo indicador. El mecanismo indicador puede ser tanto un microamperímetro, un juego de audífonos, o ambos. La calibración del aparato puede hacerse en impulsos/minuto. (9)

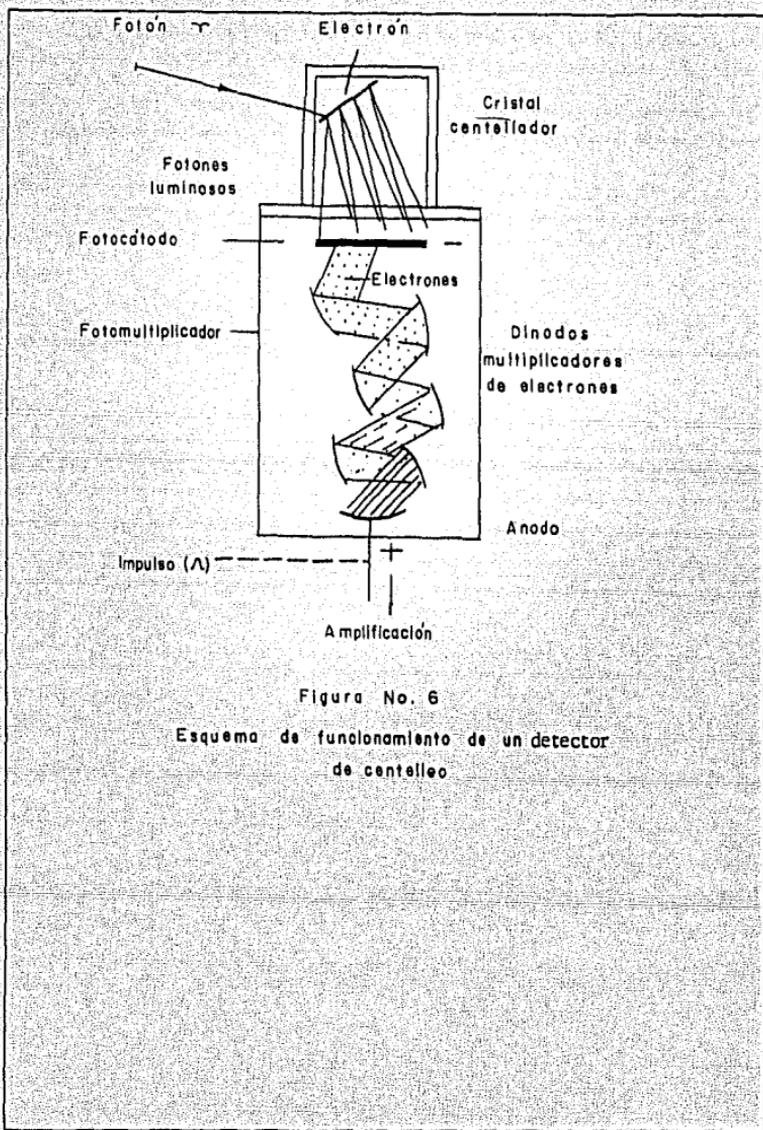


Figura No. 6

Esquema de funcionamiento de un detector de centelleo

Operación:

Es similar a la de las Cámaras de Ionización y a los Instrumentos-Gelger Müller. Es importante señalar que el tubo fotomultiplicador puede dañarse si se expone a la luz sin haber antes procedido a cortar el voltaje que se aplica al tubo.

Tiene un intervalo de medida entre 0.01 Mr/h a 1.0 Mr/h.

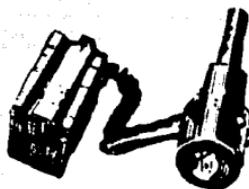


Figura No. 7

Modelo de Detector de Centelleo**Usos:**

Estos aparatos se pueden utilizar para detectar partículas alfa, beta, rayos gamma, rayos X o neutrones, si se coloca el centellador adecuado en contacto con el tubo fotomultiplicador.

Estos detectores son mucho más sensibles que los Detectores Gelger Müller, especialmente a la radiación gamma y neutrones.

Este tipo de aparato es mucho más caro que el tipo Gelger Müller

y cámaras de ionización. (9)

INSTRUMENTOS PARA LA VIGILANCIA INDIVIDUAL

D). - DOSIMETRO DE BOLSILLO TIPO CAMARA DE IONIZACION.

Descripción: - Como ya se ha mencionado anteriormente este tipo de aparato sirve para medir la exposición total de radiación gamma a que un individuo está expuesto. Es del tamaño aproximado de una pluma estilográfica, la cual se puede llevar en el bolsillo; se muestran detalles del mismo en la figura No. 8.

Fundamentalmente consiste de una cámara de ionización que contiene dos electrodos, uno de los cuales es un lazo de fibra de cuarzo que puede moverse con respecto a su montura. Es decir que el movimiento de esta fibra, se origina a medida que los iones descargan el electroscopio, lo que se observa por medio de un microscopio incorporado y una redícula calibrada ordinariamente en millirontgens, que coincide con la imagen real en el microscopio. (1)

Este tipo de instrumentos se fabrican de tal manera que puedan registrar cualquier actividad desarrollada en el trabajo por la persona que lo utiliza.

La ventaja más importante de esta clase de instrumentos se halla en su lectura, que puede hacerse en cualquier momento y sin ayuda de otros aparatos. (9)

Operación:

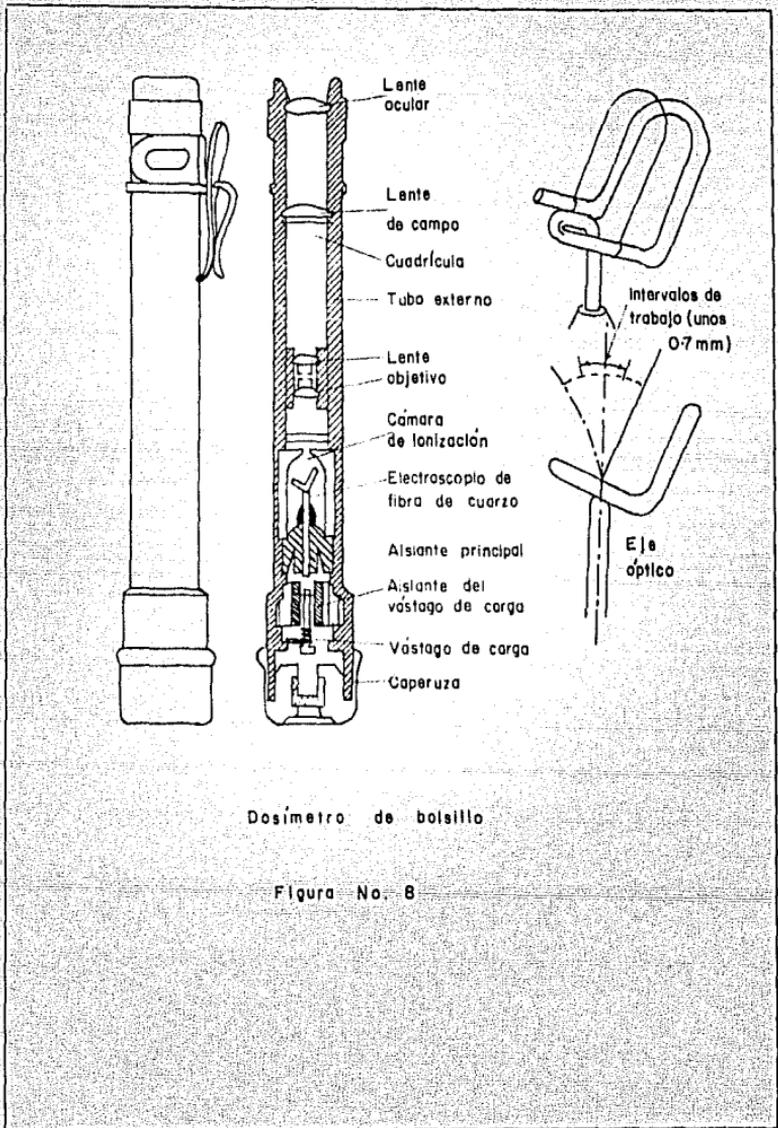
Para leer el instrumento sólo se necesita aplicar el ojo al extremo

correspondiente y apuntar el otro hacia una ventana o lámpara.

Para poner el dosímetro en condiciones de funcionamiento, se conecta a una fuente de corriente continua; para cargar el electroscopio positivamente hasta que la fibra aparece sobre cero de la retícula, lo que requiere ordinariamente de unos 300 volts.

Los rayos X de baja energía y las partículas alfa y beta no son capaces de atravesar las paredes metálicas del instrumento, y, por tanto, éste aparato no los registra.

Su intervalo de medida varía, siendo la más común de 0 a 200 Mr. y de 0 a 300 Mr. (los hay hasta de 0 a 200 R). (10)



Dosímetro de bolsillo

Figura No. 8

E). - DOSIMETRO DE BOLSILLO TIPO PELICULA FOTOGRAFICA.

Descripción: En las películas fotográficas usadas en los dosímetros se aprovecha la acción de la radiación sobre dicha película. Es decir que en esta clase de detectores se utiliza el ennegrecimiento que sufre la placa fotográfica cuando se somete a cierta cantidad de radiación; El grado de ennegrecimiento es proporcional a la cantidad de radiación que llegó hasta la placa fotográfica (véase figura No. 9).

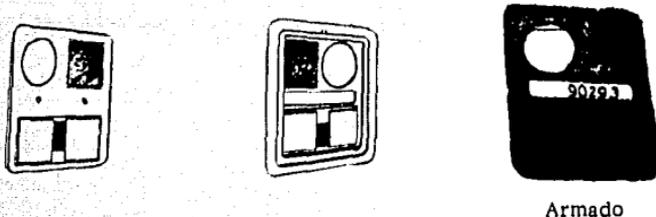


Figura No. 9

Dosímetro de Bolsillo
Tipo Película Fotográfica.

Cubriendo la placa fotográfica con diferentes espesores de diferentes materiales y utilizando el hecho de que el ennegrecimiento depende también de la energía de la radiación incidente, se puede llegar a evaluar no sólo la cantidad de radiación recibida por el individuo, sino también se puede conocer el tipo de esa radiación.

Con este tipo de dosímetro de bolsillo es posible cuantificar radiaciones beta y gamma. El intervalo de medida de ellos es de 20 Mr hasta 200 R. (10)

Estos dos tipos de instrumentos de control individual (Cámara de ionización y Película Fotográfica), se deben llevar en la zona pectoral, pues estudios al respecto han demostrado que esta localización da la mejor idea sobre la cantidad de radiación recibida por el individuo. (20)

Ahora bien, es importante establecer las ventajas y desventajas -- que presenta el uso de cada uno de los dos últimos instrumentos descritos.

El dosímetro de bolsillo de tipo Cámara de ionización permite una evaluación inmediata de la cantidad de radiación recibida por el portador del mismo. En cambio con el sistema de placas fotográficas habrá que esperar hasta que un laboratorio especializado revele la placa y la evalúe.

El dosímetro de bolsillo de tipo cámara de ionización pierde para siempre la lectura que marcaba cuando se le recarga para ser usado nuevamente.

Con el sistema de placa fotográfica siempre quedará una prueba de la cantidad de radiación recibida por el portador. (10)

Recuerde que es una sabia medida el verificar el buen funcionamiento de los instrumentos antes de utilizarlos y que es recomendable -- que por lo menos una vez por año, se les someta a una revisión y sean calibrados por una institución que posea los patrones adecuados.

Hasta aquí se han mencionado algunos de los instrumentos más utilizados para la medición de la radiación. Cada persona debe seguir las instrucciones del fabricante o de la literatura al respecto ya que día a día

se mejoran estos equipos y se diseñan otros nuevos.

III). - "CAPITULO III"

1. - EFFECTOS BIOLÓGICOS.

Durante varias décadas se ha sabido que las radiaciones ionizantes dañan los tejidos del cuerpo humano. Son peligrosas por varias razones. No tenemos órganos sensoriales que nos indiquen cuando estamos siendo irradiados; el daño puede ocurrir por fuentes de radiación desde fuera del cuerpo y desde dentro. Los efectos no aparecen inmediatamente, sino después de un período de tiempo, a menudo de años.

Como ejemplo de esto es: Si la mano toca un objeto caliente, los nervios nos indican inmediatamente lo que ha sucedido y retiramos la mano para evitar un daño posterior. La lesión es inmediata y obvia, por tanto se puede aplicar un tratamiento apropiado; y sabemos que sólo nos podemos quemar con objetos calientes fuera de nuestro cuerpo. En contraste, no sentimos nada al recibir una gran dosis de radiación de una fuente radiactiva, los tejidos pueden no mostrar lesión en días e incluso puede que no conozcamos si la fuente estaba dentro o fuera de nuestro cuerpo. Por ello, las sustancias radiactivas son potencialmente más peligrosas que los venenos corrientes y es obvio que se necesitan medidas estrictas de control.

Los efectos biológicos son de dos tipos:

1. - El efecto somático que llega a la muerte celular, sea de una célula corporal o de una célula germinal.
2. - El efecto genético, que se caracteriza por un aumento en las mutaciones tanto de las células corporales como de las células germinales. Este efecto es acumulable cuando se suman los su

cesivos brotes de las mutaciones producidas por la falta de recuperación cromosómica. El riesgo para el individuo mismo - como para su descendencia consiste en que aumenta el número de genes dañinos que existen normalmente y aumenta, por tanto la probabilidad de presentarse lesiones degenerativas.

La mayor parte de la información sobre el efecto biológico que causan las radiaciones ha sido en base a un estudio de:

- a). - Pacientes que recibieron grandes dosis de rayos X o radio con fines terapéuticos.
- b). - Trabajadores en la industria de energía atómica que llegaron a estar expuestos por accidente a grandes dosis de radiación.
- c). - Trabajadores de la industria de luminiscentes, como son las pinturas luminosas que contienen radio.
- d). - Los accidentes ocurridos en Japón por la explosión de las primeras bombas atómicas en 1945. (1)

Por tanto, sólo se ha adquirido una fracción del conocimiento que se necesita para evaluar el riesgo radiológico, y, por ello, cualquier dosis - de radiación por pequeña que sea es potencialmente peligrosa.

Se han llevado a cabo algunas investigaciones más fomentadas sobre el efecto que causa cualquier tipo de radiación en los tejidos y el resultado ha sido de que: todas las células son afectadas directamente, aunque el mecanismo por el que éste ocurre no se conoce plenamente.

Estas células de los tejidos al desarrollar sus funciones especiales

han perdido, al menos en parte, su poder de multiplicarse algunas de ellas, la piel donde existe considerable desgaste y erosión, las células de reproducción que retienen su poder regenerativo completamente. Por tanto, los tejidos que se dividen activamente están propensos a sufrir mayor daño, es decir, son más radiosensibles y en éstos se incluye la médula del hueso, los órganos de reproducción y el recubrimiento interno del estómago e intestinos. (3)

Los menos sensibles son los vasos sanguíneos, músculos, cerebro y células nerviosas.

El efecto producido por la radiación en el cuerpo depende del área irradiada. Si la fuente es externa al cuerpo o está circulando en la sangre, el área puede ser el cuerpo entero y éste es el caso más frecuente, aunque una persona que trabaje con rayos X es más probable que tenga sus manos, cabeza y piernas más afectadas que cualquier otra parte.

También se ha demostrado que células jóvenes, y en general los tejidos en crecimiento, son más vulnerables bajo ciertas condiciones son susceptibles de sufrir deformaciones que dificulten su desarrollo normal. Por esta razón, se recomienda que ninguna persona menor de 18 años de edad trabaje con materiales o equipos emisores de radiaciones.

El siguiente cuadro menciona los efectos biológicos causados por radiaciones en una forma más específica. (5)

EFECTOS BIOLÓGICOS DE DOSIS CRECIENTE DE IRRADIACIÓN AGUDA

DOSIS EN (REM)	EFECTOS BIOLÓGICOS PROBABLES
0 - 50	No hay efecto claro.
80 - 120	Vómitos y náuseas de 5 a 10 % del personal; fatiga pero sin incapacidad seria.
130 - 170	Vómitos y náuseas seguidos de otros síntomas del síndrome de irradiación aguda en 25 % del personal. No se anticipan casos fatales.
180 - 220	Vómitos y náuseas en 50 % de los casos, seguidos de otros síntomas del síndrome de irradiación aguda; No se anticipan muertes.
270 - 330	Vómitos y náuseas casi sin excepción, seguido de otros síntomas del síndrome de irradiación aguda; 20 % de fallecimientos dentro de la primera, segunda y sexta semana; los sobrevivientes convalecen durante 3 meses.
400 - 500	Vómitos, náuseas en todos los casos seguidos de otros síntomas del síndrome de irradiación aguda; 50 % de muertes el primer mes; los sobrevivientes convalecen durante seis meses.
550 - 750	Vómitos y náuseas sin excepción a las pocas horas después de la exposición; casi el 100 % de fallecimientos.
1000	Vómitos y náuseas dentro de las dos primeras horas posteriores a la irradiación; casi no hay sobrevivientes.
5000	Incapacitación inmediata; todos los casos son fatales en la primera semana.

Con objeto de evitar la irradiación interna, se han fijado las cantidades máximas de cada isótopo radiactivo que son permisibles en el organismo. En los casos de irradiación externa, se puede afirmar que los efec

tos biológicos de las diversas partículas y radiaciones, para la misma -- cantidad de energía absorbida, son de magnitud descendente según la lista siguiente:

Partículas alfa.

Neutrones rápidos.

Neutrones lentos.

Partículas beta.

Radiaciones gamma y rayos X.

En los casos de irradiación interna, las partículas alfa son mucho más peligrosas, siguiéndoles en nivel de peligrosidad, las partículas beta y, finalmente las radiaciones gamma; a acción total sobre el organismo, - en estos casos, depende además de la vida media del contaminante y de la rapidez con que el organismo puede eliminarlo. (3)

En resumen, la sobreexposición a una radiación ionizante, puede producir uno o más de los siguientes daños:

- a). - Daño a los tejidos superficiales.
- b). - Efectos en el organismo, particularmente en la sangre y los órganos que la producen, por ejemplo: Anemia y Leucemia.
- c). - Provocación de tumores malignos.
- d). - Otros efectos perjudiciales, incluyendo cataratas, fecundidad disminuida y acortamiento del lapso de vida.
- e). - Efectos Genéticos. (4)

A). - DOSIS MÁXIMA PERMISIBLE Y CONCENTRACION MÁXIMA PERMISIBLE.

Se ha logrado demostrar mediante investigaciones con animales a nivel laboratorio, que cierta intensidad de radiación es capaz de provocar alguna lesión biológica dependiendo de la cantidad de irradiación recibida, e igual conclusión surge en los casos de irradiación en seres humanos. --

(12)

Sin embargo, la necesidad de trabajar con aparatos generadores de radiaciones y la necesidad de manejar materiales radiactivos obligó a adoptar un criterio a fin de determinar una dosis máxima permisible. Este criterio fue el de fijar una dosis máxima debajo de la cual es improbable que se originen lesiones biológicas significativas y que se estime que es compatible con los numerosos y evidentes beneficios de las aplicaciones de las radiaciones. (19)

La dosis máxima permisible, así como las concentraciones máximas permisibles en aire y agua, se han fijado para dos grupos:

1. - La población expuesta por razones profesionales, que en número constituye un grupo muy reducido.
2. - La población en general.

La dosis máxima permisible acumulada en trabajadores se rige por la fórmula:

$$D. M. P. \text{ Acumulada} = 5 (N-18) \text{ Rems.}$$

Siendo N la edad de la persona en años.

El siguiente cuadro muestra las dosis máximas permisibles (D.M.P.) en REM de regiones irradiadas, para cada órgano.

PERIODO CONSIDERADO	CUERPO COMPLETO, ORGÁNOS, OJOS Y TRONCO, (REM)	PIEL DEL CUERPO ENTERO. (REM)	MANOS, PIES, ANTEBRAZOS Y TOBILLOS. (REM)
Máximo Anual	15	30	75
Máximo Trimestral	8	15	40

Estas dosis Máximas Permisibles se han tomado de recomendaciones de la Comisión Internacional de Protección Radiológica C. I. P. R.

Siempre que la dosis total recibida en un año no exceda de 5 REM en los trabajadores, podrán recibir en un trimestre una dosis no superior a 3 REM. En todo el organismo, las gónadas y la médula ósea. La dosis de 3 REM podrá recibirse una sola vez en el periodo de tiempo indicado, pero ello se evitará en la medida de lo posible.

Toda mujer que se encuentre embarazada deberá trabajar solo en condiciones tales, que la irradiación no exceda de 1 REM, por trimestre.

Cuando se ignore la dosis acumulada por el trabajador en su ocupación durante un periodo dado, se partirá del supuesto de que cada año de dicho periodo ha recibido la dosis máxima permisible que actualmente se recomienda.

Los trabajadores cuya exposición se haya venido ajustando a las anteriores recomendaciones de la C.I.P.R., que consideran una dosis máxima permisible de 0.3 REM semanales, y que hayan acumulado una dosis superior determinada por la fórmula, no deberán quedar expuestos a dosis superiores, a 5 REM anuales hasta que la dosis acumulada en un momento dado resulte inferior a la determinada por la fórmula. Si por su ocupación un trabajador quedase expuesto a las radiaciones antes de alcanzar la edad de 18 años, la dosis en todo el organismo, las gónadas y la médula ósea roja no deberá exceder de 5 REM. anuales, hasta la edad de 18 años, y la dosis acumulada hasta los 30 años no deberá ser superior a 60 REM.

La dosis límite para la población en general se reducirá al mínimo posible y no excederá de 5 REM durante un período de 30 años. (13)

VALORES DEL FACTOR DE CALIDAD (FC) UTILIZADOS PARA
DETERMINAR LOS EQUIVALENTES DE DOSIS.

R A D I A C I O N	F C
Rayos X, rayos gamma, electrones y rayos beta.	
a), - Superior a 30 Kev - - - - -	1.0
b), - Inferior a 30 Kev - - - - -	1.7
Neutrones rápidos y protones - - - - -	10
Partículas alfa emitidas en la desintegración natural - - - - -	10
Núcleos de retroceso pesado - - - - -	20

- a). - Estos valores de FC se han elegido especialmente para definir la dosis máxima permisible.
- b). - En caso de irradiación del cristalino con radiaciones corpusculares, puede ser necesario aplicar otro factor modificativo que será 3 si FC es mayor o igual que 10, pero debe ser 1 - - cuando FC vale 1. Los valores del factor modificativo que proceda a utilizar para valores de FC comprendidos entre 1 y 10- pueden obtenerse por interpolación.
- c). - Cuando la energía neutrónica o protónica se defina con mayor precisión, se podrán utilizar los valores de FC que se indican en los siguientes cuadros:

N E U T R O N E S

E N E R G I A	F C
Térmica.....	3,0
5 Kev.....	2,5
20 Kev.....	5,0
100 kev.....	8,0
500 kev.....	10,0
1 Mev.....	10,5
5 Mev.....	7,0
10 Mev.....	6,5
20 Mev.....	6,0
50 Mev.....	5,2
100 Mev.....	4,7
200 Mev.....	4,0
500 Mev.....	3,5
1000 Mev.....	3,4

P R O T O N E S

ENERGIA EN MEGAELECTRON VOLT (MeV) = 10^6 e. v	F C
50	1.2
100	1.3
200	1.7
300	2.0
500	2.5
700	2.8
1000	3.2

El factor de calidad (FC), es un factor dependiente de la cantidad de energía por el que hay que multiplicar la dosis absorbida para obtener, con fines de protección una cantidad que exprese, en una escala común a todas las radiaciones ionizantes, la dosis recibida por las personas expuestas. Es decir: Dosis en REMS = FC X Dosis en RADS. (13)

P R O T O N E S

ENERGIA EN MEGAELECTRON VOLT (MeV) = 10^6 e.v	F C
50	1.2
100	1.3
200	1.7
300	2.0
500	2.5
700	2.8
1000	3.2

El factor de calidad (FC), es un factor dependiente de la cantidad de energía por el que hay que multiplicar la dosis absorbida para obtener, con fines de protección una cantidad que exprese, en una escala común a todas las radiaciones ionizantes, la dosis recibida por las personas expuestas. Es decir: Dosis en REMS = FC X Dosis en RADS. (13)

IV). - "CAPITULO IV"

I. - USOS GENERALES DE APLICACION INDUSTRIAL.

Las radiaciones ionizantes se usaron por primera vez en los campos de la investigación y la medicina. Su primer uso industrial fue en la luminiscencia. La muerte en 1930 de alrededor de 20 trabajadores que habían trabajado en luminiscencia a partir de 1918, atrajo la atención mundial y puso de relieve los peligros de la irradiación al organismo.

Pero de mayor importancia es el hecho de que el Reactor Nuclear ha proporcionado una gran variedad de isótopos radiactivos en cantidades abundantes y a un costo razonable. Esto ha llevado a una gran expansión en cuanto a su uso, particularmente en la industria y la investigación, siendo sus perspectivas ilimitadas. (4)

Por tanto, el empleo de las radiaciones como herramienta industrial ha alcanzado un alto grado de desarrollo, como por ejemplo los aparatos productores de voltaje, aplicaciones en radiografías y elementos luminiscentes. (9)

Si se tratara de dar una descripción completa de los usos de las radiaciones que tienen en la industria, tan sólo de las radiaciones ionizantes, se requeriría de un espacio muchísimo mayor del que se puede dedicar en este capítulo. Por esta razón se limitará el presente capítulo a mencionar algunos usos más difundidos y a aquellos que poseen características especiales o únicas.

A). - INSPECCION RADIOGRAFICA.

Se emplean en los exámenes radiográficos de vaciados, forjados y partes de metal manufacturados, a fin de detectar fallas, grietas, burbujas

jas, y otros defectos. Los aparatos de rayos X para este propósito pueden ser fijos o móviles. (4)

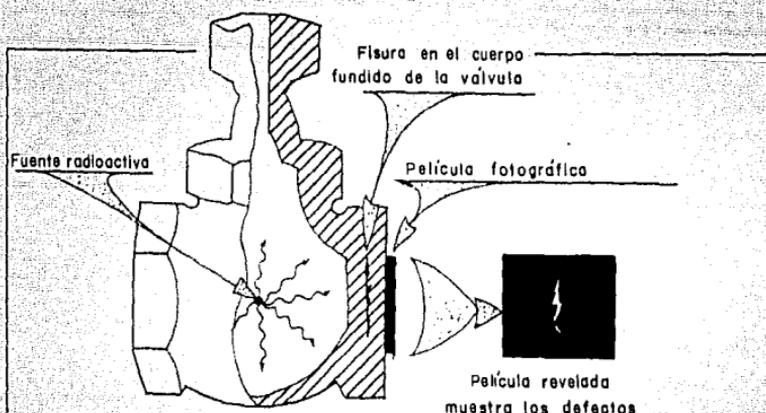
Se empleaba el radio como fuente de radiografías industriales, hoy en día ha sido reemplazado por otros emisores gamma producidos por reactores que son más baratos como son ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{192}Ir , ^{170}Tm . Estas fuentes están seleccionadas de acuerdo al grado de penetración:

OBJETO

ACERO	5-15 cm. de Espesor _____	^{60}Co
	2. 5-10 cm. de Espesor _____	^{137}Cs
	1. 25-6. 25 cm. de Espesor _____	^{192}Ir
	Menos de 0. 32 cm. de Espesor _____	^{170}Tm

Como ejemplo es: examinar una soldadura en una tubería, sólo se necesita enrollar una tira de película fotográfica alrededor de la parte externa de la soldadura, colocar la fuente en el eje de la tubería en el plano de la soldadura y dejarla durante el tiempo de exposición correcto. Cuando éste sea de horas, el ensayo se empieza al anochecer y se completará a la mañana siguiente.

La figura No. 10 muestra un ejemplo más claro para ensayos radiográficos utilizando como fuente radiográfica, cobalto radiactivo, ^{60}Co , (1)



COBALTO RADIOACTIVO ^{60}Co

PARA ENSAYOS RADIOGRAFICOS

VENTAJAS:

1. INSPECCION VERSATIL Y DIGNA DE CONFIANZA
2. INSP. EFECTUADA SIN NECESIDAD DE DESARMAR
3. FUENTES DE DIMENSIONES Y FORMAS DESEADAS
4. FUENTES DE MUY ELEVADA ACTIVIDAD A BAJO COSTO

Figura No. 10

B). - INSPECCION FLUOROSCOPICA.

El fluoroscopio se emplea para inspección de artículos manufacturados, por ejemplo: Bujías, ensambles de válvulas de radio, pelotas de golf, alimentos enlatados o empaquetados, comprobación fluoroscópica del calzado, en inspectoscopios, etc. Siendo el propósito principal comprobar el ajuste o alineación, o bien la existencia de materiales extraños. (4)

Se mencionará con más detalle alguno de estos usos:

a). - Inspectoscopio.

Se emplea un fluoroscopio que irradie todo el cuerpo. Su uso está encaminado a localizar artículos robados, contrabando, armas o instrumentos de sabotaje, transportados por personas que pasan a través de un vestíbulo. El personal de salud pública y otros que conocen los efectos de las radiaciones, están inclinados a ver este aparato muy desfavorablemente. (9)

b). - Comprobación fluoroscópica del calzado.

Este equipo ha llamado mucho la atención como una curiosidad científica y como un aparato promotor de ventas, pero su valor en el "ajuste" del calzado es cuestionable. Hoy en día ha caído en descrédito por ser una fuente innecesaria de exposición y está desapareciendo muy rápidamente de las zapaterías. (9)

C). - INSPECCION CONTINUA Y AUTOMATICA.

a). - Medición de espesores y uniformidad.

Generalmente, en la industria, un fabricante necesita conocer si -

el producto que él está preparando, es del espesor debido y uniforme; por lo que el método se modifica en el sentido de que sólo indique las variaciones del espesor debido. La figura Núm. 11 muestra cómo es el funcionamiento de esto, la hoja de material que viene de la laminadora pasa en una forma continua entre una fuente y un detector. Hay una fuente y un detector similar en el lado opuesto, en el que se encuentra un trozo fijo del mismo material que tiene un espesor patrón (adecuado). Las salidas de los dos detectores alimentan, en direcciones opuestas, un instrumento de cero central, que indicará con su movimiento si el espesor es mayor o menor que el patrón. Si el resultado de la inspección de dicha lámina es defectuosa, ésta se hace pasar a una maquinaria que controla el espesor y así se corrige automáticamente el defecto.

Se usan fuentes beta para materiales delgados, como son por ejemplo: papel, láminas metálicas, láminas de plástico, goma, etc. mientras que se necesitan fuentes gamma para materiales más pesados y gruesos, por ejemplo: acero de 7.5 cm. de espesor. (1)

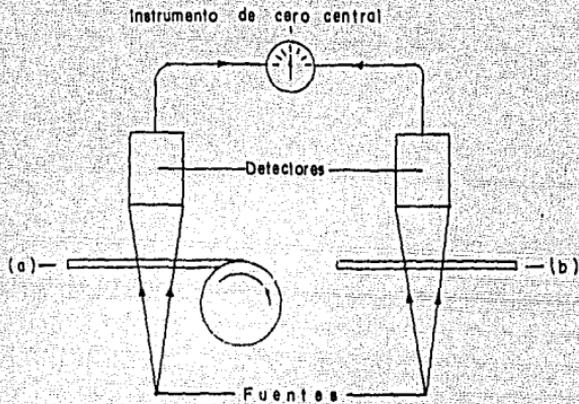
b). - Medición de altura de llenado de líquidos.

Cuando el agua alcanza el nivel de la fuente y del detector, baja bruscamente la corriente en el detector, lo que ocasiona el corte de suministro de agua, manteniéndose así un nivel constante. (Véase Figura No. 12).

Estos medidores son especialmente útiles cuando el líquido es vidrio o hierro fundido, y está contenido en un recipiente cerrado. (1)

c). - Medición de Niveles de llenado de líquidos.

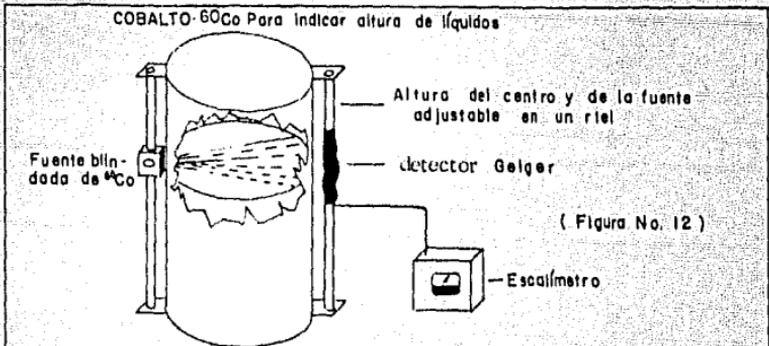
Los envases pasan entre una fuente y un detector. Aquellos que no están llenos hasta un nivel predeterminado permitirán un mayor paso de corriente, lo que hace que un aparato se active y lo extraiga de la faja de transporte. Es decir que los envases llenos absorben más radiaciones -- que los vacíos. Un ejemplo de esto es la inspección de botes de cerveza. - (Véase Figura No. 13). Subiendo la fuente y el detector cerca de la parte superior del envase (bote), la radiación puede indicar si se ha llenado hasta el nivel requerido. (9)



(a) -- Lámina proveniente de la laminadora
(M o v I I).

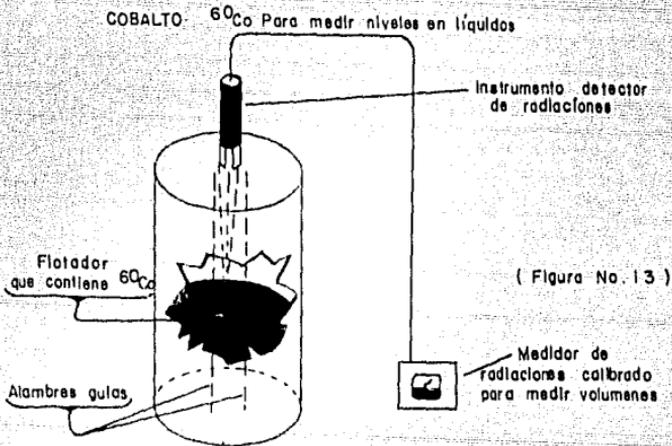
(b) -- Lámina de espesor patrón
(F I j a).

Figura No. 11



Ventajas:

1. El indicador no sufre alteraciones por corrosión ó temperatura
2. Puede ser manejado por personal no técnico
3. Adaptable a registro y control automático del nivel del liq.



Ventajas.

1. Registro continuo
2. Medida en sistema cerrado
3. Adaptable a control automático

D), - ANALISIS.

a), - Difracción de Rayos X.

Los cristales difractan los rayos X; cada material cristalino posee su propio modelo de difracción. Esto nos proporciona un medio de identificación y análisis de los materiales cristalinos.

b), - Determinación de tetraetilo de plomo en la gasolina (4).

E), - MATERIALES AUTOLUMINOSOS.

El radio se usa en las puntas luminosas de las manecillas de relojes. En el pasado se empleaba en casi todos las carátulas de los instrumentos utilizados por la industria aeronáutica, pero por diversas razones se está eliminando. El radio en sí no es autoluminiscente, pero el efecto de la radiación en ciertos materiales produce luz visible. Estos materiales se denominan fósforos.

El polonio y mesotorio se emplean también con los fósforos en la elaboración de pinturas luminosas. (9)

Hoy en día los emisores beta han sustituido el radio en algunas pinturas luminosas.

F), - ELIMINACION DE CORRIENTE ESTÁTICA.

El proceso de materiales no conductores como papel, diversas telas, plásticos, etc., en especial, cuando pasan por rodillos o tambores rotatorios, o por fricción, pueden producir electricidad estática de suficiente intensidad para encender polvos o vapores inflamables, o causar

choques molestos a los trabajadores. Esta electricidad estática puede también entorpecer seriamente las operaciones laborales haciendo que los materiales en movimiento se adhieran a los rodillos, o bien enrede los hilos de la trama y en muchos otros casos.

La carga estática puede ser extraída produciendo aire ionizado cerca de la superficie cargada. Con este fin, el radio y polonio se usan ampliamente. Por tanto, el riesgo que ocurre de salud de quienes atienden las máquinas es muy pequeño, si se observan medidas de seguridad relativamente sencillas. (4)

G). - OTROS USOS.

En el mantenimiento de los oleoductos para el transporte del petróleo y sus derivados, es común el empleo de "diablos" o "raspadores" que se hacen pasar a lo largo de las tuberías, periódicamente, para limpiarlas, detectar sitios de escape, o para extraer el agua introducida durante las pruebas hidrostáticas. Se inyecta en el petróleo una solución de P-dibromobenceno que contiene ^{82}Br (emisor gamma), y se le transporta como tacho de líquido radiactivo que escapa al suelo por los sitios de escape. Siguiéndolo a una distancia de unos 1,600 m. va un raspador, descrito, más adelante, que arrastra detrás una cápsula que contiene un detector geiger que alimenta un registro de alambre, todo ello opera mediante baterías. El raspador se impulsa mediante presión hidráulica. Cuando el detector pasa junto a un escape, se registra su presencia en el alambre. La localización de los escapes se efectúa colocando a intervalos apropiados

pequeñas señales de distancia que contienen ^{60}Co , las cuales también se registran en el alambre. La figura Núm. 14 muestra el fundamento del método. (1)

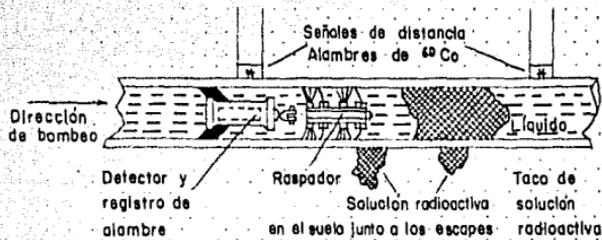
En el raspador, se coloca una fuente radiactiva de cobalto, para rastrearlo fácilmente y localizarlo a lo largo de la tubería con los aparatos apropiados.

Para este fin, en la parte posterior del "raspador", se adapta un pequeño recipiente metálico de resistencia suficiente para que soporte sin dañarse el trato brusco de esta operación; este recipiente se cierra con un tapón metálico roscado que además se asegura con pasadores. (Véase Figura Núm. 15).

La fuente radiactiva se guarda en un contenedor de plomo, transportándola en la parte posterior de un vehículo, hasta la trampa.

El diablo o raspador se coloca en la trampa (dentro de la tubería), en su posición para enviarlo a través de la tubería, con la parte posterior ligeramente salida de ella y el recipiente listo para recibir la fuente radiactiva. Se lleva al contenedor con la fuente hasta el pie de la trampa, el personal se debe retirar de este lugar lo más lejos posible (10 m. como mínimo) y solamente los operadores necesarios y autorizados para ello ejecutarán la maniobra de colocarle la fuente al "diablo". Con este fin, se quita el candado de seguridad del contenedor y se abre éste; la fuente radiactiva se pesca con unas pinzas o tenazas, pero nunca directamente con las manos, para sacarla del contenedor, depositándola en el recipiente del "diablo" e inmediatamente se coloca el tapón que se aprieta firmemente y

se asegura con los pasadores. Una vez cargado el "diablo" con la fuente, se introduce totalmente dentro de la tuberfa y a partir de ese momento el resto del personal puede operar en el área. (3)



Gráfica en papel resultante del registro de alambre

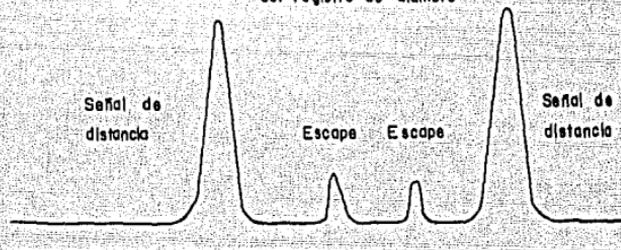
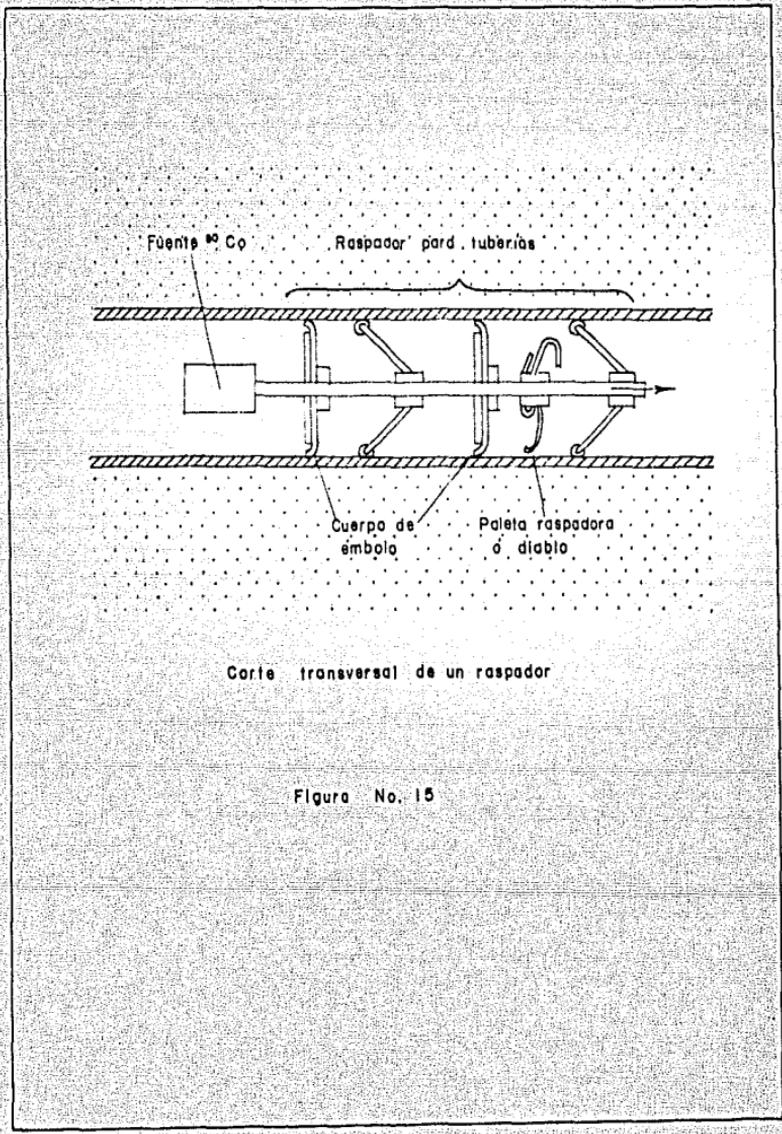


Figura No. 14



Corte transversal de un raspador

Figura No. 15

Espaciadas a lo largo de la tuberfa, a distancias fijadas de antemano, se localizan estaciones de observación con aparatos medidores de radiación para registrar el paso del "diablo", con su fuente.

Puesto que se conoce la velocidad de bombeo se podrá calcular el tiempo que necesita el "diablo" para recorrer una distancia fija y en función del tiempo necesario para el recorrido del "diablo", establecer si se ha quedado detenido, al no llegar alguna de las estaciones de observación. Si esto ocurre, se pasea a lo largo de dicho tramo de tuberfa desde la superficie de la tierra un geiger o aparato similar, que detectará la radiación emitida por la fuente y por consiguiente, localizará el diablo. En estas condiciones se estará en situación de efectuar las maniobras necesarias para desatorar el "diablo" y que continúe su camino.

Al momento de llegar el "diablo" a la trampa de salida, se debe tener un contenedor abierto para guardar la fuente cuando se saque el "diablo" de la tuberfa, siguiendo las medidas de seguridad mencionadas en párrafos anteriores. (1)

Las aplicaciones de materiales y equipo emisor de radiaciones en los laboratorios de la industria petrolera, puede ser de gran importancia en el futuro. Por ejemplo, en la actualidad existen entre otras técnicas, análisis usando materiales radiactivos para la determinación del contenido de azufre, hidrógeno, carbono, etc., la absorción de rayos X se puede emplear para detectar elementos más pesados, como el plomo o el bromo.

Las radiaciones también se pueden aprovechar para iniciar y acelerar reacciones químicas en forma similar a como se emplean las altas temperaturas, altas presiones, catálisis, etc., o en combinación con es-

tos fenómenos, para aumentar la eficiencia de los procesos.

Las aplicaciones pueden ser múltiples y muy variadas, ya que es posible usar prácticamente todos los tipos de radiación (alfa, beta, gamma, X, neutrón, etc.,) y naturalmente las medidas de protección radiológica estarán en función de las características, cantidad, estado físico y forma de aplicación de la fuente radiactiva. (3)

V). - "CAPITULO V"

A). - PROTECCION CONTRA RADIACIONES EXTERNAS.

Los siguientes métodos usados en forma individual o en combinaciones adecuadas, resultan eficaces si se aplican como debe ser:

a). - Alejamiento o distancia.

En general, el enfoque deberá ser de; mantener a todo el personal lo más lejos de la fuente de radiación como sea posible. Los medios comúnmente usados para alejar el personal de las áreas de peligro, son: cubrimiento, barreras y rótulos de advertencia. La eficacia de todos estos procedimientos dependerá en gran parte de que el personal respete las limitaciones puestas en sus desplazamientos.

Desde luego, el apartamiento de donde hay una radiación X sólo es necesario cuando el aparato esté funcionando; pero a menos de que se tomen medidas sumamente estrictas para que nadie se acerque en esos momentos.

Es amplia la gama de energía en las partículas beta procedentes de elementos radiactivos y, por tanto, varía su capacidad de penetración. En la atmósfera es de varios metros como máximo. (4)

Se puede concluir, que la relación existente entre la intensidad de radiación en un punto dado y la distancia de ese punto a la fuente de radiación, sigue la llamada ley del cuadrado inverso, la cual establece; la intensidad es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia. Matemáticamente se tiene:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{d_2^2}{d_1^2}$$

Donde:

I_1 Es la intensidad en el punto 1

d_1 Es la distancia de la fuente al punto 1

I_2 Es la intensidad en el punto 2

d_2 Es la distancia de la fuente al punto 2.

De la fórmula anterior se deduce que si a una distancia determinada de una fuente de radiación existe una intensidad A, al doble de esa distancia se tendrá una intensidad igual a una cuarta parte de A, al triple de esa distancia se tendrá una intensidad igual a una novena parte de A, etc.

(13)

Un ejemplo numérico de lo anterior es:

La cantidad de dosis a 2m. de distancia de una fuente de radiaciones gamma es de 50 mrem/h. ¿A que distancia se recibirá una dosis de 2 mrem/h ?.

Datos: $d_1 = 2 \text{ m.}$

$I_1 = 50 \text{ mrem/h}$

$I_2 = 2 \text{ mrem/h}$

$d_2 = ?.$

Solución de la ecuación:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{d_2^2}{d_1^2}$$

Sustituyendo valores en la ecuación:

$$\frac{50 \text{ mrem/h}}{2 \text{ mrem/h}} = \frac{d_2^2}{(2 \text{ m.})^2}$$

Despejando d_2^2 de la ecuación queda:

$$d_2^2 = \frac{(50) (2 \text{ m.})^2}{2}$$

$$d_2^2 = \frac{(50) (4 \text{ m}^2)}{2}$$

$$d_2^2 = \frac{200 \text{ m}^2}{2} = 100 \text{ m}^2$$

$$d_2^2 = 100 \text{ m}^2$$

$$d_2 = 10 \text{ m}$$

Con este ejemplo queda demostrado de una forma más clara la ley del cuadrado inverso.

b). - Tiempo de exposición.

Es claro que si una persona está poco tiempo expuesta a la radiación, menor será el daño que reciba. Por lo tanto, se tiene que la cantidad de radiación recibida (dosis) es directamente proporcional al tiempo de exposición. (10)

Dosis Total = Rapidez de dosis X tiempo,

Un ejemplo numérico de lo anterior es:

La cantidad de dosis permisible para un trabajador durante un año es de 5 rem, la cual corresponde a casi 100 mrem/semana.

¿Qué tiempo en horas por semana puede permanecer un trabajador en una área donde recibe una cantidad de dosis promedio de 10 mrem/h ?

Datos:

Dosis = 100 mrem/semana

Cantidad de dosis = 10 mrem/h

Tiempo = ?

Solución de la ecuación:

Dosis Total = Rapidez de dosis X tiempo

Sustituyendo valores en la ecuación,

100 mrem/semana = 10 mrem/h X tiempo

Despejando tiempo queda:

$$\text{Tiempo} = \frac{100 \text{ mrem/semana}}{10 \text{ mrem/h}}$$

Tiempo = 10 horas/semana,

Esto nos dice que el trabajador puede permanecer en esa área 10 horas por semana.

c). - Blindaje.

Es una barrera que abarca desde un delgado espesor para detener las partículas alfa y beta, hasta uno de gran espesor, hecho de hormigón

o plomo para protegerse de las radiaciones X y gamma de alta penetración.

La protección de otras zonas ocupadas, contiguas a las instalaciones de rayos X. Puede conseguirse por medio de blindajes o paredes que absorban la radiación. Además, como el costo del blindaje es considerable, será conveniente situar las instalaciones de rayos X a cierta distancia de las zonas ocupadas. Por ejemplo, puede ser económico utilizar un sótano aislado rodeado por todos los lados por paredes o situado en los cielos y que, por consiguiente, sólo necesita blindaje por el techo.

La protección que proporciona el blindaje tiene que ser seguro, por lo que debe prestarse atención a los empalmes, pernos o aberturas, para asegurar el traslape apropiado del material absorbente.

La dotación de blindaje adecuado para radiaciones muy penetrantes a costo mínimo, exige la colaboración de un especialista de gran competencia, el cual necesitará estudiar bien contra qué se va a usar el blindaje, el procedimiento a seguir en cada una de las circunstancias que concurren en su uso. El resultado del estudio que haga será de gran importancia para preparar la serie de prácticas y medidas a aplicar en la seguridad cotidiana.

La forma de prevenir las radiaciones externas radica en el amplio y apropiado blindaje, por lo que se requiere del conocimiento indicado para evitar la radiación al cuerpo, esto conduce a una expresión de tipo exponencial:

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

Siendo I_0 la intensidad inicial (antes de la absorción), I la intensidad final de la radiación una vez que ha sido interpuesto el absorbedor entre la fuente radiactiva y el punto que se desea proteger, x es el espesor del blindaje, b es el factor de incremento en la intensidad de salida, debido a la radiación dispersada por el absorbedor, μ es el coeficiente de absorción lineal que depende de las energías consumidas en cada efecto y del espesor de material en cuestión.

Este modelo de blindaje es el mismo modelo para todo tipo de radiación, excepto para los neutrones, en los que debido a sus características son débilmente absorbidas por la mayoría de los materiales, es por eso que hay que frenarlos con algún material rico en hidrógeno para obtener una absorción más eficiente. (4)

d). - Empleo de radiaciones de mínimo poder de penetración.

Esto es de gran importancia. La variedad de las fuentes es tan grande, que hay mucho de donde escoger según el trabajo de que se trate. Lo primero que hay que atender cuando se hace una selección así, es escoger una fuente cuya radiación tenga la penetración mínima suficiente para el trabajo a efectuar. El mismo principio es aplicable al empleo de aparatos de rayos X. Debido a esto siempre hay que buscar que la intensidad de radiación sea la mínima y a la vez que produzca el resultado deseado.

Lo mencionado no debe interpretarse en el sentido de que otros salvaguardas, tales como ropajes protectores, blindajes, etc. deban descuidarse. La política debe ser siempre el mantener todo el tiempo y bajo cualquier circunstancia, un margen, el máximo posible, del lado de la se

guridad.

Debido a la preparación cuidadosa de los experimentos o procesos a realizar, la previsión de todas las posibilidades de riesgo y el adiestramiento suficiente reducirán al mínimo la posibilidad de un incidente, pero nunca se tendrá la certeza absoluta de evitarlo, debido a los factores que pueden olvidarse a ser imprevisibles. (4)

B). - PROTECCION CONTRA RADIACIONES INTERNAS.

La exposición de un individuo a la radiación externa cesa en el momento en que se retira del lugar donde se encontraba la fuente de radiación; ahora bien si esa fuente de radiación está dentro del cuerpo mismo del individuo la exposición continuará hasta que el material radiactivo sea eliminado o su radiactividad haya decrecido hasta un nivel sin importancia. Es obvio que la irradiación interna no solo es muchísimo más peligrosa que la externa, por lo que conviene extremar las precauciones para evitar la ingestión de sustancias radiactivas. En este tipo de radiación la posibilidad de ingestión es mayor cuando se emplean o procesan sustancias radiactivas no selladas. Asimismo, desde el punto de vista médico resulta sumamente difícil controlarla una vez que ha penetrado al organismo, debido a que:

- a). - La irradiación continúa hasta que el material radiactivo sea eliminado o que su radiactividad disminuya a un nivel sin importancia.
- b). - A menudo no puede hacerse que la rapidez de eliminación sea incrementada.
- c). - Las partículas alfa y las beta de baja energía irradian una pe_

pequeña porción de tejido y así pueden destruir una zona vital de algún órgano muy importante.

d). - Con frecuencia no es posible efectuar la medición exacta de la irradiación interna y a causa de ello resulta imposible hacer una evaluación fidedigna del grado de riesgo y daño probable.

e). - Aun cuando pudiera saberse aproximadamente la cantidad de sustancia radiactiva introducida al organismo, su distribución en los distintos tejidos y órganos puede no ser determinable. (10)

Por tanto el principio básico para la protección contra las irradiaciones internas es el de evitar la entrada del material radiactivo al cuerpo humano.

Las entradas más comunes del material radiactivo al cuerpo son:

a). - Por ingestión directa:

La ingestión directa, ya sea por beber líquidos contaminados o por consumir alimentos contaminados. Una gran proporción del material ingerido se excreta rápidamente por las heces, pero debido a la irradiación del intestino y que la pequeña porción que ingresa al torrente circulatorio es altamente tóxica, el material radiactivo ingerido es muy peligroso.

b). - Por inhalación:

La inhalación de los vapores gaseosos o aerosoles radiactivos es una de las principales rutas potenciales de ingreso en el cuerpo. La absorción, retención y eliminación del material tomado por los pulmones, depende de parámetros tales como el tamaño de la partícula del material inhalado y velocidad respiratoria del individuo, todo esto constituye un -

problema muy complejo. (9)

c). - Por la absorción a través de la piel o a través de heridas.

Conocidas estas entradas, la persona que labora con material radiactivo puede establecer reglas sencillas que efectivamente lo protejan contra la irradiación interna, como por ejemplo:

a). - El uso de guantes es de eficacia casi absoluta para evitar la contaminación de las manos. Lo mismo puede decirse de las ropas de protección corpórea.

b). - La ingestión directa se puede evitar prohibiendo el beber o comer dentro del local donde se manipule el material radiactivo que puede penetrar al cuerpo si se tocan los alimentos con las manos o con instrumentos contaminados.

c). - Para evitar la entrada del material radiactivo por inhalación, es necesario el control de la atmósfera donde se trabaja; así entonces, el uso de una campana ayuda eficazmente. Además se debe tener una ventilación adecuada en el lugar de trabajo. Recuérdese también el tapar los frascos e instrumentos que contengan materiales radiactivos volátiles.

d). - La absorción a través de la piel o de heridas se evita comúnmente con el uso de guantes o con la manipulación del material radiactivo a base de mecanismos de manejo a distancia.

Basado en lo anterior, la comisión Internacional de protección radiológica ha hecho una clasificación de la peligrosidad de los radioisótopos y ha establecido ciertos límites máximos para la actividad que ellos se puede manejar bajo diferentes condiciones de protección. Tam-

bién ha establecido las cantidades que en un momento dado se pueden permitir entren al cuerpo humano, como ha establecido las concentraciones máximas que se pueden permitir en el aire y agua para consumo humano.

Esta clasificación hecha por la comisión internacional de protección radiológica, (C. I. P. R.) divide a los radioisótopos en cuatro grupos, a saber: Los que presentan un riesgo muy elevado (grupo I), los de elevado riesgo (grupo II), los de riesgo medio (grupo III) y los de escaso riesgo (grupo IV). En la tabla siguiente se agrupan algunos radioisótopos que más se utilizan en nuestro país, definiéndose el grupo de riesgo al que pertenecen; se aprovecha esta tabla para dar otras constantes físicas en estos radioisótopos. (10)

		Radiación que Emite	Vida	Media	Grupo de Peligrosidad
Carbono	14	Beta	5,730	Años	III
Fósforo	32	Beta	14.3	Días	III
Hierro	55	Gamma	2.7	Años	III
Cobalto	60	Beta y Gamma	5.3	Años	II
Estroncio	90	Beta	28	Años	II
Yodo	131	Beta y Gamma	8	Días	II
Cesio	137	Beta y Gamma	30	Años	II
Iridio	192	Beta y Gamma	74	Días	III
Oro	198	Beta y Gamma	64.8	Horas	III
Radio	226	Beta y Gamma	1,620	Años	I

Donde el tiempo de vida media se define como:

El intervalo de tiempo en el cual la actividad disminuye a la mitad, y se denota por: $t_{1/2}$ siendo:

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \text{ donde } \lambda \text{ es la constante de desintegración.}$$

Por tanto, es evidente que al tratarse de sustancias radiactivas, - la finalidad principal deberá ser siempre evitar la entrada de toda porción de la sustancia en el cuerpo, cualquiera que sea el medio que se emplee - para ello. Una vez que penetre cualquier cantidad, por insignificante que sea, deben tomarse las medidas convenientes, y aún cuando el organismo humano posee una gran capacidad de recuperación, pero esa capacidad es limitada y muy poco puede hacerse para ayudarla.

Sin embargo, es mucho lo que se ignora todavía de este aspecto, y cabe esperar que a medida que se vayan acumulando experiencias y progre-sando las investigaciones, el panorama mejore mucho.

Una prevención adecuada es mucho más difícil en el caso de éstas que el de la radiación externa, debido a que la dosis máxima permisible - en el organismo son diminutas, por lo cual los niveles autorizados de con-taminación del aire son bajos y las normas contra otros puntos de Ingresos son tan altas, que sólo una atención continua y escrupulosa para la protec-ción de todas las entradas al organismo, como son: nariz, pulmones, boca, piel, etc., puede dar resultado. Básicamente, se requiere, la insta-lación en locales de trabajo bien proyectados y equipados, de un apropiado sistema de ventilación, tanto particular como general; la adopción de medidas para evitar que se extienda la contaminación por otros medios; una

insistencia firme en que se preste cuidadosa atención al aseo personal y del equipo de trabajo; la absoluta prohibición de comer, beber, fumar, etc., en los locales de trabajo; el uso obligatorio del equipo de protección personal y ropas, por parte de quienes están expuestos al riesgo; y el establecimiento y mantenimiento de procedimientos regulares de vigilancia, adecuados a las circunstancias existentes.

La superficie de trabajo susceptible de contaminación, debe cubrirse con hojas desechables de papel absorbente y material de plástico, o algún material similar.

Toda limpieza de sitios de trabajo donde exista un riesgo de inhalación o ingestión, deberá hacerse con medios húmedos solamente; los locales deben estar proyectados en forma tal que sea fácil hacer esta clase de aseo. (4)

C). - EQUIPOS DE PROTECCION.

Las ropas de protección para trabajadores que se encuentren expuestos a radiaciones, pueden dividirse en dos grupos: de rutina y de excepción.

Estas últimas comprenden las ropas de protección para fines especiales como son los casos de urgencia, descontaminación y mantenimiento especial.

a). - Ropas de protección para trabajos rutinarios.

Batas de laboratorio:

Batas blancas corrientes de algodón o de nylon, amplias, que deben llegar hasta debajo de las rodillas.

Monos:

Son prendas de una pieza, de algodón, que cubren todo el cuerpo menos la cabeza y el cuello, las muñecas de las manos, los pies y los tobillos, generalmente abierto por delante. Es muy útil debido a que protege toda la ropa que se lleva debajo. (15)

Delantales:

Cuando se hayan de manejar líquidos en mesas de laboratorio, resultan de gran utilidad los delantales impermeables de materiales adecuados, para evitar que se contaminen las ropas que se llevan por debajo. (16)

Guantes de goma:

Para la mayoría de las operaciones, en el trabajo general del laboratorio, son adecuados los guantes de goma del tipo utilizado por los cirujanos. Cuando sea necesario manejar sustancias que emiten radiaciones beta, directamente con las manos, se pueden utilizar guantes de goma más gruesos o guantes de cuero, para reducir la dosis de irradiación en las manos. (15)

Calzado:

Los zapatos deben ser, preferentemente, de suela de goma para evitar su contaminación y para facilitar la limpieza. Se recomienda que el dibujo de la suela de goma no sea muy profundo. La parte superior de los zapatos debe estar bien recubierta de cera para evitar la absorción de disoluciones activas.

Chanclos:

Se usan encima de los zapatos corrientes y son convenientes para que los empleen los visitantes en las zonas activas o para el uso general en los laboratorios. Los chanclos corrientes de goma son apropiados, pero el dibujo de la suela no debe ser demasiado profundo. También se fabrican chanclos más económicos, de goma, plástico o lona. (15)

Botas de Goma:

Son especialmente útiles para su uso en zonas en las cuales hay que manejar disoluciones contaminadas o cuando el suelo está húmedo, como sucede cuando se descontamina una zona. Las botas de goma que llegan hasta media pierna son adecuadas para este fin, un ejemplo típico son las botas de goma que usan los cirujanos en las salas de operaciones. El dibujo de la suela de estas botas no debe ser demasiado profundo.

Máscaras:

Para trabajos en zonas de actividad baja o media proporciona la suficiente protección una máscara que cubra toda la cara y que contenga un filtro eficaz. El filtro da un funcionamiento seguro, sugiriéndose los tipos de lana, de resina y de carbón o los de filtro de papel que son muy eficaces y que existen en el comercio. Hay que tener cuidado de comprobar que la máscara ajuste bien y no permita que entre aire por los lados de la pieza de la cara. (16)

b), - Ropa de protección Excepcional. (Ropa especial de mantenimiento, descontaminación y otros fines análogos).

Esta clase de ropa está indicada en zonas en las cuales las operaciones de que se trate exigen la exposición del personal a un gran riesgo de contaminación y de respiración de aire contaminado.

Muda completa:

Esta supone quitarse todas las prendas personales y usar la ropa sencilla suministrada para el laboratorio. Una muda típica consiste en pantalones de dril, ropa interior, camisa, calcetines y zapatos. Antes de ponerse la ropa completamente impermeable, se recomienda una muda completa de las prendas de vestir. (15)

Ropa Completamente Impermeable:

Consiste en prendas confeccionadas de forma que cubren completamente al individuo excepto la cabeza, el cuello, las manos y los pies, con una capa de material impermeable. Como protección para la cabeza y con objeto de permitir el empleo de máscaras o respiradores autónomos al mismo tiempo. Por último, se evita completamente la contaminación utilizando guantes de goma bien estirados por encima de las bocamangas del traje protector, y botas de goma con el bajo de los pantalones del traje impermeable cubriéndolas por el exterior. (16)

Ropa a presión:

Consiste en un vestido impermeable que cubre completamente al individuo. Este vestido aísla de una manera efectiva al que lo usa, de cualquier contaminación. Durante su empleo, se suministra aire a presión al interior del vestido lo que permite la respiración normal.

La tubería de suministro de aire a presión termina inmediatamente delante de la cara, ya que así provee suficiente cantidad de aire para respirar y, al mismo tiempo, ayuda a reducir el empañamiento de la pieza de cabeza transparente. Se consigue la protección total de manos y muñecas, usando guantes de goma que estén adheridos firmemente al traje para evitar que penetre la contaminación.

Máscaras:

Cuando no se dispone de suministro de aire a presión para utilizarlo en los trajes a presión descritos anteriormente, se pueden utilizar máscaras. Estas constan de una pieza que ajuste bien a la cara, provista de anteojos apropiados, la cual se acopla a un tanque, de aire comprimido, que se sujeta con correas a la espalda. Se regula el suministro de aire por medio de válvulas acopladas a el tanque de aire comprimido. Se puede utilizar este equipo de respiración junto con el traje impermeable completamente protector, y, vestido de esta forma, el individuo puede introducirse en una atmósfera contaminada en caso de urgencia o para el mantenimiento. (15)

D). - VIGILANCIA RADIOLOGICA.

La vigilancia radiológica dentro de una industria, un laboratorio o un establecimiento médico debe inspirarse en un principio básico, que es el de reducir las dosis recibidas por el personal al mínimo compatible con las necesidades y aún, si es posible, por debajo de los límites máximos señalados por los reglamentos sanitarios. (18)

Para lograr el objetivo señalado deberá determinarse, mediante instrumentos cuya selección puede recomendar un especialista en protección:

1. - Los niveles de radiación en el ambiente.
2. - La dosis recibida por cada persona en un plazo dado. Si unos y otros son elevados, deberán adoptarse acciones correctivas, mejorando las instalaciones, diseñando blindajes, modificando las técnicas de trabajo, reduciendo las horas de jornada, etc. (15)

Para la determinación de los niveles ambientales de radiación hay una gran variedad de instrumentos, algunos de ellos ya mencionados, - existiendo también una gran diversidad de situaciones. Por ejemplo: si la intensidad de la radiación es baja y se sabe que seguirá siéndolo, será suficiente el usar distintivos de película o dosímetros por parte del personal expuesto.

~~En el caso de operaciones donde la emisión de radiaciones a niveles riesgosos es considerado, un equipo fijo de vigilancia y comprobación que al mismo tiempo que dé la alarma al ocurrir la radiación de esa clase registre los totales de radiación por unidad de tiempo, son muy convenientes estos equipos; como son: cámara de ionización, detectores proporcionales, detector Geiger que ya han sido mencionados en forma más detallada.~~

La vigilancia radiológica individual se efectúa, casi universalmente, mediante dosímetros de película y cámaras de ionización de bolsillo.

Dada la importancia de la dosimetría fotográfica, estimamos conveniente dar algunos antecedentes. El tipo de película deberá ser apro

plado a la clase y cantidad de radiación que se desea medir. El revelado debe ser una operación cuidadosa, pues pequeñas variaciones en la temperatura de los baños o en los tiempos de cada etapa pueden influir significativamente en el resultado. Una vez revelada la película, se determina la cantidad de radiación recibida por el individuo en un período de tiempo. (4)

Estos tipos de instrumentos han sido mencionados con más detalles en el Capítulo II.

E). - CONTROL MEDICO.

Es indispensable efectuar exámenes médicos antes de contratar -- trabajadores que tengan que laborar con o en la proximidad de radiaciones, no sólo para evitar destinar a esa clase de trabajo sujetos que presenten anormalidades en piel, huesos, gónadas, pulmones, etc.. Lo cual los haría más susceptibles, sino también para que puedan hacerse cómputos de sangre que conservarán para futuras referencias. Asimismo, toda persona que desempeñe alguna tarea que en el curso de su trabajo pueda estar expuesta a radiaciones ionizantes, debe ser examinada clínicamente por lo menos una vez al año, como medida de precaución. (4)

Los objetivos principales de un control médico son los siguientes:

- a). - Determinación de la capacidad física y mental del individuo para realizar su trabajo sin peligro alguno,
- b). - Establecimiento de una ficha básica que sirva para valorar las alteraciones que se pueden presentar posteriormente a las alteraciones

debidas a la acción nociva del ambiente.

c). - Desarrollo de un registro que sirva de información básica para aplicar medidas preventivas y correctivas.

En el examen de ingreso se consideran los siguientes factores:

a). - Edad. Se recomienda una edad superior a los 18 años.

b). - Sexo. En el caso de mujeres en edad reproductiva se recomienda que no estén expuestas a altos niveles de radiación, por el riesgo que presenta en los casos de embarazo no diagnosticado.

c). - Antecedentes hematológicos. Los casos con alteraciones hematológicas en su pasado pueden significar excepcionalmente una causa de descalificación.

d). - Antecedentes de irradiaciones anteriores. La historia de fuertes exposiciones a la radiación ionizante, por diversas causas, debe considerarse para el futuro trabajo.

e). - Hallazgos del examen físico. Debe registrarse con detalle las alteraciones cutáneas y dermatosis para valorar los controles futuros. Por los que, serán motivo de descalificación los casos con menos de 4,000 leucocitos o disminución marcada de plaquetas.

En los exámenes periódicos se deben estimar los siguientes factores:

a). - Periodicidad. Dependerán del grado de exposición, semestrales o anuales.

b). - Tipo de examen. De acuerdo al tipo de exposición, los exámenes requerirán mayor o menor detalle. Igualmente será más detallado un examen de terminación o traslado de trabajo.

c). - Exámenes hematológicos. Deberá tenerse cuidado, en la evaluación de una desviación del cuadro sanguíneo normal, tomando en cuenta las variaciones diarias individuales del 15 % y el promedio de error técnico de 10 %.

El detalle del examen hematológico quedará a juicio del médico, como igualmente la aparición y aumento progresivo de células anormales.

d). - Pruebas específicas. Hasta el momento no hay ninguna prueba específica que caracterice a un individuo irradiado.

e). - Determinación de la contaminación interna. Tanto en el control de los trabajadores expuestos al radium, como los expuestos a los radioisótopos, es conveniente determinar la contaminación interna. Hay dos procedimientos: Uno es la determinación directa por el recuento del cuerpo total por medio de un aparato especial ya mencionado; el otro es la determinación indirecta en el aire espirado o excreciones.

Para los radioisótopos en general el método más usado es la eliminación en la orina, que puede permitir en ciertas condiciones el cálculo total en el organismo, de acuerdo con la regularidad y la tasa de excreción del material radiactivo. (5)

F). - MECANISMO DE MANEJO A DISTANCIA.

En el manejo de fuentes de sustancia que emiten radiaciones beta, gamma o ambas, es muy importante la distancia como medio para reducir la dosis de irradiación. Para utilizar esta clase de protección y, al mismo tiempo, permitir el manejo de las sustancias activas, se han conseguido tenazas de mango largo para trabajar a distancia hasta de un me-

tro de dichas fuentes. También se pueden utilizar pinzas largas hasta una distancia de unos 15 cm, de la fuente.

Las tenazas de mango largo del tipo más sencillo tienen el mango igual al de una pistola con gatillo que actúa sobre las puntas de la pinza y que pueden utilizarse para coger la fuente de material radiactivo. Un perfeccionamiento consiste en adaptarle un tornillo de forma que las pinzas sujeten firmemente la fuente radiactiva. De esta forma se puede sujetar la fuente con un par de pinzas y utilizar otro par para realizar alguna operación en ella. Si las pinzas de manejo a distancia tienen que atravesar la pared de ladrillos, de plomo ó de acero suave, es necesario usar pinzas especiales que, a la vez que permiten que se realice la operación fácilmente, no den lugar a escapes de radiación. Las pinzas de mango largo son las que se usan mucho en medicina y cirugía. (15)

G). - SIMBOLO QUE INDICA LA PRESENCIA DE RADIACION,

a). - Objetivo.

El símbolo de radiación especificado en esta norma, se empleará para indicar la presencia potencial o real de la radiación ionizante y para identificar objetos, artefactos, materiales o combinaciones de materiales que emitan radiaciones ionizantes. Esta norma no especifica los niveles de radiación para los cuales el símbolo debe utilizarse.

b). - Símbolo normalizado.

El símbolo normalizado para significar radiación o materiales radiactivos, se diseñará y proporcionará tal como se ilustra en las figuras-

No. 16 y No. 17, el símbolo debe ser lo más visible que se pueda y de una dimensión que armonice con el tamaño del equipo o material en el que se va a pegar o afirmar, cuidándose de mantener las proporciones descritas en la figura No. 16 y que en cualquier circunstancia el símbolo pueda leerse desde una distancia prudencial.

c). - Código de colores para el símbolo.

Tiene cuatro partes principales; tres hojas y el disco central, las que deberán ser de color rojo púrpura, el fondo amarillo y las letras negras, siendo semejantes a el código americano normalizado de colores de seguridad que ha señalado para designar la presencia de la radiación y de los materiales radiactivos. (9)

d). - Restricciones al uso del símbolo.

El símbolo de radiación deberá utilizarse sólo para significar la presencia real o potencial de las radiaciones ionizantes, tal como la estipula el objetivo de esta norma.

SIMBOLO NORMALIZADO DE RADIACION

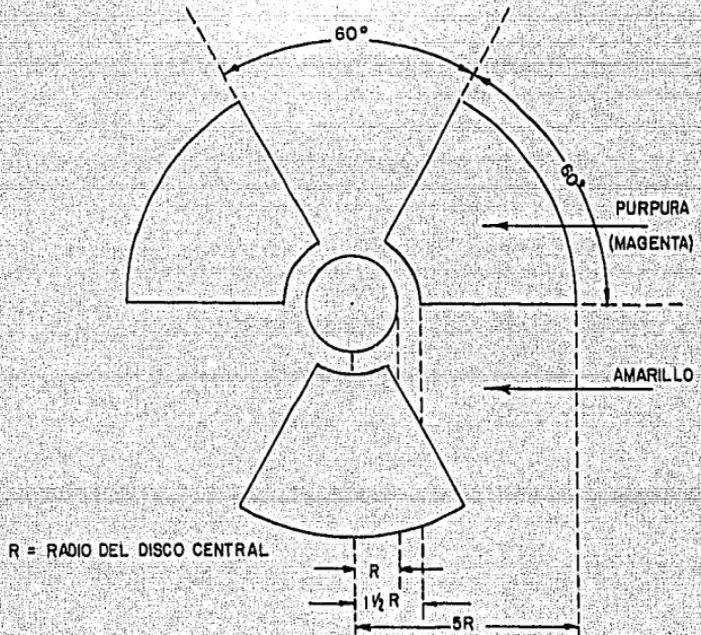


Figura No. 16

SIMBOLOS QUE INDICAN PRESENCIA DE RADIACION.

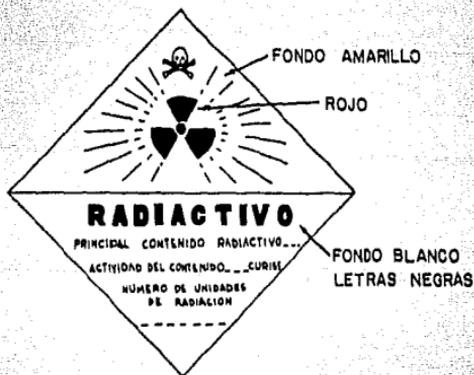


FIGURA No. 17

VI). - "CAPITULO VI"

" CONCLUSIONES "

El empleo de las radiaciones ionizantes aumenta cada año tanto en lo que corresponde a cantidad como a la variedad de usos a que se aplican y esta situación no es probable que cambie en un futuro próximo. Esto quiere decir que las radiaciones ionizantes están convirtiéndose en un riesgo común dentro de la industria. Esto compromete a los ingenieros de seguridad, así como a toda persona que tenga que ver con la seguridad de los trabajadores, a documentarse en este campo, para conocer a fondo la naturaleza de las radiaciones, sus riesgos y formas de protegerse de ellas. También habrá de saber a donde y a quién recurrir en solicitud de competente consejo profesional en caso necesario.

Cuando se piense utilizar o ampliar el uso de las radiaciones ionizantes, la administración deberá asegurar los servicios de un especialista en seguridad Radiológica, que sea capaz. Estos servicios deberán incluir un detallado análisis del uso o usos, una inspección de la fábrica o área de trabajo así como las operaciones involucradas, y la elaboración de un estudio con los procedimientos a seguir para garantizar la seguridad. Esta planeación anticipada y experta, será muy importante, sobre todo cuando se trate de radiaciones de elevada penetración o de ciertas sustancias particularmente peligrosas. Algunos de los aspectos a cubrir en un estudio así, son los siguientes:

1. - Disposición de blindaje adecuado.
2. - Disposición de equipo de laboratorio y salas de trabajo.

3. - Medidas para mantener al mínimo el número de personas expuestas a una probable radiación.
4. - Proveer al personal de una adecuada instrumentación.
5. - Cuidar que se planeen y adopten los procedimientos necesarios.
6. - Tomar medidas apropiadas para que el personal reciba enseñanza, adiestramiento y una supervisión constante.
7. - Cuidar que exista vigilancia y comprobación adecuada, así como exámenes médicos previos de admisión y periodos de control.

Una cosa muy importante de esto, es que, la persona especialista en seguridad radiológica elabore un programa realista y apropiado a las circunstancias que existen en el área de trabajo, de carácter tanto físico como administrativo, y que lo sostenga y ponga en obra con vigor y sin desmayo.

La seguridad de la operación dependerá en gran parte, del conocimiento de los riesgos existentes y de la habilidad y escrupulosidad, en el uso de los dispositivos de protección. Por esta razón el trabajador radiológico debe adiestrarse en técnicas de protección Radiológica, mediante cursos de capacitación y trabajando bajo la supervisión de una persona calificada y de experiencia.

EL PRESENTE TRABAJO NO TIENE COMO FINALIDAD DE ATENORIZAR AL PERSONAL DE LA PELIGROCIDAD QUE TIENE EL USO DE RADIACIONES, SINO QUE LA FINALIDAD ES SUGERIR A TODA PERSONA QUE SE ENCUENTRE EXPUESTA DE UNA FORMA U OTRA A RADIACIONES, DEBE SEGUIR PASO A PASO TODAS LAS NORMAS Y DISCIPLINAS -

DE SEGURIDAD QUE LES SEAN EXIGIDAS POR LA PERSONA ESPECIALIZADA EN SEGURIDAD, PARA ASI LOGRAR LOS BENEFICIOS EN EL USO DE RADIACIONES Y A LA VEZ EVITAR POSIBLES DAÑOS A SU ORGANISMO.

BIBLIOGRAFIA

- (1). - RADIACIONES IONIZANTES
J. S. Strettan M. H. SC.
Ed. Alhambra, S. A.
Madrid, Buenos Aires, México 1967
Págs. 1, 7, 102, 109, 110, 114, 118, 119, 121, 123, 137, 142, 145 y 149.
- (2). - NOCIONES DE FISICA NUCLEAR
Horacio E. Bosh y Sara M. Abecasis
Ed. Eudeba 1970
Págs. 45 y 47.
- (3). - BOLETIN INFORMATIVO DE SEGURIDAD INDUSTRIAL
PETROLEOS MEXICANOS 1970
Págs. 7, 11, 17, 28, 29, 32, 35, 44 y 45.
- (4). - SEGURIDAD INDUSTRIAL
Roland P. Blake
Ed. Diana
Segunda Edición 1973
Págs. 455, 458, 460, 462, 464, 468, 470, 472 y 476.
- (5). - INTRODUCCION A LA HIGIENE INDUSTRIAL
J. J. Bloomfield
Ed. Reverte
Barcelona 1962
Págs. 171, 175, 177, 179, 181, 182.
- (6). - SEGURIDAD INDUSTRIAL
Ing. Jesús Tavera Barquín
Ed. A. M. N. S. AC.
México 1974
Págs. 158 y 160.
- (7). - LA RADIACION
Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico.
Departamento de Asuntos Científicos.
Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos.
Ed. Evav. Chesnean
Washington D. C. 1973.
Págs. 21, 22 y 24.

- (8). - THE RADIATIONS NUCLEARS
Marc Lefort
Ed. Eudeba 1965
Págs. 34, 35, 37, 39 y 56.
- (9). - MANUAL DEL CURSO BASICO DE PROTECCION CONTRA LAS RA-
DIACIONES IONIZANTES.
Preparada por:
United States Department Of Health, Education and Welfare,
Public Health Service.
En Cooperación de:
Oficina Sanitaria Panamericana
Organización Mundial de Salud.
Washington D. C. 20037
Págs. 73, 77, 81, 146, 156, 157, 162, 163, 168, 173, 176 y 196.
- (10). - GUIA GENERAL DE SEGURIDAD RADIOLOGICA.
Para Usuarios de Materiales Radiactivos
Comisión Nacional de Energía Nuclear
México 1966.
Págs. 12, 14, 16, 19, 30, 33, 35 y 37.
- (11). - ENFERMEDADES PROFESIONALES, SUBSTANCIAS TOXICAS PRO-
FESIONALES.
Industriales u Operaciones Correspondientes.
Tomo II
Ed. A. M. N. S. AC.
México 1972.
Págs. 96, 98, 102 y 104.
- (12). - TOXICOLOGIA EN LA INGIENERIA QUIMICA INDUSTRIAL.
Enrique R. de la Torre.
México 1973.
Págs. 172 y 180.
- (13). - NORMAS BASICAS DE SEGURIDAD EN MATERIA DE PROTECCION
RADIOLOGICA,
Organismo Internacional de Energía Atómica
Colección de Seguridad No. 9
Viene 1968
Págs. 10, 12, 14, 25, 29 y 31.

- (14). - REGULATIONS FOR THE SAFETY TRANSPORT OF RADIOACTIVE MATERIALS.
International Atomic Energy Agency.
Viena, Austria 1961.
Págs. 22 y 26
- (15). - MANIPULACION SIN RIESGO DE LOS RADIOISOTOPOS
Suplemento de Higiene Radiofísica
Organismo Internacional de Energía Atómica.
Viena 1960
Págs. 58, 67, 69, 70, 76, 81 y 93.
- (16). - RADIATION SAFETY AND MAJOR ACTIVITIES IN THE ATOMIC ENERGY PROGRAMS.
United State Atomic Energy Commission 1960.
Págs. 197, 216, 218, 220 y 222.
- (17). - AN INTRODUCTION TO RADIATION PROTECTION
A. Martin
Ed. Evav. Chesneau
Washington D.C. 1970
Págs. 73, 74 y 75.
- (18). - THE PROVISION OF RADIOLOGICAL PROTECTION SERVICES
International Atomic Energy Agency
Safety Series No. 13
Viena 1965.
Págs. 8, 9, 18 y 29.
- (19). - EXPLOTACION SIN RIESGOS DE LAS CENTRALES NUCLEARES
Organismo Internacional de Energía Atómica
Colección Seguridad No. 31
Viena 1970
Págs. 104, 105, 106 y 107.
- (20). - THE BASIC REQUIREMENTS FOR PERSONNEL MONITORING.
International Atomic Energy Agency
Safety Series No. 14
Viena 1965
Págs. 27, 33 y 35.