

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES
FACULTAD DE TECNOLOGIA
CARRERA DE ELECTRONICA Y TELECOMUNICACIONES



INFORME DE PASANTIA
REALIZADO EN EL INSTITUTO BOLIVIANO DE CIENCIA
Y TECNOLOGIA NUCLEAR

“CALIBRACION DE EQUIPOS DE PROTECCION
RADIOLOGICA”

NIVEL TECNICO SUPERIOR UNIVERSITARIO

POSTULANTE: MIGUEL ANGEL SALAZAR ESPINOZA

TUTOR: ING. JOSE ARTURO MARIN THAMES

LA PAZ –BOLIVIA
Agosto, 2019

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES
FACULTAD DE TECNOLOGIA
CARRERA DE ELECTRONICA Y TELECOMUNICACIONES

Pasantía realizada en el Instituto Boliviano de Ciencia y Tecnología Nuclear

“CALIBRACION DE EQUIPOS DE PROTECCION
RADIOLOGICA”

Presentado por: Miguel Angel Salazar Espinoza

Para optar del grado académico de Técnico Universitario Superior en Electrónica y Telecomunicaciones

Nota numeral:

Nota literal:

Ha sido:

M.Sc. Luis Richard Marquez Gonzales
Director de la Carrera de Electrónica y Telecomunicaciones

Tutor: Ing. José Arturo Marín Thames

Tribunal: Ing. Luis Ramiro Velarde Chávez

Tribunal: Lic. Nixon Emiliano Vargas Mamani

Tribunal: TSU. Javier Jorge Ticona Chambi

DEDICATORIA

Este informe está dedicado a mi esposa e hijas ya que gracias a ellas pude realizar muchas cosas, ellas son las que me dieron fuerza en los momentos difíciles, momentos en los cuales quise dejar todo atrás, momentos en los que pensé que me derrumbaría. Es por eso que mi objetivo es ser el ejemplo para mi familia.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la oportunidad de tener esta familia que me dio las fuerzas suficientes para terminar con esta etapa de mi vida.

A mis padres y hermana por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada por su amor.

A mi tutor por aconsejarme y por apoyarme en la elaboración de este informe.

INDICE

INTRODUCCION	1
CAPITULO 1	2
INFORMACION DE LA INSTITUCION	2
1.1 Descripción Institucional	2
1.2 Localizacion Institucional	3
1.3 Estructura Organizacional	4
1.3.1 Director General Ejecutivo	5
1.3.2 Director Centro de Protección y Seguridad Radiológica	5
1.3.3 Jefe de Unidad de Dosimetría de las Radiaciones Ionizantes	6
1.4 Descripción de Actividades técnicas en las secciones designadas	6
1.4.1 Centro de Protección y Seguridad Radiológica	6
1.4.1.1 Objetivo general	6
1.4.1.2 Objetivo de Gestión	7
1.4.1.3 Objetivos específicos	7
1.4.2 Unidad de Dosimetría y Radiaciones Ionizantes	7
1.4.2.1 Objetivo General	7
1.4.2.2Objetivos específicos	7
1.4.3 Unidad de Radioprotección en Instalaciones	8
1.4.3.1 Objetivo de Gestión	8
1.5 Misión Institucional	8

1.6 Visión Institucional.....	9
1.7 Objetivo estratégico.....	9
CAPITULO II.....	10
MARCO TEORICO REFERENCIAL	10
2.1 Radiación no Ionizante VS Ionizante.....	10
2.1.1 Radiación no Ionizante.....	10
2.1.2 Niveles de exposición.....	11
2.1.3 Efectos en la salud.....	12
2.1.4 Efectos a corto plazo	12
2.1.5 Efectos a largo plazo	13
2.1.6 Directrices sobre los límites de exposición	14
2.1.7 Efectos en la salud.....	16
2.1.7.1 Efectos térmicos.....	17
2.1.7.2 Efectos no térmicos.....	18
2.1.7.3 Efectos atérmicos.....	19
2.1.8 Influencia de las Radiaciones no Ionizantes sobre la salud humana... 	20
2.1.8.1 Aparato reproductor	20
2.1.8.2 Cáncer.....	20
2.1.8.3 Genéticas	21
2.1.9 Un estudio dice que las antenas son peligrosas y otro que no. ¿Cuál me creo?	22

2.1.9.1 No hay alarma.....	22
2.2 Radiación Ionizante.....	23
2.2.1 Radiaciones y tipos de radiacion.....	24
2.2.2 Fuentes de radiación	25
2.2.3 Exposición a la radiación ionizante	26
2.2.4 Efectos de las radiaciones ionizantes en la salud.....	28
2.2.5 Efectos biológicos	30
2.2.6 Efectos somáticos	30
2.2.7 Efectos localizados	31
2.2.7.1 Efectos en la piel	31
2.2.7.2 La radiodermatitis crónica	31
2.2.7.3 Irradiación de la región abdominal	31
2.2.7.4 Irradiación gonadal.....	32
2.2.7.5 Irradiación torácica.....	32
2.2.7.6 Efectos oculares	33
2.2.7.7 Efectos renales	33
2.2.7.8 Efectos en tiroides.....	34
2.2.7.9 Irradiación de cuerpo entero.....	34
2.3 Protección Radiológica.....	35
2.3.1 Justificación:	35

2.3.2 Optimización:.....	35
2.3.3 Limitación de dosis:.....	36
2.3.4 Diferencias entre radiaciones ionizantes y radiaciones no ionizantes.	36
2.4 Definición de dosimetría.....	37
CAPITULO III	39
ACTIVIDADES DESARROLLADAS EN LA PASANTIA.....	39
3.1 Descripción de la tarea	39
3.1.1 Laboratorio de Dosimetría.....	39
3.1.2 Dosimetría.....	39
3.1.3 Fluoruro de Litio.....	41
3.1.4 Cómo funciona y cómo se usa	41
3.1.5 Desarrollo de la pasantía	42
3.2 Calibración de equipos de protección radiológica.	45
3.2.1 Calibración de la fuente de rayos gamma (Fuente de cesio 137)	50
3.3 Monitores detectores de radiación.	52
3.3.1 Alarma sónica ND-15.....	53
2.5.2 Descripción.	54
2.3.2 Especificaciones.....	54
3.4 Monitor portátil ND- 2000A	55
3.4.1 Descripción.	55

3.4.2 Especificaciones.....	56
3.4.3 Funcionamiento.....	56
3.5 Dosímetro Electrónico personal DoseRAE 2.....	56
3.5.1 Descripción.	57
Características.....	59
Aplicaciones	59
3.6 Monitor multiuso RDS-31	60
3.6.1 Descripción.	61
3.6.2 Dosímetro Personal tipo lapicero.....	61
CAPITULO IV	63
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	63
4.1 Conclusiones.....	63
4.2 Recomendaciones	63
Bibliografía	64
Glosario de Términos	65
Anexos	67

ÍNDICE DE GRÁFICOS

<i>Figura 1. Logotipo IBTEN</i> _____	2
<i>Figura 2 Instituto de Ciencia y Tecnología Nuclear</i> _____	3
<i>Figura 3 Centro de Investigaciones y Aplicaciones Nucleares</i> _____	3
<i>Figura 4 Tabla de radiación</i> _____	15
<i>Figura 5 Efectos de las radiaciones no ionizantes</i> _____	21
<i>Figura 6 Señal de riesgo por radiación</i> _____	23
<i>Figura 7 Tabla de frecuencias</i> _____	37
<i>Figura 8 Sala de irradiación</i> _____	49
<i>Figura 9 Bunker de la institución</i> _____	50
<i>Figura 10 Diagrama de la desintegración radiactiva del Cesio-137</i> _____	52
<i>Figura 11 Alarma sónica ND-15</i> _____	53
<i>Figura 12 Monitor portátil ND – 2000A</i> _____	55
<i>Figura 13 dosímetro Electrónico personal DoseRae 2</i> _____	57
<i>Figura 14 Monitor Multiuso RDS-31</i> _____	60
<i>Figura 15 Dosímetro tipo Lapicero</i> _____	61
<i>Figura 16 Dosímetro TLD</i> _____	41
<i>Figura 17 HARSHAW</i> _____	43
<i>Figura 18 Harshaw haciendo lecturas</i> _____	44
<i>Figura 19 Kerma para hacer calculos</i> _____	46
<i>Figura 20 Riel de calibtacion</i> _____	47

ANEXOS

Anexo 1 67

Anexo 2 67

Anexo 3 68

Anexo 4 68

Anexo 5 68

INDICE DE FORMULAS

Formula 1 46

INTRODUCCION

En nuestro país hace 50 años se creó la Comisión Boliviana de Energía Nuclear (COBOEN), a través del decreto supremo N° 19583 de 1961, tuvo que pasar 22 años para que cambiara de nombre a lo que es actualmente Instituto de Ciencia y Tecnología Nuclear (IBTEN), con el objetivo de desarrollar tecnología en el ámbito nuclear y la fiscalización a los centros de radioterapia.

Actualmente el IBTEN es un ente fiscalizador y así mismo da servicio de dosimetría y calibración de equipos a nivel nacional siendo una de las únicas instituciones declaradas por ley para dar este servicio.

Por otro lado, el IBTEN capacita a las personas para poder comprender más sobre el tema de protección radiológica dando cursos y así estas personas poder adquirir un certificado de capacitación y estar listas para poder obtener la licencia de operación.

Es así que este tipo de aplicaciones favorecen de manera significativa en la formación personal ya que la institución es parte del sector energético y la experiencia lograda está a nivel de las expectativas ya que se pudo realizar la calibración de equipos personales y ambientales y así mismo se pudo realizar las lecturas de los dosímetros de los trabajadores ocupacionalmente expuestos (TOE).

CAPITULO 1

INFORMACION DE LA INSTITUCION

1.1 Descripción Institucional.

IBTEN (Instituto de Ciencia Y Tecnología Nuclear), es la institución que concentra las actividades de investigación y aplicación de técnicas nucleares, planificación y supervisión del desarrollo de la tecnología nuclear y aplicación de la ley de Protección y Seguridad Nuclear.

El IBTEN es el máximo organismo regulador de las actividades y aplicaciones de la energía nuclear en Bolivia, se relaciona también con el organismo Internacional de Energía Atómica OIEA, organización que asiste al país con proyectos de cooperación técnica que permiten la capacitación del personal y así también la visita de expertos.



Figura 1. Logotipo IBTEN

Fuente: <http://www.ibten.gob.bo>

1.2 Localizacion Institucional

El Instituto de Ciencia y Tecnología Nuclear se encuentra situado en la Av. 6 de agosto N° 2905, San Jorge La Paz Bolivia.



Figura 2 Instituto de Ciencia y Tecnología Nuclear

Fuente: <http://www.ibten.gob.bo>

El Instituto Boliviano de Ciencia y Tecnología Nuclear tiene otra instalación denominada CIAN (Centro de Investigaciones y Aplicaciones Nucleares), el cual se encuentra situado en la localidad de Viacha- Comunidad Surusaya, aproximadamente a 3 km de la plaza principal de Viacha, prolongación de la Av. Bolívar.



Figura 3 Centro de Investigaciones y Aplicaciones Nucleares

Fuente: <http://www.ibten.gob.bo>

1.3 Estructura Organizacional

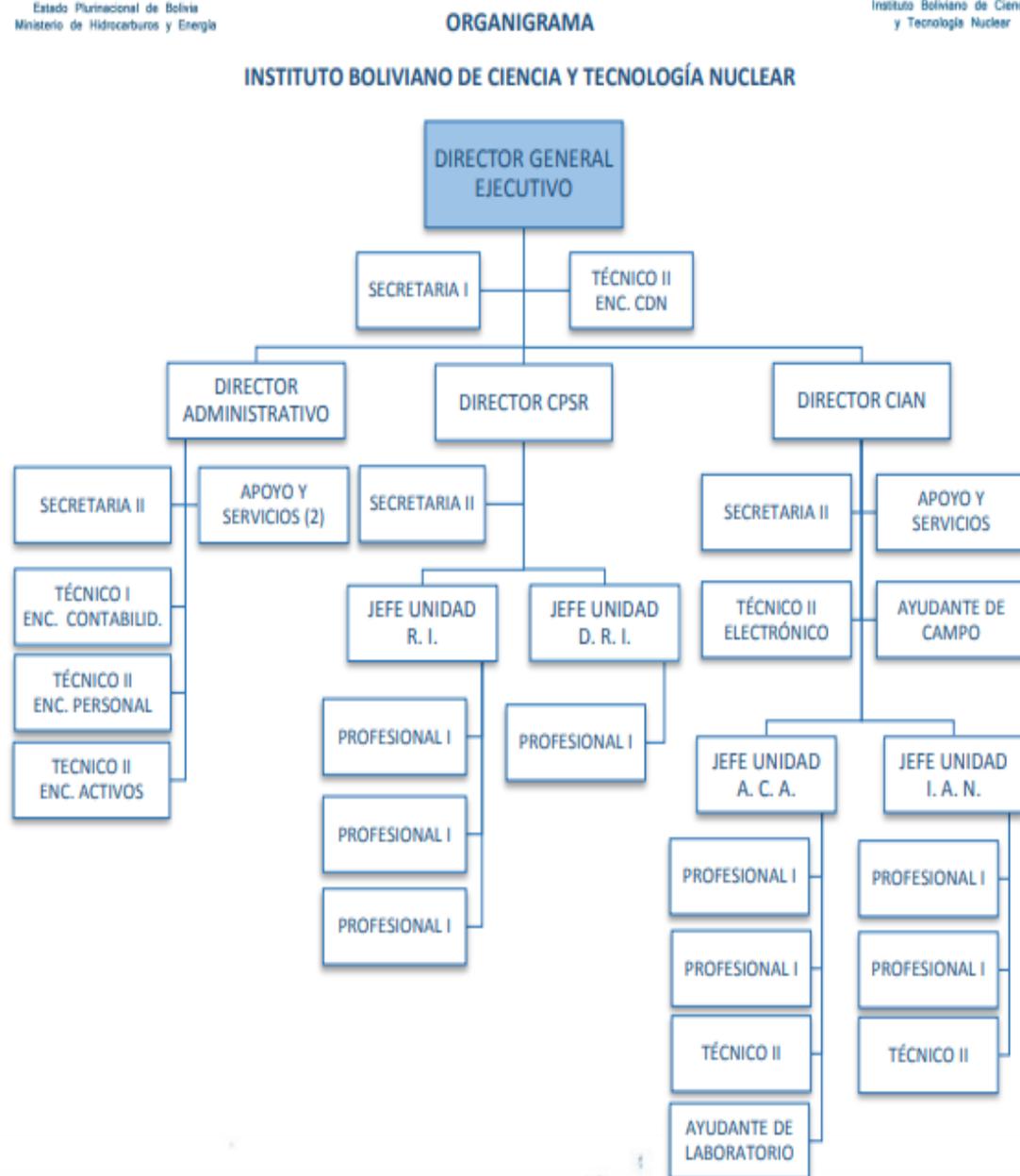


Figura 1.4 Organigrama Institucional

Fuente: <http://www.ibten.gob.bo>

1.3.1 Director General Ejecutivo

El director **Ing. Ronald Berdeja Amatler** está encargado de la planeación, coordinación y control de las actividades del Instituto Boliviano Y ciencia Nuclear, definiendo prioridades criterios, contenidos y metodología, ejecución de labores profesionales en materia nuclear además de representar y asesorar a los servidores públicos de la institución.

Para el desempeño del puesto requiere capacitación analítica, creatividad, dinamismo, discreción, relaciones humanas y ser una persona responsable.

Las relaciones de trabajo que corresponden al puesto implican contactos frecuentes con servidores de alto nivel de instituciones públicas, o de empresas privadas nacionales o extranjeras importantes para la gestión de la institución para atender y resolver asuntos de alto nivel.

1.3.2 Director Centro de Protección y Seguridad Radiológica

Ésta área está a cargo del **Ing. Alberto Miranda Cuadros** el cual apoya a programas destinados al control de radiaciones ionizantes así mismo, la planeación coordinación y control de las actividades del Centro de Protección y Seguridad Radiológica.

Las relaciones de trabajo que corresponden al puesto implican contactos frecuentes con jefaturas y servidores públicos de la institución, así mismo personas de rango jerárquicos de instituciones publico/privadas receptoras de la prestación de servicios realizados para que viabilicen el uso seguro de las radiaciones ionizantes minimizando así los niveles de exposición.

1.3.3 Jefe de Unidad de Dosimetría de las Radiaciones Ionizantes

El **Ing. Izhar N. Quispe** está encargado de la Supervisión, planificación y ejecución de las tareas destinadas al control de radiaciones ionizantes y al mejoramiento de la calidad en las actividades que se desempeñan en esta Unidad.

Requiere mucha iniciativa y poca supervisión, dado que le puede corresponder modificar, crear y elegir sobre métodos y procedimientos de trabajo para lo cual requiere de criterio, capacidad de análisis, valores e interpolación de datos e informaciones para programar actividades.

Debe resolver situaciones muy variables distintas relacionadas con su área de trabajo o la de otros puestos que requieren del razonamiento interpretativo o constructivo para obtener la solución.

1.4 Descripción de Actividades técnicas en las secciones designadas.

1.4.1 Centro de Protección y Seguridad Radiológica

1.4.1.1 Objetivo general.

Es responsable de los programas destinados al control de las radiaciones ionizantes y el mejoramiento de la calidad de las diversas instancias de aplicación de las fuentes de radiación, en cumplimiento de la ley de Protección y Seguridad Radiológica.

1.4.1.2 Objetivo de Gestión.

Proteger a la población, trabajadores y medio ambiente de los efectos nocivos de las radiaciones ionizantes.

1.4.1.3 Objetivos específicos.

- Aplicar la ley de Protección y Seguridad Radiológica y su respectiva reglamentación.
- Brindar servicios científico-técnicos que coadyuven la aplicación de la ley de Protección y Seguridad Radiológica, y su respectiva reglamentación.
- Revisión y preparación de documentos regulatorios.
- Relacionamiento con otras autoridades competentes y autoridades reguladoras.

1.4.2 Unidad de Dosimetría y Radiaciones Ionizantes.

1.4.2.1 Objetivo General.

- Brindar servicios científico-técnicos que coadyuven la aplicación de la ley de Protección y Seguridad Radiológica, y su respectiva reglamentación.

1.4.2.2 Objetivos específicos.

- Evaluar la calidad de radiación en teleterapia y en protección radiológica
- Realizar calibraciones de monitores de radiación.
- Evaluación de dosímetros personales de personas (TOE) trabajadores ocupacionalmente expuestos.

1.4.3 Unidad de Radioprotección en Instalaciones.

1.4.3.1 Objetivo de Gestión.

- Uno de los principales objetivos de esta unidad es aplicar y hacer respetar la ley de Protección y Seguridad Radiológica, así como las disposiciones relacionadas al uso seguro de las radiaciones ionizantes a las que están expuestos los trabajadores ocupacionalmente expuestos.
- Efectuar evaluaciones de la documentación para la obtención de licencias institucionales, individuales y para responsables de protección radiológica.
- Evaluar solicitudes para la importación y re-importación de fuentes de radiación ionizante.
- Recuperación de fuentes huérfanas.
- Capacitación del personal involucrado con el uso de las fuentes de radiación ionizante.
- Verificación de las condiciones de seguridad física de la instalación.

1.5 Misión Institucional.

Promover, desarrollar, coordinar, asesorar y participar en la investigación científica y tecnológica con instancias nacionales y/o internacionales afines en el uso y desarrollo de la tecnología nuclear, en la solución de problemas en los diferentes campos de aplicación y además como contra parte nacional del país.

1.6 Visión Institucional.

La ciencia y tecnología nuclear presente en todos los sectores económicos y sociales, contribuyendo efectivamente al proceso de desarrollo sostenible en Bolivia.

1.7 Objetivo estratégico.

Proteger a la población, trabajadores y medio ambiente de los efectos nocivos de las radiaciones ionizantes.

CAPITULO II

MARCO TEORICO REFERENCIAL

2.1 Radiación no Ionizante VS Ionizante.

2.1.1 Radiación no Ionizante.

Tipo de radiación de baja energía que no tiene suficiente energía como para eliminar un electrón (partícula negativa) de un átomo o molécula. La radiación no ionizante incluye la luz visible, infrarroja y ultravioleta; las microondas; las ondas de radio y la energía de radiofrecuencia de los teléfonos móviles. Se ha establecido que la mayoría de tipos de radiación no ionizante no producen cáncer

Actualmente los teléfonos móviles, o celulares, son parte integrante del moderno sistema de telecomunicaciones. En muchos países los utiliza más del 50% de la población, y el mercado está creciendo rápidamente. A finales de 2009 había en todo el mundo unos 6900 millones de contratos de telefonía móvil. En algunos lugares, esos aparatos son los más fiables o los únicos disponibles.

Dado el gran número de usuarios de teléfonos móviles, es importante investigar, comprender y seguir de cerca las repercusiones que podrían tener en la salud pública.

Los móviles se comunican entre sí emitiendo ondas de radio a través de una red de antenas fijas denominadas «estaciones base». Las ondas de radiofrecuencia son campos electromagnéticos, pero, a diferencia de las radiaciones ionizantes, como los rayos X o gamma, no pueden escindir los enlaces químicos ni causar ionización en el cuerpo humano.

2.1.2 Niveles de exposición

Los teléfonos móviles son transmisores de radiofrecuencias de baja potencia, pues funcionan en un intervalo de frecuencias de entre 450 y 2700 MHz y tienen un pico de potencia que va de 0,1 a 2 vatios. El aparato sólo transmite energía cuando está encendido. La potencia (y por lo tanto la exposición del usuario a las radiofrecuencias) desciende rápidamente al aumentar la distancia con el dispositivo. Una persona que utiliza el teléfono móvil a una distancia de entre 30 y 40 centímetros de su cuerpo – por ejemplo, al escribir mensajes de texto, navegar por Internet o cuando se utiliza un dispositivo «manos libres» – estará mucho menos expuesta a campos de radiofrecuencia que quienes lo utilizan acercando el aparato a su cabeza.

Además de utilizar dispositivos «manos libres», que permiten mantener el teléfono separado de la cabeza y el cuerpo durante la llamada, el nivel de exposición también se reduce si se disminuye la cantidad de llamadas y su duración. El empleo del teléfono en zonas con una buena recepción también conlleva una disminución del nivel de exposición, ya que de ese modo el aparato transmite a una potencia reducida. La eficacia de ciertos dispositivos comerciales ideados para reducir la exposición a los campos electromagnéticos no está demostrada.

Los teléfonos móviles suelen estar prohibidos en los hospitales y a bordo de los aviones, ya que las señales de radiofrecuencia pueden interferir con ciertos aparatos médicos electrónicos y con los sistemas de navegación aérea.

2.1.3 Efectos en la salud.

En los dos últimos decenios se ha realizado un gran número de estudios para determinar si los teléfonos móviles pueden plantear riesgos para la salud. Hasta la fecha no se ha confirmado que el uso del teléfono móvil tenga efectos perjudiciales para la salud.

2.1.4 Efectos a corto plazo

La principal consecuencia de la interacción entre la energía radioeléctrica y el cuerpo humano es el calentamiento de los tejidos. En el caso de las frecuencias utilizadas por los teléfonos móviles, la mayor parte de la energía es absorbida por la piel y otros tejidos superficiales, de modo que el aumento de temperatura en el cerebro o en otros órganos del cuerpo es insignificante.

En varios estudios se han investigado los efectos de los campos de radiofrecuencia en la actividad eléctrica cerebral, la función cognitiva, el sueño, el ritmo cardíaco y la presión arterial en voluntarios. Hasta la fecha, esos estudios parecen indicar que no hay pruebas fehacientes de que la exposición a campos de radiofrecuencia de nivel inferior a los que provocan el calentamiento de los tejidos tenga efectos perjudiciales para la salud.

Además, tampoco se ha conseguido probar que exista una relación causal entre la exposición a campos electromagnéticos y ciertos síntomas notificados por los propios pacientes, fenómeno conocido como «hipersensibilidad electromagnética».

2.1.5 Efectos a largo plazo

Las investigaciones epidemiológicas para analizar los posibles riesgos a largo plazo derivados de la exposición a las radiofrecuencias se han centrado sobre todo en hallar un nexo entre los tumores cerebrales y el uso de teléfonos móviles. Sin embargo, dado que numerosos tipos de cáncer no son detectables hasta muchos años después del contacto que pudo provocar el tumor y el uso de los teléfonos móviles no se generalizó hasta principios del decenio de 1990, a día de hoy en los estudios epidemiológicos sólo pueden analizarse los tipos de cáncer que se manifiestan en un plazo más breve.

Se han realizado o están en curso varios estudios epidemiológicos multinacionales de gran envergadura, entre ellos estudios de casos y testigos y estudios prospectivos de cohortes, en los que se han examinado varios criterios de valoración en adultos. El mayor estudio retrospectivo de casos y testigos en adultos realizado hasta la fecha, conocido como INTERPHONE, coordinado por el Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (CIIC), se ideó para determinar si había vínculos entre el uso de los teléfonos móviles y el cáncer de cabeza y cuello en adultos.

El análisis de los datos internacionales combinados procedentes de 13 países participantes no reveló un aumento del riesgo de glioma ni meningioma con el uso del teléfono móvil durante más de 10 años. Hay ciertos indicios de un aumento del riesgo de glioma en las personas que se hallaban en el 10% más alto de horas acumuladas de uso del móvil, aunque no se observó una tendencia uniforme de aumento del riesgo con el mayor tiempo de uso. Los investigadores señalaron que los sesgos y errores limitan la solidez de estas conclusiones e impiden hacer una interpretación causal. Basándose en

buena parte en estos datos, el CIIC ha clasificado los campos electromagnéticos de radiofrecuencia como posiblemente carcinógenos para los seres humanos (grupo 2B), categoría que se utiliza cuando se considera que una asociación causal es creíble, pero el azar, los sesgos o los factores de confusión no pueden descartarse con una confianza razonable.

Si bien los datos obtenidos en el estudio INTERPHONE no indican un aumento del riesgo de sufrir tumores cerebrales, el uso cada vez mayor del teléfono móvil y la falta de datos referentes a su utilización por periodos de más de 15 años hacen evidente la necesidad de seguir investigando la relación del uso de este aparato con el riesgo de contraer cáncer cerebral. En concreto, dada la reciente popularidad de los teléfonos móviles entre los jóvenes y, por consiguiente, la posibilidad de una exposición más prolongada a lo largo de la vida, la OMS ha impulsado que se ahonden las investigaciones en este grupo de población. En estos momentos, se están llevando a cabo diversos estudios que investigan los posibles efectos sobre la salud de niños y adolescentes.

2.1.6 Directrices sobre los límites de exposición

Los límites de exposición a las radiofrecuencias de los usuarios de teléfonos móviles se expresan según el coeficiente de absorción específica, es decir, la tasa de absorción de energía de radiofrecuencia por unidad de masa corporal. En la actualidad dos entidades internacionales han elaborado directrices sobre los límites de exposición para los trabajadores y para el público en general, a excepción de los pacientes sometidos a diagnóstico médico o tratamiento. Esas orientaciones se basan en un análisis pormenorizado de los datos científicos disponibles.

La radiación electromagnética es energía transmitida a través de un medio (aire, agua...) en forma de onda o partículas. Dependiendo de la cantidad de energía que emiten, se dividen en radiaciones ionizantes y radiaciones no ionizantes.

La exposición a campos electromagnéticos en el lugar de trabajo no es tan evidente como la relativa al ruido o las vibraciones mecánicas, por ejemplo. Sin embargo, su presencia puede provocar alteraciones en el cuerpo humano y, por ello, entraña ciertos riesgos en función de:

- La frecuencia de radiación (a más frecuencia, mayor energía).
- La intensidad de la radiación recibida.

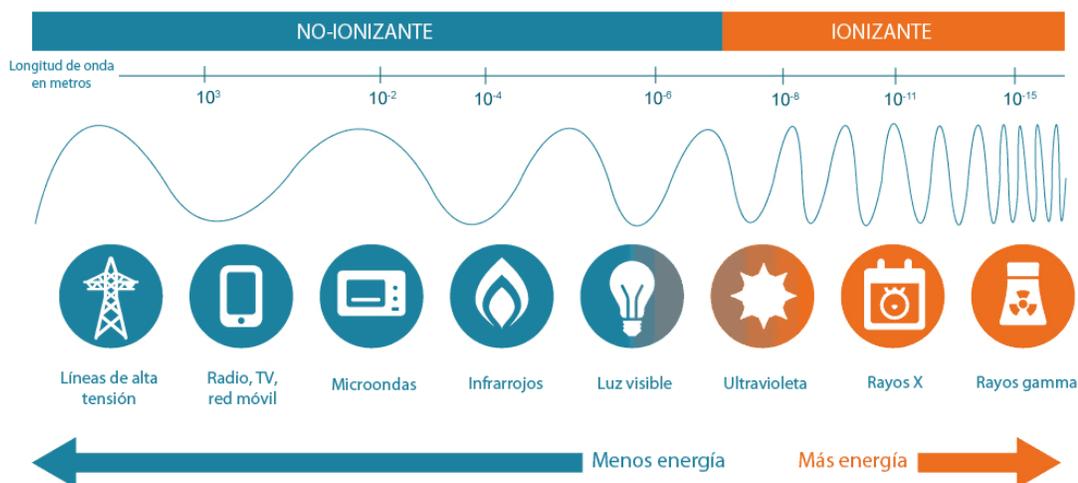


Figura 4 *Tabla de radiación*

Fuente: <https://curiosoando.com>

2.1.7 Efectos en la salud.

La especie humana vive en un manantial electromagnético natural, el campo geomagnético y los fenómenos ondulatorios electromagnéticos atmosféricos. Ahora se deben añadir los producidos por la actividad humana. En un principio estos estaban referidos a las torres eléctricas, algunos aparatos electrodomésticos, usos industriales específicos y los radares. En los últimos años se ha apreciado un incremento sin precedentes de fuentes de campos electromagnéticos (CEM) utilizados con fines diferentes. Se han empleados en la industria, la medicina, el comercio y prácticamente han invadido la vida diaria. El grado de producción ha alcanzado niveles tales que los expertos alertan de una contaminación electromagnética ambiental (electrosmog). Si esto es así es obvio que incidan de algún modo sobre la salud humana.

Los CEM sobre la base de la longitud y frecuencia de sus ondas se subdividen en varios tipos, por lo que se puede hablar de un espectro electromagnético. Ellos se clasifican según su frecuencia en los de frecuencia de menos de 3 kHz. Como son, la resonancia magnética nuclear para diagnóstico médico, neveras, secadores de pelo, líneas de alta tensión y los que su frecuencia varía de 3 kHz a 30 MHz entre ellos, los monitores de computadoras personales, las antenas de radionavegación, radiodifusión modulada, antenas de radioaficionados y otras. Además, están las que comprenden de 30 MHz a 300 GHz y en este grupo se incluyen los teléfonos celulares, hornos de microonda, antenas de estaciones de televisión, los radares en general y los radiolocalizadores en particular. Según esta clasificación los CEM son de los tipos de baja frecuencia (0,03-0,3 MHz), Media frecuencia (0,3-3MHz), alta frecuencia (3-30 MHz), muy alta frecuencia

(30-300MHz), ultra alta frecuencia (0,3-3 GHz), supra alta frecuencia (3-30 GHz) y muy alta frecuencia (30-300GHz).

Algunos efectos biológicos pueden ser inocuos, por ejemplo, la radiación solar, principalmente los rayos ultravioletas, producen el incremento del flujo sanguíneo de la piel como respuesta a un ligero calentamiento del cuerpo; pueden ser ventajosos porque ayudan en la producción de vitamina D o adversos porque pueden producir cáncer de piel.

Las oscilaciones electromagnéticas se propagan en el espacio en línea recta y al incidir sobre los cuerpos pueden o bien penetrar, reflejarse o absorberse. En dependencia de estos 3 factores se produce su efecto sobre los organismos vivos, a mayor penetración y absorción de energía mayor será su acción biológica.

Se plantea que los efectos de las radiaciones no ionizantes son de 3 tipos: térmico, no térmicos y atérmicos.

2.1.7.1 Efectos térmicos.

Cuando la energía electromagnética causa un aumento medible en la temperatura del objeto o persona (más de 1 °C.^{7,8} La absorción de radiofrecuencias en un medio ambiental tiene aparejado calentamiento.⁹ La intensidad de la radiación al actuar particularmente en el organismo humano, provoca un incremento de temperatura y produce un cambio en la orientación espacial (oscilación) de las moléculas bipolares, principalmente del agua y los iones en los tejidos; los órganos más afectados son el cristalino, humor vítreo del ojo, los órganos parenquimatosos y glándulas como el hígado, páncreas, ganglios linfáticos, las gónadas, órganos huecos como el estómago, vejiga y vesícula biliar.

También provocan dilatación de los poros de la barrera hematoencefálica, la que a su vez hace permeable a determinadas sustancias que no deberían entrar en las neuronas, es por ello que las radiaciones se relacionan con tumores cerebrales, enfermedad de Alzheimer y pérdida de la memoria, así como las alteraciones de los procesos de sueño y vigilia que pueden llevar a la depresión, cansancio e incluso propensión al suicidio.

El calentamiento inducido por radiaciones provoca varias respuestas tanto fisiológicas como termorreguladores, incluyendo la capacidad para realizar tareas físicas y mentales debido al aumento de la temperatura corporal.

Niveles muy bajos de radiaciones producen pequeños aumentos de la temperatura local de la parte sometida a dicha radiación; pero este calentamiento es compensado por los centros termorreguladores normales del cuerpo humano (mecanismos homeostáticos), sin que el individuo note dicho aumento de temperatura. El verdadero problema está cuando el tiempo de exposición y la cantidad de radiación rompen este equilibrio.

El tipo de radiaciones que producen esas afectaciones en el hombre están reguladas tanto nacional como internacionalmente ya que se conoce su acción drástica sobre la salud humana y se han tomado medidas para proteger al hombre.

2.1.7.2 Efectos no térmicos.

Se producen cuando la energía de la onda es insuficiente para elevar la temperatura por encima de las fluctuaciones de temperatura normales del sistema biológico. Hay evidencias de que exposiciones prolongadas a radiaciones de baja intensidad sean potencialmente nocivas, por el efecto no térmico de la exposición a radiaciones.

En los CEM con frecuencias por debajo de 1MHz no se produce calentamiento significativo, sino que inducen corrientes y campos eléctricos en los tejidos, se observan en alteraciones del electroencefalograma, cambios en la actividad colinérgica de animales que pudieran influir en la salud, sin embargo, las investigaciones en este campo están limitadas, de hecho, la Organización Mundial de la Salud no presta mucha atención a los efectos no térmicos. Un numeroso grupo de investigadores norteamericanos y de países miembros del Tratado del Atlántico Norte (OTAN), niegan la posibilidad de que los campos de radiofrecuencias provoquen algún tipo de respuesta biológica que no sea de origen térmico. Su argumento fundamental es que este tipo de ondas no generan respuestas mutagénicas y no influyen en la iniciación de cánceres.¹⁴⁻¹⁶

Los científicos rusos y de otros países reconocen la acción acumulativa de este tipo de radiaciones, principalmente en personas que han trabajado por 5 años o más con equipos de radiolocalización.

En un estudio en gatos y conejos, las ondas electromagnéticas de baja intensidad (insuficientes para producir efecto térmico) alteraron la actividad cerebral, atribuida a la movilidad del ion calcio.

2.1.7.3 Efectos atérmicos.

Se producen cuando hay energía suficiente para causar un aumento de la temperatura corporal sin que se observen cambios en la temperatura debido al enfriamiento ambiental.

Los efectos biológicos observados por este tipo de radiación son principalmente inducir corrientes eléctricas que pueden estimular las células nerviosas y musculares.

2.1.8 Influencia de las Radiaciones no Ionizantes sobre la salud humana

2.1.8.1 Aparato reproductor

Existe consenso del efecto nocivo que ejercen las ondas electromagnéticas sobre el sistema reproductor, en especial la función testicular. También están los trabajos de Prasad quien estudió 100 trabajadores (59 soldadores y 41 sastres) sin encontrar alteraciones significativas sobre la fertilidad.

Se ha reportado que en mujeres expuestas a CEM aumenta casi el doble la probabilidad de sufrir un aborto espontáneo. Sin embargo, otros autores no coinciden con estos resultados.

2.1.8.2 Cáncer

Son numerosos los trabajos que hacen referencia al posible efecto cancerígeno de las radiaciones no ionizantes. Los resultados obtenidos por estos y otros autores son inconsistentes, resultan ser estudios muy diferentes en cuanto al diseño, ejecución e interpretación de los experimentos realizados. Ni los efectos encontrados ni sus implicaciones sobre la salud humana están suficientemente dilucidados científicamente.

Hay autores que han reportado síntomas neuropsíquicos independientes como son la confusión, pereza, pérdida de la memoria, ansiedad, depresión y otros autores lo agrupan como síndrome de las microondas.

2.1.8.3 Genéticas

Actualmente se plantea que por debajo de los niveles a que se dan los efectos térmicos, las ondas electromagnéticas no generan respuestas mutagénicas y no influyen en la iniciación de cánceres.

En las investigaciones revisadas, solo se encontraron estudios en las bandas de frecuencias pertenecientes a las radiofrecuencias (menor de 300 MHz) o en las microondas, no de las bandas de las ultra altas frecuencias (entre 0,3-3 Ghz).

Las investigaciones sobre radiofrecuencias no han despejado las dudas sobre la influencia de los CEM sobre el hombre.

Muchos son los intereses de tipo económico que se mueven alrededor del tema, de ahí la falta de estudios y de consenso en las investigaciones.



Figura 5 Efectos de las radiaciones no ionizantes

Fuente: <http://www.jmcprl.net>

La Organización Mundial de la Salud reconoce que los estudios epidemiológicos realizados hasta el momento son insuficientes para evaluar los riesgos en la salud que causa la exposición a las radiofrecuencias.

2.1.9 Un estudio dice que las antenas son peligrosas y otro que no. ¿Cuál me creo?

Seguro que ha escuchado que no debe dormir con el móvil en la mesilla o no hablar mientras se carga. O que, incluso, produce cáncer. Que los científicos no se ponen de acuerdo. Que existe evidencia científica contradictoria que no permite concluir nada. Que las empresas de telefonía compran a los científicos.

Por el contrario, también habrá escuchado que no hay peligro alguno. Que con los límites establecidos por la Comisión Internacional para la Protección ante la Radiación No-Ionizante no debemos preocuparnos. Es posible que le hayan hablado del negocio existente tras el miedo electromagnético. Si la ciencia es evidencia y objetividad, ¿qué está pasando?

2.1.9.1 No hay alarma

Los posibles efectos sobre la salud de los campos electromagnéticos emitidos por móviles, antenas, wifi y cualquier dispositivo inalámbrico, generan debate en la opinión pública. Mucho menos entre los científicos en el seno de la Sociedad Europea de Bioelectromagnetismo y la Sociedad de Bioelectromagnetismo.

Existen estudios toxicológicos, epidemiológicos y de determinación de dosis. Estudios que han sido reproducidos en diferentes condiciones, por diferentes equipos

independientes y en otras partes del mundo. En conjunto, aportan resultados tan abrumadores que, en condiciones normales, no avalan los riesgos sobre la salud.

A pesar de ello, los científicos no se cierran al estudio de posibles efectos en condiciones muy específicas. Estos no justificarían una alarma generalizada, pero deben ser tenidos en cuenta. En ocasiones no podremos extrapolarlos a seres humanos, pues fueron obtenidos en condiciones de laboratorio, muy diferentes a las habituales. Por ejemplo, en animales o con células.

2.2 Radiación Ionizante.

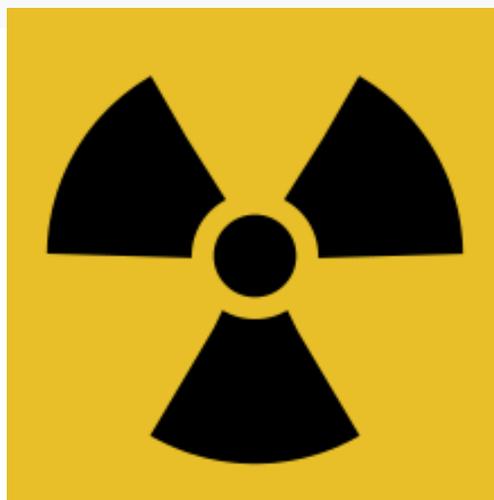


Figura 6 Señal de riesgo por radiación

Fuente: <https://es.wikipedia.org>

La radiación ionizante es un tipo de energía liberada por los átomos en forma de ondas electromagnéticas (rayos gamma o rayos X) o partículas (partículas alfa y beta o neutrones). La desintegración espontánea de los átomos se denomina radiactividad, y la

energía excedente emitida es una forma de radiación ionizante. Los elementos inestables que se desintegran y emiten radiación ionizante se denominan radionúclidos.

Cada radionúclido se caracteriza por el tipo de radiación que emite, la energía de la radiación y su semivida.

La actividad, utilizada como medida de la cantidad de un radionúclido, se expresa en una unidad llamada becquerel (Bq): un becquerel corresponde a una desintegración por segundo. La semivida es el tiempo necesario para que la actividad de un radionúclido disminuya por la desintegración a la mitad de su valor inicial. La semivida de un elemento radiactivo es el tiempo que tarda la mitad de sus átomos en desintegrarse, y puede variar desde una fracción de segundo a millones de años (por ejemplo, el yodo 131 tiene una semivida de 8 días mientras que el carbono 14 tiene una semivida de 5730 años).

2.2.1 Radiaciones y tipos de radiación.

Existen otros procesos de emisión de energía, como por ejemplo el debido a una lámpara, un calentador (llamado radiador precisamente por radiar calor o radiación infrarroja), o la emisión de radio ondas en radiodifusión, que reciben el nombre genérico de radiaciones.

Las radiaciones ionizantes pueden provenir de sustancias radiactivas, que emiten dichas radiaciones de forma espontánea, o de generadores artificiales, tales como los generadores de rayos X y los aceleradores de partículas.

Las procedentes de fuentes de radiaciones ionizantes que se encuentran en la corteza terráquea de forma natural, pueden clasificarse como compuestas por partículas alfa, beta, rayos gamma o rayos X. También se pueden producir fotones ionizantes cuando una partícula cargada que posee una energía cinética dada, es acelerada (ya sea de forma positiva o negativa), produciendo radiación de frenado, también llamada bremsstrahlung, o de radiación sincrotrón por ejemplo (hacer incidir electrones acelerados por una diferencia de potencial sobre un medio denso como Wolframio, plomo o hierros es el mecanismo habitual para producir rayos X). Otras radiaciones ionizantes naturales pueden ser los neutrones o los muones.

Las radiaciones ionizantes interaccionan con la materia viva, produciendo diversos efectos. Del estudio de esta interacción y de sus efectos se encarga la radiobiología.

Se utilizan, desde su descubrimiento por Wilhelm Conrad Roentgen en 1895, en la medicina y en la industria. La aplicación más conocida son los aparatos de rayos X, o el uso de fuentes de radiación en el ámbito médico, tanto en diagnóstico (gammagrafía) como en el tratamiento (radioterapia en oncología, por ejemplo) mediante el uso de fuentes (p.ej. cobaltoterapia) o aceleradores de partículas.

2.2.2 Fuentes de radiación

Las personas están expuestas a diario tanto a la radiación de origen natural o humano. La radiación natural proviene de muchas fuentes, como los más de 60 materiales radiactivos naturales presentes en el suelo, el agua y el aire. El radón es un gas natural que emana de las rocas y la tierra y es la principal fuente de radiación natural. Diariamente inhalamos e ingerimos radionúclidos presentes en el aire, los alimentos y el agua.

Asimismo, estamos expuestos a la radiación natural de los rayos cósmicos, especialmente a gran altura. Por término medio, el 80% de la dosis anual de radiación de fondo que recibe una persona procede de fuentes de radiación natural, terrestre y cósmica. Los niveles de la radiación de fondo varían geográficamente debido a diferencias geológicas. En determinadas zonas la exposición puede ser más de 200 veces mayor que la media mundial.

La exposición humana a la radiación proviene también de fuentes artificiales que van desde la generación de energía nuclear hasta el uso médico de la radiación para fines diagnósticos o terapéuticos. Hoy en día, las fuentes artificiales más comunes de radiación ionizante son los dispositivos médicos, como los aparatos de rayos X.

2.2.3 Exposición a la radiación ionizante

La exposición a la radiación puede ser interna o externa y puede tener lugar por diferentes vías.

La exposición interna a la radiación ionizante se produce cuando un radionúclido es inhalado, ingerido o entra de algún otro modo en el torrente sanguíneo (por ejemplo, inyecciones o heridas). La exposición interna cesa cuando el radionúclido se elimina del cuerpo, ya sea espontáneamente (por ejemplo, en los excrementos) o gracias a un tratamiento.

La exposición externa se puede producir cuando el material radiactivo presente en el aire (polvo, líquidos o aerosoles) se deposita sobre la piel o la ropa. Generalmente, este tipo de material radiactivo puede eliminarse del organismo por simple lavado.

La exposición a la radiación ionizante también puede resultar de la irradiación de origen externo (por ejemplo, la exposición médica a los rayos X). La irradiación externa se detiene cuando la fuente de radiación está blindada o la persona sale del campo de irradiación.

Las personas pueden estar expuestas a la radiación ionizante en circunstancias diferentes, en casa o en lugares públicos (exposiciones públicas), en el trabajo (exposiciones profesionales) o en un entorno médico (como los pacientes, cuidadores y voluntarios).

Las situaciones de exposición a la radiación ionizante pueden clasificarse en tres categorías. La primera, la exposición planificada, es el resultado de la introducción y funcionamiento deliberados de fuentes de radiación con fines concretos, como en el caso de la utilización médica de la radiación con fines diagnósticos o terapéuticos, o de su uso en la industria o la investigación. La segunda, la exposición existente, se produce cuando ya hay una exposición a la radiación y hay que tomar una decisión sobre su control, como en el caso de la exposición al radón en el hogar o en el lugar de trabajo, o de la exposición a la radiación natural de fondo existente en el medio ambiente. La tercera categoría, la exposición en situaciones de emergencia, tiene lugar cuando un acontecimiento inesperado requiere una respuesta rápida, como en el caso de los accidentes nucleares o los actos criminales.

El uso médico de la radiación representa el 98% de la dosis poblacional con origen en fuentes artificiales y el 20% de la exposición total de la población. Cada año se realizan

en el mundo más de 3600 millones de pruebas diagnósticas radiológicas, 37 millones de pruebas de medicina nuclear y 7,5 millones de tratamientos con radioterapia.

- Las radiaciones ionizantes tienen muchas aplicaciones beneficiosas en la medicina, la industria, la agricultura y la investigación.
- A medida que aumenta el uso de las radiaciones ionizantes también lo hacen los posibles peligros para la salud si no se utilizan o contienen adecuadamente.
- Cuando las dosis de radiación superan determinados niveles pueden tener efectos agudos en la salud, tales como quemaduras cutáneas o síndrome de irradiación aguda.
- Las dosis bajas de radiación ionizante pueden aumentar el riesgo de efectos a largo plazo, tales como el cáncer.

2.2.4 Efectos de las radiaciones ionizantes en la salud

El daño que causa la radiación en los órganos y tejidos depende de la dosis recibida, o dosis absorbida, que se expresa en una unidad llamada gray (Gy). El daño que puede producir una dosis absorbida depende del tipo de radiación y de la sensibilidad de los diferentes órganos y tejidos.

Para medir la radiación ionizante en términos de su potencial para causar daños se utiliza la dosis efectiva. La unidad para medirla es el sievert (Sv), que toma en consideración el tipo de radiación y la sensibilidad de los órganos y tejidos.

Es una manera de medir la radiación ionizante en términos de su potencial para causar daño. El sievert tiene en cuenta el tipo de radiación y la sensibilidad de los tejidos y

órganos. El sievert es una unidad muy grande, por lo que resulta más práctico utilizar unidades menores, como el milisievert (mSv) o el microsievert (μSv). Hay 1000 μSv en 1 mSv, y 1000 mSv en 1 Sv. Además de utilizarse para medir la cantidad de radiación (dosis), también es útil para expresar la velocidad a la que se entrega esta dosis (tasa de dosis), por ejemplo, en microsievert por hora ($\mu\text{Sv/hora}$) o milisievert al año (mSv/año).

Más allá de ciertos umbrales, la radiación puede afectar el funcionamiento de órganos y tejidos, y producir efectos agudos tales como enrojecimiento de la piel, caída del cabello, quemaduras por radiación o síndrome de irradiación aguda.

Si la dosis de radiación es baja o la exposición a ella tiene lugar durante un periodo prolongado (baja tasa de dosis), el riesgo es considerablemente menor porque hay más probabilidades de que se reparen los daños. No obstante, sigue existiendo un riesgo de efectos a largo plazo, como el cáncer, que pueden tardar años, o incluso decenios, en aparecer. No siempre aparecen efectos de este tipo, pero la probabilidad de que se produzcan es proporcional a la dosis de radiación. El riesgo es mayor para los niños y adolescentes, pues son mucho más sensibles a la radiación que los adultos.

Los estudios epidemiológicos realizados en poblaciones expuestas a la radiación, como los supervivientes de la bomba atómica o los pacientes sometidos a radioterapia, han mostrado un aumento significativo del riesgo de cáncer con dosis superiores a 100 mSv. Estudios epidemiológicos más recientes efectuados en pacientes expuestos por motivos médicos durante la infancia (TC pediátrica) indican que el riesgo de cáncer puede aumentar incluso con dosis más bajas (entre 50 y 100 mSv).

La radiación ionizante puede producir daños cerebrales en el feto tras la exposición prenatal aguda a dosis superiores a 100 mSv entre las 8 y las 15 semanas de gestación y a 200 mSv entre las semanas 16 y 25. Los estudios en humanos no han demostrado riesgo para el desarrollo del cerebro fetal con la exposición a la radiación antes de la semana 8 o después de la semana 25. Los estudios epidemiológicos indican que el riesgo de cáncer tras la exposición fetal a la radiación es similar al riesgo tras la exposición en la primera infancia.

2.2.5 Efectos biológicos

Los efectos biológicos producidos por la radiación se clasifican en somáticos y hereditarios; son somáticos si se manifiestan en el individuo expuesto; son hereditarios si se manifiestan en la descendencia del individuo expuesto.

2.2.6 Efectos somáticos

Se pueden clasificar según:

Relación dosis-efecto: en efectos estocásticos y deterministas.

Tiempo de aparición de los signos: en tempranos (horas a días) y tardíos (meses a años).

Posición de la fuente con respecto al órgano comprometido: en exposición externa (rayos X) y contaminación interna (radioisótopos).

2.2.7 Efectos localizados

2.2.7.1 Efectos en la piel

Las radiaciones inducen a un daño a nivel del sistema inmune de la piel, además de un bloqueo a nivel de los factores de crecimiento de los distintos tipos celulares. Se producen alteraciones en huellas digitales, las cuales tienden a desaparecer; el vello de las manos desaparece; las uñas pueden volverse quebradizas, agrietadas o acanaladas; o puede incluso presentarse radiodermatitis crónica.

2.2.7.2 La radiodermatitis crónica

Puede presentarse cuando la dosis total de radiación alcanza como mínimo los 20 a 30 Gy (gray). Sus manifestaciones son parestesias, trastornos de la sensibilidad, dolor, prurito, sequedad de la piel, desaparición de las líneas en las palmas de las manos y en las superficies de las falanges terminales y distrofia moderada de las uñas de los dedos. Después de dosis acumuladas del orden de 40 Gy aparecen grietas dolorosas en la piel, hiperqueratosis focal e hiperemia congestiva. Las úlceras tardías por radiación pueden presentarse después de dosis acumuladas de 50 Gy o más. Esta dolencia tiene un curso muy lento y la capacidad curativa del cuerpo queda notablemente disminuida. En el lugar de la lesión puede presentarse a veces un carcinoma cutáneo por radiación.

2.2.7.3 Irradiación de la región abdominal

Las primeras manifestaciones son algunos trastornos en la alteración de la motilidad intestinal y la secreción de jugos gástricos que puede quedar interrumpida transitoria o permanentemente. Las ulceraciones provocadas por la irradiación pueden conducir a

sobre infecciones localizadas que pueden extenderse al torrente circulatorio provocando trastornos sépticos graves. Los daños más graves se registran a nivel del epitelio de intestino delgado. Dosis mayores de 15- 20 Gy son letales; dosis menores permite una recuperación en 21 días.

2.2.7.4 Irradiación gonadal

Está muy difundida la creencia de que la irradiación laboral puede determinar impotencia y esterilidad, temor que es completamente infundado, por cuanto las dosis necesarias para determinar la esterilidad solamente pueden alcanzarse tras elevadas exposiciones, que solo pueden darse en caso de radioterapia, agresión o accidente nuclear. No existe riesgo de esterilidad en trabajadores de las radiaciones, salvo si el trabajo es realizado de forma incorrecta, sin atenerse a las normas de protección, en cuyo caso podría, a veces, presentarse esterilidad a muy largo plazo.

2.2.7.5 Irradiación torácica

A nivel pulmonar produce un cuadro de neumonitis y posterior fibrosis que se presenta entre 8 a 16 semanas de la exposición al que se le denomina neumonitis por radiación y se caracteriza por disnea, tos y febrícula que puede ceder espontáneamente en semanas. Como complicaciones de estas alteraciones se encuentran sobreinfecciones de bronquiectasias que se forman tardíamente.

Además, se indican hallazgos en las placas de rayos X de tórax simple y la tomografía axial computarizada que inicialmente son escasos, pero que posteriormente incluyen opacidades, consolidaciones discretas, retracciones, bandas de fibrosis e

infiltrados parentaquimatosos. En las pruebas de función pulmonar se encuentra una disminución de la capacidad vital que puede retornar a la normalidad en el año siguiente.

A nivel cardíaco produce disfunción ventricular derecha, pericarditis oculta y disfunción valvular. En el electrocardiograma se encuentran arritmias y trastornos de la conducción como bloqueos AV. En ocasiones no se encuentra ningún tipo de alteración evidente.

2.2.7.6 Efectos oculares

Con dosis locales de 2 Gy puede provocar opacidad del cristalino seguida de formación de cataratas. La importancia de la lesión, como el tiempo de desarrollo de la misma, depende de la dosis administrada. Es típica la formación de una catarata subcapsular por radiación en el polo posterior del cristalino. En sus primeros estadios es muy fácil distinguirla de una catarata senil; sin embargo, esto deja de ser posible si está también afectado el núcleo del cristalino.

2.2.7.7 Efectos renales

Con dosis de 7 a 8 Gy se puede producir algunos trastornos funcionales que pueden llevar a cuadros de nefrosclerosis, con engrosamiento de las arteriolas, hipertensión e insuficiencia renal.

2.2.7.8 Efectos en tiroides

A bajas dosis se puede desarrollar enfermedad nodular y tener un riesgo sustancial de cáncer. Se observan efectos como el hipotiroidismo franco o en la mayoría de las ocasiones, subclínico.

2.2.7.9 Irradiación de cuerpo entero

Síndrome cerebral: cefalea, fiebre, hipotensión, náuseas, vómito y diarrea, se presentan a los 30 minutos de exposición, a dosis de 50-100 Gy lleva a la muerte al cabo de 1-2 días.

La irradiación de todo el cuerpo con más de 1 Gy de radiación penetrante en una sola exposición o a lo largo de 1 o 2 días produce el llamado Síndrome de Radiación Agudo que se caracteriza por las lesiones y la muerte de las células y los tejidos expuestos.

Síndrome de médula ósea: se presenta con dosis mayores a 10 Gy, para lo cual no hay terapia adecuada y la muerte sobreviene al cabo de horas o días. Con dosis menores de 1 Gy, el síndrome de médula ósea, aun siendo letal, es susceptible de tratamiento. Las irradiaciones accidentales ocasionan diversas alteraciones de las series celulares, encontrándose inicialmente linfopenia, neutropenia y granulocitopenia en general.

2.3 Protección Radiológica.

Es el conjunto de medidas establecidas por los organismos competentes para la utilización segura de las radiaciones ionizantes y garantizar la protección de los individuos, de sus descendientes, de la población en su conjunto, así como del medio ambiente, frente a los posibles riesgos que se deriven de la exposición a las radiaciones ionizantes.

La protección radiológica tiene un doble objetivo: proteger a las personas y el medio ambiente de los efectos nocivos de la radiación, pero sin limitar indebidamente las prácticas que, dando lugar a exposición a las radiaciones, suponen un beneficio para la sociedad o sus individuos.

Para conseguir cumplir el objetivo fundamental de la protección radiológica se establecen tres principios básicos:

2.3.1 Justificación:

Toda actividad que pueda incrementar la exposición a radiaciones ionizantes debe producir el suficiente beneficio a los individuos expuestos o a la sociedad como para compensar el perjuicio debido a la exposición a la radiación.

2.3.2 Optimización:

Para cualquier fuente de radiación, las dosis individuales, el número de personas expuestas, y la probabilidad de verse expuestas, deben mantenerse tan bajas como sea razonablemente posible, teniendo en cuenta consideraciones sociales y económicas

2.3.3 Limitación de dosis:

La exposición individual al conjunto de las fuentes de radiación susceptibles de control, ha de estar sujeta a límites en la dosis recibida y, en el caso de exposiciones potenciales, a cierto control del riesgo. Estos límites son diferentes para el público y para los trabajadores profesionalmente expuestos. Una persona se considera profesionalmente expuesta si como consecuencia de su actividad laboral, está expuesta a radiaciones ionizantes con una probabilidad de recibir 1/10 de los límites de dosis. El resto de las personas se consideran miembros del público.

El límite de dosis efectiva es 20 milisievert en un año.este valor debe ser considerado como promedio en 5 años (100 milisievert en 5 años), no pudiendo exceder 50milievert en un año.

2.3.4 Diferencias entre radiaciones ionizantes y radiaciones no ionizantes

La gran diferencia entre las radiaciones ionizantes y las no ionizantes es la energía que transmiten. En el caso de las primeras, esta energía es capaz de ionizar la materia, es decir, de arrancar electrones de la corteza de los átomos y, por tanto, es capaz de producir daños irreversibles en los tejidos. En cambio, las radiaciones no ionizantes no emiten la energía suficiente como para producir tales modificaciones en el átomo, pero sí que pueden tener efectos nocivos sobre la salud de los trabajadores.

Existen dos principales tipos de radiaciones no ionizantes:

- Campos electromagnéticos de 0 Hz hasta 300 GHz: aquí entrarían las radiaciones ELF (bajas en extremo, de 0 Hz a 30 kHz), radiofrecuencias (30 kHz a 300 MHz) y las microondas (300 MHz a 300 GHz).
- Radiaciones ópticas de 300 GHz a 1.660 THz: infrarrojos (300 GHz a 400 THz), visibles (400 THz a 750 THz), ultravioletas (750 THz a 1.660 THz).

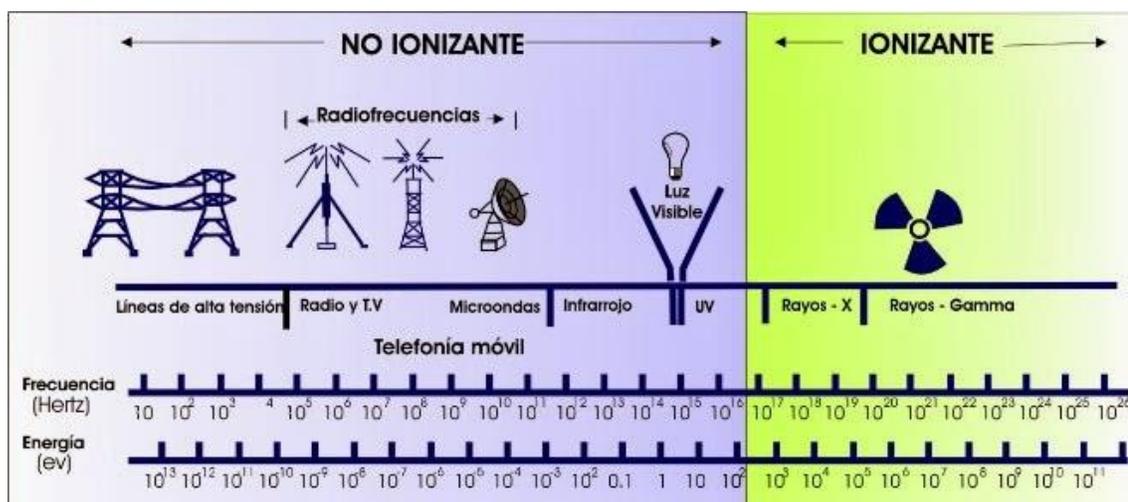


Figura 7 Tabla de frecuencias

Fuente: <https://fci.uib.es>

2.4 Definición de dosimetría.

La Dosimetría de las Radiaciones Ionizantes se ocupa de la medida de la dosis absorbida por un material o tejido como consecuencia de su exposición a las radiaciones ionizantes presentes en un campo de radiación.

La dosis absorbida se define como la energía absorbida por unidad de masa y depende de la naturaleza y características del campo de radiación, del material o tejido irradiado y de los complejos procesos de interacción materia-radiación.

CAPITULO III

ACTIVIDADES DESARROLLADAS EN LA PASANTIA

A continuación, describo el procedimiento que se realizó para el apoyo de calibración de equipos de protección radiológica y el apoyo en laboratorio de dosimetría. Dicha calibración y apoyo se lo realizo en el Instituto de Ciencia y Tecnología Nuclear.

3.1 Descripción de la tarea

Las tareas encomendadas en la Institución fueron designadas por el encargado jefe de Unidad de Dosimetría de las Radiaciones. El trabajo se desarrolló en dos laboratorios los cuales son:

Laboratorio de Dosimetría y laboratorio de Calibración.

3.1.1 Laboratorio de Dosimetría.

3.1.2 Dosimetría

Cuando el objeto de la medida de dosis es el cuerpo humano, se habla de Dosimetría Personal y su finalidad es, en este caso, prevenir o limitar la aparición de efectos nocivos producidos por la radiación.

El objetivo de la dosimetría es medir las dosis absorbidas (cualquier otra magnitud radiológica relacionada), para realizar la vigilancia radiológica de los trabajadores expuestos a las radiaciones ionizantes. En una instalación se pueden realizar dos tipos de medida:

- Medida de la tasa de exposición o tasa de dosis absorbida en las áreas de trabajo (dosimetría ambiental) con equipos que registren en puntos clave de la instalación.
- Medida periódica de las dosis acumuladas por cada individuo durante su jornada laboral (dosimetría personal), utilizando dispositivos que registren las dosis que recibe individualmente cada persona en esa instalación.

Una de las herramientas fundamentales en el control de los efectos biológicos nocivos que pueden producir las radiaciones ionizantes es la cuantificación de la dosis efectiva recibida por los trabajadores, a fin de lograr la máxima seguridad durante el empleo de las radiaciones ionizantes.

Para lograr los mejores estándares de seguridad es necesario contar con un servicio de dosimetría personal confiable. Esta confiabilidad se logra a partir de una correcta organización y, fundamentalmente, una sólida formación técnica de sus profesionales.

La dosimetría de las radiaciones ionizantes forma parte de la radiología y se ocupa de la medida de la dosis absorbida por un material o un tejido como consecuencia de su exposición a radiaciones ionizantes presentes en un campo de radiación, operación que se realiza con unos detectores especialmente calibrados llamados dosímetros



Figura 8 Dosímetro TLD

Fuente: <https://www.ecured.cu>

3.1.3 Fluoruro de Litio

El fluoruro de litio es el otro material de uso común para los TLD. Además de la radiación gamma, también se utiliza para detectar la exposición a la radiación ionizante de las partículas beta y neutrones en reactores nucleares. El TLD de fluoruro de litio se utiliza generalmente para detectores de radiación personales, tales como los usados por los trabajadores en el tronco que dan lecturas de todo el cuerpo, o la versión de extremidades que detecta los niveles de exposición de radiación a las manos.

3.1.4 Cómo funciona y cómo se usa

La cantidad de luz emitida por un cristal TLD es pequeña. Para leer la salida correcta, se coloca en un cuarto oscuro equipado con un tubo fotomultiplicador, un recipiente vacío que es extremadamente sensible a la luz. Cuando el chip se calienta, el fotomultiplicador convierte la luz en una señal electrónica que se amplifica a continuación. El resultado se denomina "curva de resplandor" y la región por debajo de esta curva es directamente

proporcional a la cantidad de radiación absorbida en el chip. Al monitorear la exposición de todo el cuerpo, un cristal TLD se coloca debajo de cada filtro en el dispositivo que se utiliza como un cinturón de clip en una chaqueta. Cuando se utiliza como un monitor de dedo, el cristal TLD se coloca en un pequeño hueco de un anillo de plástico y es cubierto con una etiqueta de identificación de protección.

3.1.5 Desarrollo de la pasantía

En los primeros días de la pasantía me enseñaron que una persona que hace el servicio de radioterapia debe llevar siempre un dosímetro personal para determinar si la persona esta con dosis, es necesario hacer este control ya que así se puede determinar si los trabajadores ocupacionalmente expuestos están en un buen ambiente o si hay alguna fuga de radiación.

Una vez conocido los motivos porque se da este servicio se empezó con la pasantía de la siguiente manera.

El equipo utilizado para la lectura de los dosímetros fue en HARSHAW modelo 4500 con la capacidad de leer un dosímetro a la vez, va conectado a una computadora la cual tiene el software WinREMs donde muestra las curvas de brillo y guarda en un mismo archivo las lecturas correspondientes a cada material que se indique.

El lector utiliza calentamiento por contacto con un circuito cerrado del sistema de retroalimentación que produce linealmente una rampa de temperaturas dentro de 1°C a 400°C en el lector Standard con la opción de altas temperaturas.



Figura 9 HARSHAW

Fuente: <http://jrtassociates.com>

El trabajo realizado en el laboratorio de dosimetría es recepcionar los dosímetros que llegan de todo el país, se los registra en una lista según la llegada ya que se manejan listas en físico y en digital. Una vez recepcionado se los prepara para su respectiva lectura el cual se la hace de la siguiente manera:

- i. Encender el HARSHAW, este debe purgar durante unos 40 minutos aproximadamente con la conexión de un botellón de gas.
- ii. El equipo está ligado a un sistema operativo en DOS el cual nos ayuda a realizar las lecturas que se apreciaran en la computadora.
- iii. Una vez que se haya purgado se hace una lectura de la luz de fondo y el ruido de fondo los cuales se aprecian en los cuadrantes del sistema.

- iv. Cuando se tienen ya listos los datos registrados se empieza con la lectura de los dosímetros, se debe tener en cuenta que no todos los dosímetros son iguales y se deberá cambiar el rango de lectura para así determinar los niveles de radiación a los que ha sido expuesto el trabajador ocupacionalmente expuesto.

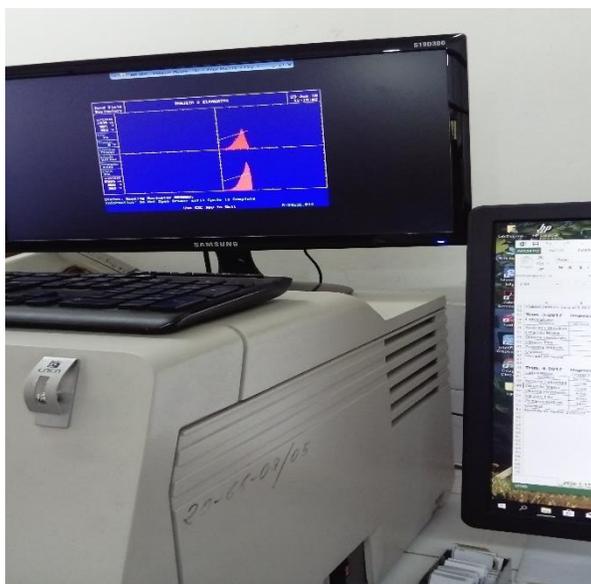


Figura 10 Harshaw haciendo lecturas

Fuente: Autor

- v. Luego de hacer las lecturas se las registra en la computadora y se hace una comparación con las lecturas de los anteriores trimestres, esto para comprobar que el dosímetro está siendo utilizado de una buena manera.
- vi. Una vez comparado todas las lecturas se hace el reporte trimestral que corresponde ya que las empresas y hospitales deben conocer este reporte para tener conocimiento si los trabajadores ocupacionalmente expuestos están en el rango que se permite para la exposición ya que si pasara el límite se deberá hacer una visita a las instalaciones porque están siendo expuestos.

- vii. Se debe tener en cuenta que el servicio es a nivel nacional y el número de dosímetros son limitados y no se debe enviar a las instituciones o empresas que no cumplan con la devolución de los dosímetros, por ejemplo, si se envía para el tercer trimestre la institución deberá devolver los del segundo para así poder utilizar los del tercero caso contrario no se debe enviar los dosímetros.
- viii. El objetivo de este laboratorio es mandar los dosímetros a nivel nacional lo más rápido posible para que los usuarios de los dosímetros personales devuelvan los del trimestre anterior y puedan utilizar los del siguiente trimestre.

3.2 Calibración de equipos de protección radiológica.

Una vez conocido el procedimiento y el por qué se debe portar dosímetros en lugares de exposición se procedió a realizar mi dosímetro personal ya que es una norma para ingresar al laboratorio de radiaciones ionizantes.

Los pasos para empezar una calibración son los siguientes:

- i. Recepcionar los equipos, no mezclarlos ya que todas las instituciones manejan la misma línea de equipos de radioprotección.
- ii. Diferenciar cuales son de equivalente de dosis ambiental y cuáles de exposición

Procedimiento para la calibración.

Para empezar a calibrar se debe conocer el kerma con el cual se trabajará.

Para la calibración de cualquier equipo se obedece a esta fórmula:

$$D1 * d1^2 = D2 * d2^2$$

Formula 1

Dónde: D1=dosis (kerma) dato

d1=distancia en metros (1m) dato

D2=? (dosis)

d2=? (distancia)

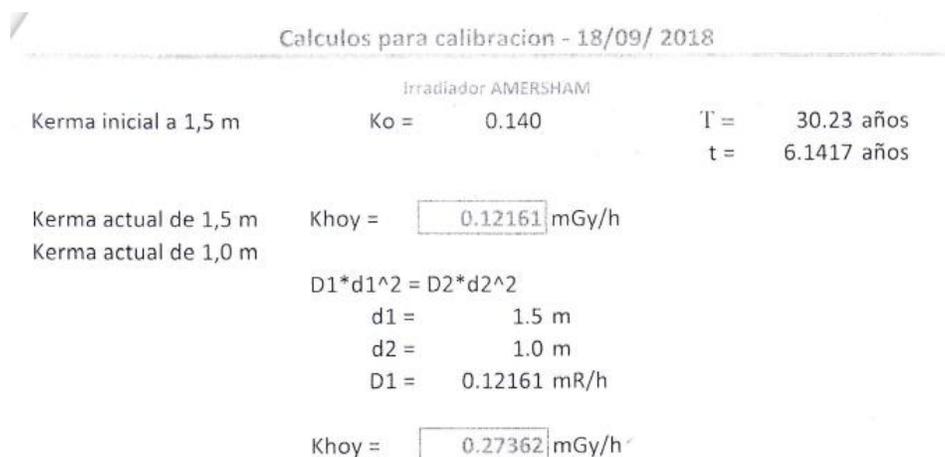


Figura 11 Kerma para hacer cálculos

Fuente: Autor

Un método el cual funciono más fácil y rápido para la calibración era darse la dosis 2 (D2), para así manualmente poder manipular el riel del bunker y recorrer la distancia según lo indique el resultado.



Figura 12 Riel de calibración

Fuente. Autor

Para hacer un buen cálculo y una buena calibración se debe conocer el equipo que se está calibrando ya que no es lo mismo un GEIGER que un dosímetro personal ni una alarma sónica.

Un GEIGER las unidades que maneja son mSv/h ya que son de equivalentes de dosis ambiental, un DOSIMETRO PERSONAL es de exposición y está en mR/h se debe tomar en cuenta el tiempo de exposición.

Como calibrar un GEIGER.

Para un buen funcionamiento del equipo se debe tener en cuenta lo siguiente:

- i. El interruptor giratorio para ver el funcionamiento de la batería, esta deberá acomodarse en la zona indicada de la batería, no se deberá utilizar el equipo si no llega al lugar deseado ya que puede generar errores en las lecturas y podría exponer a los trabajadores ocupacionalmente expuestos.
- ii. Verificar la fecha de calibración.

- iii. Verificar si la aguja monitor reacciona ante la presencia de una fuente de radiación.
- iv. Si el equipo estaba con alguna falla en la placa no se lo debía tocar ya que como autoridad no nos competía resolver problemas de ese tipo porque los dueños de los equipos no lo permitían. Se lo devolvía como defectuoso.
- v. Determinar la dosis y calcular la distancia para poder regular en el riel del bunker
- vi. Para poder empezar la calibración.
- vii. Identificar el potenciómetro que corresponde para hacer el ajuste si es que lo necesitara, ajustar la cámara para poder hacer una buena lectura del equipo que se quiere calibrar, abrir la fuente y salir del bunker.
- viii. Ver el monitor y tomar muestras de los niveles de radiación y comparar si están en el rango de dosis que se tomó como dato.
- ix. Una vez tomadas las muestras se debe ajustar el potenciómetro para poder llegar al límite de dosis que se definió en la ecuación, tomar datos y calcular el error el cual no debe pasar de 1.
- x. Todos los datos que se obtuvieron se guardan y se realiza un informe de calibración el cual determinara que el equipo esta calibrado. Este proceso se lo realiza cada año.

Calibración de un dosímetro personal tipo lapicero

- i. Se registra mediante el número de código e institución.
- ii. Para empezar a calibrar este dosímetro se debe poner en cero la posición del hilo de cuarzo que tiene internamente con un dispositivo que emite luz, se define el tiempo la dosis y la distancia a la que estará sometido el dosímetro.

- iii. Una vez comparado los datos que se obtuvieron se guardan y se realiza un certificado de calibración el cual determinara que el equipo esta calibrado. Este proceso se lo realiza cada año.
- iv. Se debe tener mucho cuidado con la manipulación del dosímetro ya que si sufre alguna caída este podría dañarse y podría afectar en las lecturas.
- v. El objetivo en este laboratorio es no confundir las unidades, y despachar todos los equipos calibrados ya que las instituciones que requieren el servicio están pueden ser expuestos por la demora.



Figura 13 Sala de irradiación

Fuente: Autor

3.2.1 Calibración de la fuente de rayos gamma (Fuente de cesio 137)

La fuente de radiación que se encuentra en el bunker en el laboratorio de calibración es una de cesio 137 modelo 773, numero serial 528.



Figura 14 Bunker de la institución

Fuente: Autor

El **Cesio-137** es un isótopo radiactivo del cesio que se produce principalmente por fisión nuclear. Tiene un periodo de semidesintegración de 30,23 años, y decae emitiendo partículas beta a un isómero nuclear metaestable de Bario-137 (Ba-137m). El Ba-137m tiene una vida media de 2,55 minutos y es el responsable de todas las emisiones de rayos gamma.

El Cesio-137 es soluble en agua y sumamente tóxico en cantidades ínfimas. Una vez liberado al medio ambiente, sigue estando presente durante muchos años, dada su vida media. Puede causar cáncer 10, 20 ó 30 años a partir del momento de la ingestión, inhalación o absorción, cuando una suficiente cantidad ingresa al organismo.

La energía de los fotones de Ba-137m es 661,7 keV. Estos fotones pueden ser utilizados en la irradiación de los alimentos, o de la radioterapia en el cáncer. Cs-137 es menos utilizado para la radiografía industrial que otros isótopos gamma. Se puede encontrar en algunos medidores de humedad y de densidad, medidores de flujo, sensores y otros equipos.

El comportamiento biológico de Cs-137 es similar al del potasio. Después de entrar en el organismo, se distribuye uniformemente por todo el cuerpo, con mayor concentración en el tejido muscular y menor en los huesos. La vida biológica media del cesio es corta, aproximadamente de 50 días. Pequeñas cantidades de Cs-134 y Cs-137 fueron puestas en libertad en el medio ambiente durante los ensayos de armas nucleares y algunos accidentes nucleares, especialmente la catástrofe de Chernobyl. A partir de 2005, Cs-137 es la principal fuente de la radiación en la zona de la alienación en torno a Chernobyl. Junto con cesio-134, yodo-131 y estroncio-90, fue uno de los isótopos con mayor impacto en la salud distribuidos por la explosión del reactor.

El manejo inadecuado de Cs-137 puede dar lugar a la liberación de los isótopos de radiación y contaminación y a que se produzcan lesiones. Tal vez el caso más conocido es el accidente de Goiania,² cuando una máquina de radioterapia de una clínica abandonada en Goiânia, Brasil, fue saqueada y la brillante sal de cesio vendida a compradores curiosos. Cesio metálico puede también ser mezclado accidentalmente

con chatarra, lo que da como resultado la producción de acero contaminado; un ejemplo notable es el caso de 1998, cuando Recycler Acerinox en Cádiz, España accidentalmente fundió chatarra con Cs-137.

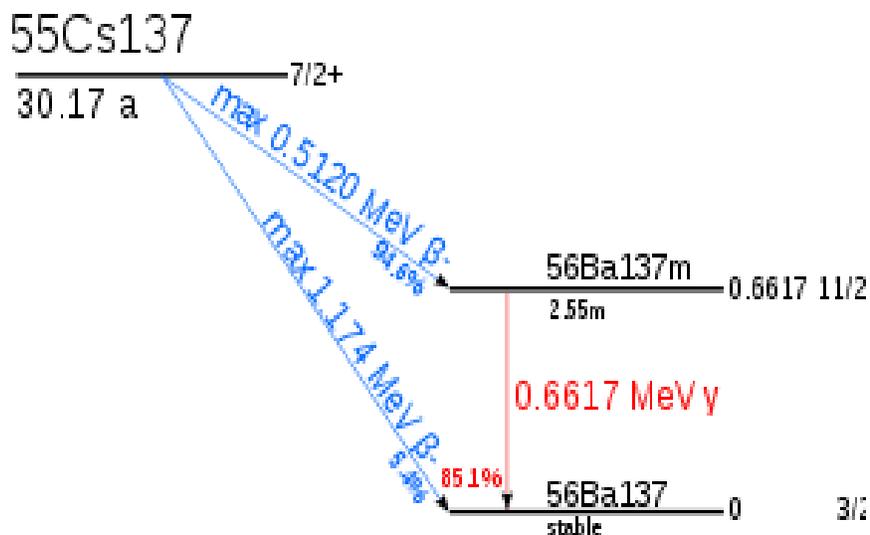


Figura 15 Diagrama de la desintegración radiactiva del Cesio-137

Fuente: <https://es.wikipedia.org/wiki/Cesio-137>

3.3 Monitores detectores de radiación.

En este capítulo se dará a conocer las características de algunos monitores e instrumentos calibrados en la unidad de dosimetría y radiaciones ionizantes, realizados con la fuente de cesio.

3.3.1 Alarma sónica ND-15



Figura 16 Alarma sónica ND-15

Fuente: <http://ndsproducts.com/nd-15.html>

El equipo es diseñado y confeccionado en conformidad con todos los estándares aplicables de seguridad; No obstante, ciertos peligros son inherentes en el uso de todo equipo electrónico. Serán los dueños los responsables para asegurar que los procedimientos sean los adecuados.

2.5.2 Descripción.

El modelo ND-15 es una alarma personal de radiación con rango doble que le provee una inmediata indicación audible de los cambios de los niveles cambiantes de la radiación.

Las señales que se aprecian para la calibración del equipo son de tipo sonoras (bipeos) que aumentan en frecuencia para determinar la presencia de rayos X y de radiación gamma presentes en el ambiente. La característica de estas alarmas de rango doble es que provee un rango alto para los propósitos normales de monitoreo o de exposición durante una radiografía sin molestar al usuario en su uso, y el rango bajo es útil para revisar las posibles fugas de rayos x o las fuentes radioactivas esto ayuda a determinar si la radiación perdida excesiva existe.

2.3.2 Especificaciones

Detector: halógeno apagado, energía compensada con tubo geiger muller, El diámetro y longitud efectiva 0.625 pulgadas por 0.194 pulgadas. El espesor de la pared es de 90 mg/cm²

Alarma: de estado sólido, el transductor de tono de audio que emite 100 dBs a 6 pulgadas

Controles: El interruptor seleccionado

- Rango bajo (LOW): 60 bipeos/min en 1 mR/hr.
- Rango alto (HIGH): 60 bipeos/min en 30 mR/hr.

Alimentación: Dentro del equipo se puede apreciar una batería de 9 voltios, el tiempo de duración aproximado de 6 meses en uso normal, 8 horas al día, 5 días a la semana.

3.4 Monitor portátil ND- 2000A

Este instrumento de medida debe ser encendido solamente para la detección de radiaciones ionizantes en lugares de exposición ambiental, el equipo debe ser manipulado por personal capacitado para analizar las lecturas correctas para la detección de dosis ambiental.

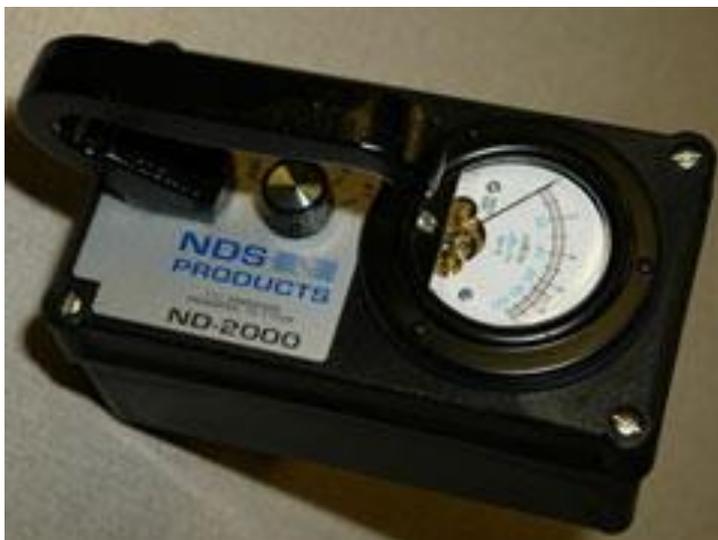


Figura 17 Monitor portátil ND – 2000A

Fuente: <https://ndtsupply.com/nds-products-nd-2000.html>

3.4.1 Descripción.

El monitor ND-2000A es un instrumento que mide tasa de dosis ambiental el cual es generado por rayos x o radiación gamma. Para un buen uso el responsable del equipo debe

conocer las instrucciones y advertencias para poder hacer lecturas correctas y así no exponer a nadie a estas radiaciones ionizantes.

3.4.2 Especificaciones.

El equipo funciona con dos baterías grandes, el cual tiene una duración de un aproximado de un mes ya que está expuesto en el ambiente y tiene un uso permanente. (Lo que se recomienda es utilizar pilas alcalinas).

3.4.3 Funcionamiento.

Para un buen funcionamiento del equipo se debe tener en cuenta lo siguiente:

- El interruptor giratorio para ver el funcionamiento de la batería, esta deberá acomodarse en la zona indicada de la batería, no se deberá utilizar el equipo si no llega al lugar deseado ya que puede generar errores en las lecturas y podría exponer a los trabajadores ocupacionalmente expuestos.
- Verificar la fecha de calibración.
- Verificar si la aguja monitor reacciona ante la presencia de una fuente de radiación.

3.5 Dosímetro Electrónico personal DoseRAE 2

El dosímetro personal DoseRAE 2 es un monitor electrónico delgado en el cual se puede apreciar en el momento los rangos de radiación a los que se está expuesto.



Figura 18 dosímetro Electrónico personal DoseRae 2

Fuente: <https://www.htds.fr>

3.5.1 Descripción.

Este monitor de radiación electrónico portátil detecta y mide la exposición a la radiación para los trabajadores en movimiento. El DoseRAE 2 usa dos detectores, uno para detectar altas dosis de radiación y otro para una respuesta rápida a la radiación de bajo nivel, para brindar a sus trabajadores los datos que necesitan para responder rápidamente. Las alarmas audibles, visuales y de vibración aseguran que el usuario se dé cuenta de la alarma de peligro y una simple interfaz de dos botones facilita la programación. Recopile hasta 3,000 puntos de datos en el registro de datos y descargue los datos a una PC utilizando la estación de acoplamiento y el software incluidos.

- Dosímetro se encuentra con el detector: Contiene dos sensores separados, CsI / fotodiodo y diodo PIN. El diodo PIN de energía compensada proporciona un rango de alta tasa de dosis cobertura y mediciones de dosis precisas, mientras que el CsI (cesio Yoduro) centelleador proporciona rápido Respuesta a la radiación de bajo nivel.

- Registro y análisis de datos: DoseRAE 2 ofrece continuas. Registro de datos con un gran punto de 3,000. Capacidad de registro de datos. Con asociado Software, el registro de datos se puede descargar a través de USB a una computadora. Esta el software se utiliza para la visualización de datos, Análisis y gestión de registros.

- Tipos de alarma: Sonido audible integrado, LED brillante, y alarmas de vibraciones.

- Datos de la dosis total: Acumula con precisión en tiempo real datos de dosis.

- Cumplimiento de las normas nacionales: DoseRAE 2 fue diseñado en Cumplimiento con IEEE ANSI N42.20. Estándar, y el rendimiento fue probado en Oak Ridge National Laboratorio, Tennessee, EE. UU.

DoseRAE 2 es una electrónica compacta, de lectura directa y alarmante. Detector de radiación personal. Utiliza un diodo y un cristal de centelleo. Para detectar la radiación X y gamma, y proporciona monitoreo en tiempo real de dosis personal y tasa de dosis. La tasa de dosis de radiación en tiempo real. El monitoreo permite una reacción inmediata en caso de radiación, por lo tanto, reduce la exposición a la radiación. Midiendo la dosis tasa equivalente y dosis equivalente, este detector proporciona la Funciones de un dosímetro. También mide la exposición a la radiación e índice de exposición, que es apropiado para controlar la exposición de Servicios de emergencia a la radiación de fotones.

Características.

- Dosímetro electrónico autónomo con pantalla LCD
- Múltiples unidades con lector y software. Puede ser utilizado como un sistema de dosimetría.
- Lectura de tasa de dosis digital continua en rem / h, Sv / h y R / h
- Dosis total acumulada de forma continua, lectura en rem y Sv
- Prominente visible, audible y vibrante. Alarmas
- Larga vida de calibración
- Dos teclas de operación, simples intuitivas. Programación

Aplicaciones

- Plantas de energía nuclear
- Encuesta ambiental
- Departamentos de Bomberos
- Equipos de respuesta de materiales peligrosos
- Policía
- militar

- Hospitales

3.6 Monitor multiuso RDS-31

Dosis ambiental dosis equivalente y tasa de dosis Gama de sondas externas inteligentes alfa, beta y gamma para conexión directa con un medidor RDS-31 Gran pantalla gráfica, retroiluminación configurable con control automático de iluminación. Zumbador audible y alarmas de vibraciones táctiles. Carcasa duradera de alto impacto, prueba de inmersión IP-67 Memoria interna para almacenar medidas. Radio WRM2™ opcional para monitoreo remoto inalámbrico



Figura 19 Monitor Multiuso RDS-31

Fuente: <http://www.gammadata.se>

3.6.1 Descripción.

El dispositivo RDS-31 es un detector de radiación gamma de mano basado en un tubo compacto de GM. El medidor RDS-31 se complementa con una línea completa de sondas externas para detectar radiación alfa y beta. Sus funciones versátiles y su durabilidad lo hacen adecuado para una amplia gama de aplicaciones.

3.6.2 Dosímetro Personal tipo lapicero.

Son cámaras de Ionización de bolsillo, también denominados dosímetros de pluma por su apariencia externa de pluma o lapicero.

Estos dosímetros están constituidos por una pequeña cámara de ionización de aire, un electrómetro de hilo de cuarzo y un microscopio elemental que permitirá observar la posición del hilo de cuarzo, la lectura de dosis se realiza directamente observando a través del microscopio la **posición de la fibra de cuarzo proyectada sobre la escala.**



Figura 20 Dosímetro tipo Lapicero

Fuente: <https://twilight.mx>

Son sencillos y de fácil lectura por el propio interesado, sus grandes inconvenientes para su uso como dosímetros personales que su trabajo habitual radica en que no se pueden usar durante periodos largos de tiempo puesto que las imperfecciones en los lugares a una descarga lenta de esta, aunque no sea sometida a ningún campo de radiación ionizante aislantes de la cámara de Ionización.

Por otro lado, son sensibles a la humedad, temperatura y golpes mecánicos y por último el intervalo de exposición que pueden medir es muy limitado del orden de 0 a 200mR

La institución brinda el servicio de calibración a nivel nacional ya que ese el ente regulador de las radiaciones ionizantes, en el laboratorio de calibración se pudo realizar el ajuste y la calibración de todos estos equipos que llegan a diario y se deben despachar rápidamente ya que la industria y las petroleras son las que más trabajadores ocupacionalmente expuesto tienen dentro sus filas.

El trabajo no es complicado, pero se debe trabajar con todas las precauciones y recomendaciones por que se trabaja con una fuente de cesio el cual al estar abierta emite radiación.

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones.

- La pasantía se realizó en el Instituto Boliviano de Ciencia y Tecnología Nuclear con la satisfacción de culminar satisfactoriamente las horas determinadas por la universidad las cuales son 480 horas
- Se pudo cumplir con lo recomendado y con el envío de 1200 dosímetros a todo el país para que así no hayan quejas por la demora.
- Se realizó el calibrado de más de 120 equipos de radio protección donde no hubo problemas en la devolución de ningún equipo.
- Realice el curso de seguridad y protección radiológica satisfactoriamente.

4.2 Recomendaciones

Una vez identificada las conclusiones de la pasantía es importante generar y sugerir algunas recomendaciones.

- Uno de las recomendaciones o sugerencia seria la automatización del laboratorio ya que estos trabajos de calibración se las realiza manualmente, y sería más fácil y menos riesgoso el uso de las fuentes de radiación.
- Sugerir a los dueños de los equipos de radioprotección que si están con alguna falla se los pueda revisar para poder dar alguna solución.

Bibliografía

(s.f.).

González, G., & Rabin, C. (2011). *Para entender las Radiaciones*. Montevideo: Dirac.

Instituto Boliviano de Ciencia y Tecnología Nuclear. (s.f.). *institucion*. Obtenido de

Instituto Boliviano de Ciencia y Tecnología Nuclear:

<http://ibten.gob.bo/portal/index.php?opt=front&mod=contenido&id=135&pid=4>

1

Instituto Nacional del Cancer. (s.f.). *Diccionario de Cancer*. Obtenido de Instituto

Nacional del Cancer:

<https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionario/def/radiacion->

ionizante

Nájera, A. (12 de Febrero de 2019). Un estudio dice que las antenas son peligrosas y otro que no ¿Cuál me creo? *The Conversation*.

Organizacion Mundial de la Salud. (29 de Abril de 2016). *Radiaciones ionizantes:*

efectos en la salud y medidas de protección. Obtenido de Organizacion Mundial

de la Salud: [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ionizing-](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ionizing-radiation-health-effects-and-protective-measures)

radiation-health-effects-and-protective-measures

Wikipedia La Enciclopedia Libre. (29 de Noviembre de 2009). *cesio-137*. Obtenido de

Wikipedia La Enciclopedia Libre: <https://es.wikipedia.org/wiki/Cesio-137>

Glosario de Términos

Para medir la radiación, la exposición y la dosis se emplea diversos términos y unidades que se detallan a continuación.

- **Radiología.** Es el uso médico de la radiación para diagnosticar y tratar diversos problemas de Salud. A partir de la utilización de rayos gamma, rayos X.
- **Roentgen.** Es la cantidad de radiación X o radiación gamma que produce una unidad electromagnética de carga en un cc de aire seco a 0°C y 760mm de presión atmosférica de mercurio.
- **Rem.** Unidad de medida de los efectos de emisiones radiactivas en el ser humano. "para tener una idea de lo que representa el rem según la legislación, un trabajador que puede estar expuesto a radiaciones no puede recibir más de 5 rem en un año"
- **Sievert** (símbolo Sv) es una unidad derivada del SI que mide la dosis de radiación absorbida por la materia viva, corregida por los posibles efectos biológicos producidos. 1 Sv es equivalente a un julio por cada kilogramo ($J\ kg^{-1}$). ... Se utilizó este nombre en honor al físico sueco Rolf **Sievert**.
- **Becquerel.** Unidad de medida de actividad radiactiva del Sistema Internacional, de símbolo *Bq*, que equivale a la actividad de una fuente radiactiva en la que se produce una transformación o una desintegración nuclear por segundo.
- **Rayos X.** Radiación electromagnética que atraviesa cuerpos opacos a la luz ordinaria, con mayor o menor facilidad, según sea la materia de que estos están formados, produciendo detrás de ellos y en superficies convenientemente preparadas, imágenes o impresiones, que se utilizan entre otros fines para la exploración médica.

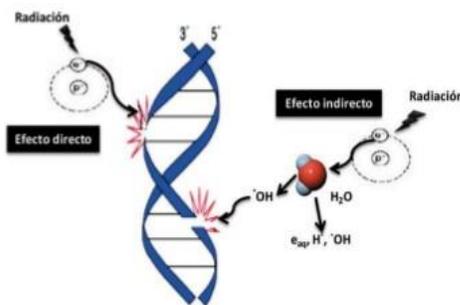
- **Rayos gamma.** Radiación electromagnética muy penetrante, parecida a los rayos X pero de mayor longitud de onda, que se produce durante la desintegración de los núcleos de elementos radiactivos.
- **radiación alfa.** está compuesta por un núcleo de helio y puede ser detenida por una hoja de papel.
- **Radiación beta,** compuesta por electrones, es detenida por una hoja de papel de aluminio.
- **Radiación gamma.** es absorbida cuando penetra en un material denso.

Anexos

Anexo 1

EFFECTOS BIOLÓGICOS

- Cambios en e ADN que alteran la función celular y puede causar la muerte de la célula

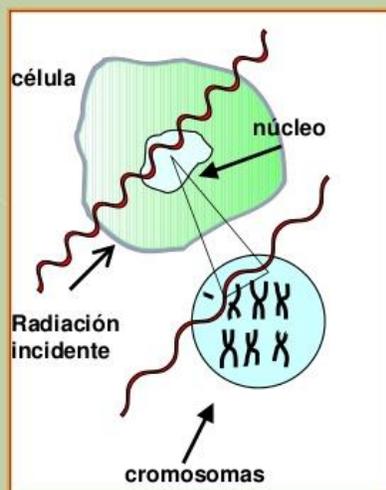


Anexo 2

Efectos de las Radiaciones

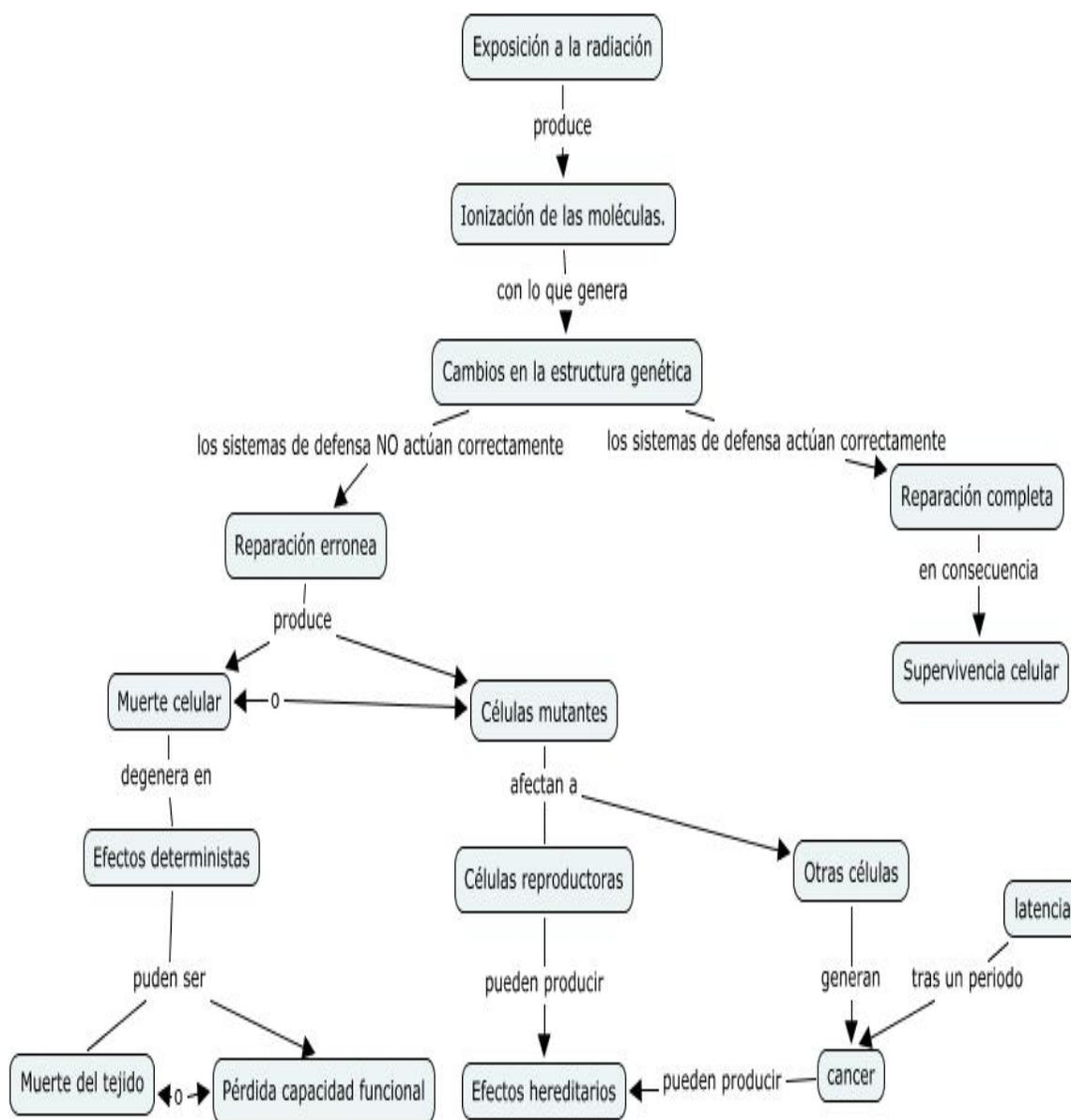
La radiación ionizante interactúa a nivel celular:

- Ionización
- Cambios químicos
- Efectos biológicos

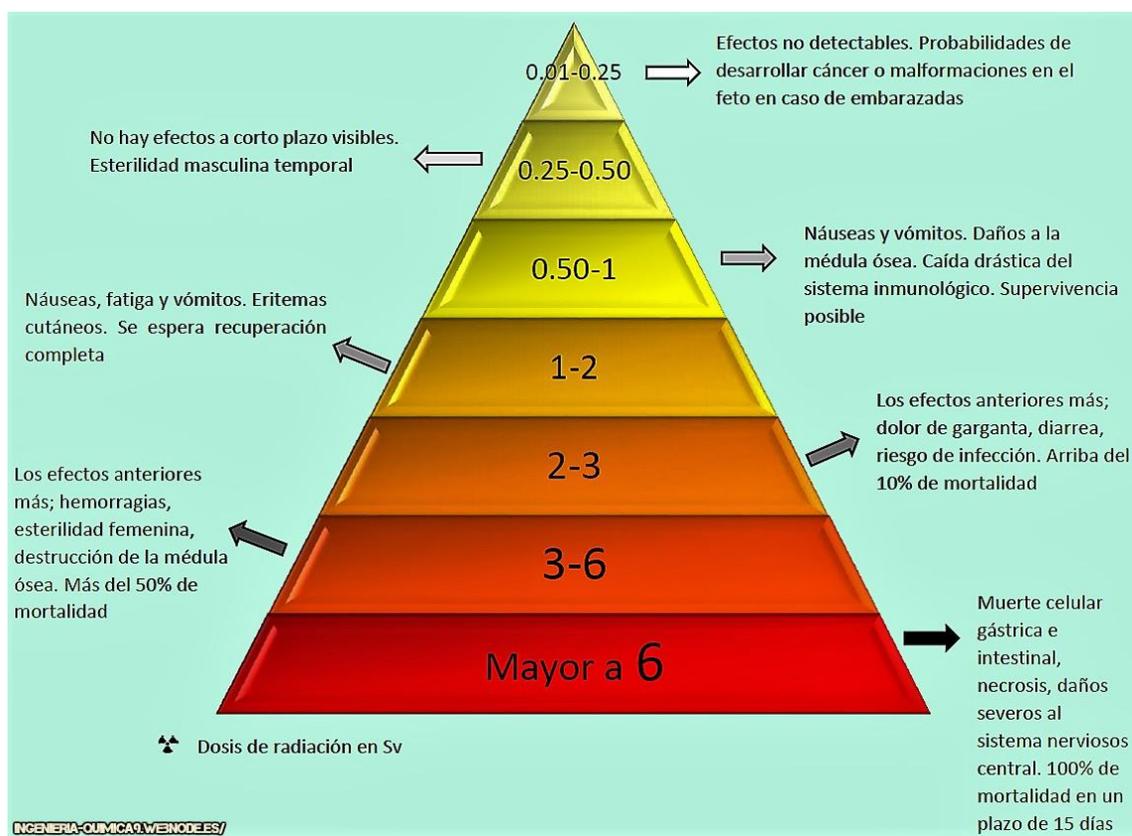


Anexo 3

¿Cuál es el mecanismo de producción de efectos biológicos por la radiación?



Anexo 4



Anexo 5



CALIBRACIÓN DE MONITORES DE RADIACIÓN
 INSTITUTO BOLIVIANO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA NUCLEAR
Laboratorio de Calibraciones
 Av. 6 de Agosto No 2905 - Telef: 2 433481. Tel. Fax: 2 433063
 Correo electrónico: calibraciones@ibten.gob.bo
 La Paz - Bolivia

LC

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN		2403	254												
INSTRUMENTO:	DOSIMETRO PERSONAL	TIPO:	LAPICERO												
FABRICANTE:	ARROW-TECH	MODELO:	W138												
PROPIETARIO:	MINERA SAN CRISTOBAL S.A	SERIE:	G E 161944												
FECHA :	10 de octubre de 2018	HASTA:	10 de octubre de 2019												
DIRECCIÓN :	Calle 15. Torre K'atal piso 5, Calacoto. Tel.: 2623400.Fax.: 2117950 La Paz														
Aspectos técnicos considerados:															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/> INSPECCION DE DAÑOS</td> <td><input type="checkbox"/> CORRIENTE DE FUGA</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> INSPECCION DE CARGADOR</td> <td><input type="checkbox"/> CONTROL DE EMPAQUE</td> </tr> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/> MODELO Y SERIE</td> <td><input checked="" type="checkbox"/> PUESTA A CERO</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> GEOTROPISMO</td> <td></td> </tr> </table>				<input checked="" type="checkbox"/> INSPECCION DE DAÑOS	<input type="checkbox"/> CORRIENTE DE FUGA	<input type="checkbox"/> INSPECCION DE CARGADOR	<input type="checkbox"/> CONTROL DE EMPAQUE	<input checked="" type="checkbox"/> MODELO Y SERIE	<input checked="" type="checkbox"/> PUESTA A CERO	<input type="checkbox"/> GEOTROPISMO					
<input checked="" type="checkbox"/> INSPECCION DE DAÑOS	<input type="checkbox"/> CORRIENTE DE FUGA														
<input type="checkbox"/> INSPECCION DE CARGADOR	<input type="checkbox"/> CONTROL DE EMPAQUE														
<input checked="" type="checkbox"/> MODELO Y SERIE	<input checked="" type="checkbox"/> PUESTA A CERO														
<input type="checkbox"/> GEOTROPISMO															
REFERENCIA:															
<p>EL LABORATORIO DE METROLOGÍA DE RADIACIONES IONIZANTES (LMRI) DEL IBTEN HA REALIZADO LA DOSIMETRIA AL IRRADIADOR <i>AMERSHAM 773</i> CON CALIDAD DE RADIACIÓN DE Cs-137 MEDIANTE PATRONES DE REFERENCIA, CAMARA DE IONIZACION IBI 2575 132 Y ELECTROMETRO 2570 60L. ESTE IRRADIADOR TIENE TAMBIÉN AUDITORÍA DEL ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA (OIEA).</p> <p>EL LABORATORIO DE CALIBRACIONES DEL IBTEN CERTIFICA QUE ESTE INSTRUMENTO HA SIDO CALIBRADO SIGUIENDO PROCEDIMIENTOS ESTABLECIDOS POR EL OIEA.</p>															
RESULTADOS:															
Magnitud de referencia:		EXPOSICION													
Energía de Calibración:		0.662 MeV, Irradiador Amersham 773.													
Condiciones de laboratorio:		P: 671.9 mbar; T: 16.8 °C; HR: 55 %													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>REFERENCIA [mR]</th> <th>VALOR MEDIDO [mR]</th> <th>FACTOR DE CALIBRACION</th> <th>PERDIDA EN LECTURA POR DIA</th> <th>DESVIACION [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>20.0</td> <td>20.0</td> <td rowspan="2" style="text-align: center;">1.3</td> <td rowspan="2" style="text-align: center;">INFERIOR AL 5%</td> <td rowspan="2" style="text-align: center;">30.0%</td> </tr> <tr> <td>100.0</td> <td>90.0</td> </tr> </tbody> </table>				REFERENCIA [mR]	VALOR MEDIDO [mR]	FACTOR DE CALIBRACION	PERDIDA EN LECTURA POR DIA	DESVIACION [%]	20.0	20.0	1.3	INFERIOR AL 5%	30.0%	100.0	90.0
REFERENCIA [mR]	VALOR MEDIDO [mR]	FACTOR DE CALIBRACION	PERDIDA EN LECTURA POR DIA	DESVIACION [%]											
20.0	20.0	1.3	INFERIOR AL 5%	30.0%											
100.0	90.0														
CONCLUSION:	El Dosimetro personal tipo lapicero se encuentra en buen estado de funcionamiento.														
RECOMENDACIÓN:	Evitar que el dosimetro sea expuesto a golpes. Debe evitar la inmersión en líquidos. Debe ser guardado en ambiente seco.														
10 de octubre de 2018															
Ing. Idnar N. Quispe M. Laboratorio de Calibración de Monitores de Radiación UDRI - CPSR - IBTEN															