



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Maestría en Artes en Ingeniería de Mantenimiento

**PLAN DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA Y MANTENIMIENTO, PARA UN MEDIDOR INDUSTRIAL DE  
RADIOISÓTOPO AM-241 DE BAJA ACTIVIDAD EN LA INDUSTRIA EMBOTELLADORA**

**Ing. Wellington Emilio Vásquez Santos**

Asesorado por Maestro. Ing. Pedro Miguel Agreda Girón

Guatemala, marzo de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PLAN DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA Y MANTENIMIENTO, PARA UN  
MEDIDOR INDUSTRIAL DE RADIOISÓTOPO AM-241 DE BAJA ACTIVIDAD  
EN LA INDUSTRIA EMBOTELLADORA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**ING. WELLINGTON EMILIO VÁSQUEZ SANTOS**

ASESORADO POR EL MAESTRO. ING. PEDRO MIGUEL AGREDA GIRÓN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**MAESTRO EN ARTES DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO**

GUATEMALA, MARZO DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

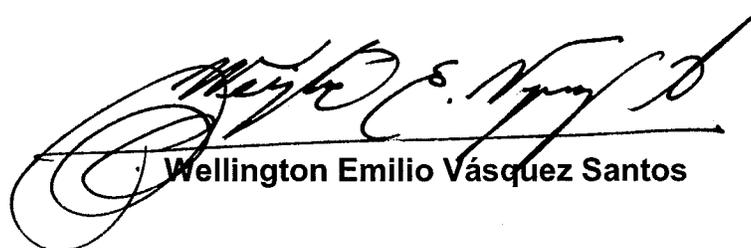
DECANO	Maestro Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Maestro Edgar Dario Álvarez Cotí
EXAMINADOR	Maestro Hugo Humberto Rivera Pérez
EXAMINADORA	Maestra Sandra Ninett Ramírez Florez
SECRETARIA	Maestra Lesbia Magalí Herrera López

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**PLAN DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA Y MANTENIMIENTO, PARA UN MEDIDOR INDUSTRIAL DE RADIOISÓTOPO AM-241 DE BAJA ACTIVIDAD EN LA INDUSTRIA EMBOTELLADORA**

Tema que me fuera aprobado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, con fecha 7 de agosto de 2018.

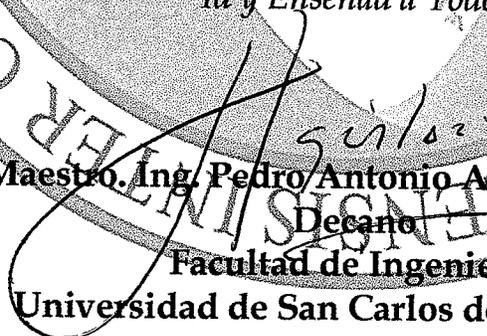


Wellington Emilio Vásquez Santos

En mi calidad como Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, al Trabajo de Graduación de la Maestría en Artes en Ingeniería de Mantenimiento titulado: "PLAN DE PROTECCIÓN RADIOLOGICA Y MANTENIMIENTO, PARA UN MEDIDOR INDUSTRIAL DE RADIOISÓTOPO AM-241 DE BAJA ACTIVIDAD EN LA INDUSTRIA EMBOTELLADORA" presentado por el Ingeniero Electrónico Wellington Emilio Vásquez Santos quien se identifica con Carné 100023430, procedo a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

"Id y Enseñad a Todos"

  
Maestro Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala



Guatemala, marzo de 2019.

Cc: archivo/L.Z.L.A.

Ref.APT-2019-002

En mi calidad de Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen y verificar la aprobación del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística al Trabajo de Graduación titulado **"PLAN DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA Y MANTENIMIENTO, PARA UN MEDIDOR INDUSTRIAL DE RADIOISÓTOPO AM-241 DE BAJA ACTIVIDAD EN LA INDUSTRIA EMBOTELLADORA"** presentado por el Ingeniero Electrónico Wellington Emil Vásquez Santos quien se identifica con Carné 100023430, correspondiente al programa de Maestría en Artes en Ingeniería de Mantenimiento; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

*"Id y Enseñad a Todos"*

  
Maestro Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí  
Director

Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala



Guatemala, marzo de 2019.

Cc archivo/LZLA.

Ref.APT-2019-002

Como Coordinadora de la Maestría en Artes en Ingeniería de Mantenimiento doy el aval correspondiente para la aprobación del Trabajo de Graduación titulado "PLAN DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA Y MANTENIMIENTO, PARA UN MEDIDOR INDUSTRIAL DE RADIOISÓTOPO AM-241 DE BAJA ACTIVIDAD EN LA INDUSTRIA EMBOTELLADORA" presentado por el Ingeniero Electrónico Wellington Emilio Vásquez Santos quien se identifica con Carné 100023430.

Atentamente,

*"Id y Enseñad a Todos"*

  
Maestra. Inga. Sandra Ninett Ramírez Flores

Coordinador(a) de Maestría

Escuela de Estudios de Postgrado

Facultad de Ingeniería

Universidad de San Carlos de Guatemala



Guatemala, marzo de 2019.

Cc: archivo/L.Z.L.A.

Ref.APT-2019-002

En mi calidad como Asesor del Ingeniero Electrónico **Wellington Emilio Vásquez Santos** quien se identifica con carné No. 100023430 procedo a dar el aval correspondiente para la aprobación del Trabajo de Graduación titulado **"PLAN DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA Y MANTENIMIENTO, PARA UN MEDIDOR INDUSTRIAL DE RADIOISÓTOPO AM-241 DE BAJA ACTIVIDAD EN LA INDUSTRIA EMBOTELLADORA"** quien se encuentra en el programa de Maestría en Artes en Ingeniería de Mantenimiento en la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Atentamente,

*"Id y Enseñad a Todos"*

**Maestro. Ing. Pedro Miguel Agreda Giron**  
**Asesor(a)**  
**Maestro en Ingeniería Mecánica**

Guatemala, marzo de 2019.

Cc archivo/LZ.L.A.

## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por las bendiciones recibidas a lo largo de mi vida y estar siempre conmigo.
<b>Mis padres</b>	Fredy Emilio Vásquez Morales y Nury Leslie Santos Aragón, por su incondicional apoyo, amor, cariño y sabios consejos.
<b>Mi esposa</b>	Carmen María Pérez Samayoa, por todo su amor, cariño e incondicional apoyo.
<b>Mis hijos</b>	José Emilio y José Guillermo.
<b>Mis hermanos</b>	Wingston Guillermo y Willmer Josué.
<b>Mis abuelos</b>	Guillermo II Santos Wasseem, Carmelina Aragón Orellana (q.e.p.d.), Mariano Emilio Vásquez Robles y Magda Candelaria Morales, así como a Carlota de La Cruz, por todo el cariño y los consejos que me han dado.
<b>Mis amigos y compañeros</b>	Por los momentos agradables que compartimos y su apoyo.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Dios</b>	Por todo.
<b>Embotelladora de agua pura y refrescos</b>	Por permitirme realizar este trabajo de graduación en sus instalaciones.
<b>Ingeniero Pedro Miguel Agreda Girón</b>	Por apoyarme en la realización y asesorar este trabajo de graduación.
<b>Dra. Aura Marina Rodríguez</b>	Por sus consejos, apoyo y por compartir su experiencia y conocimientos.
<b>Dra. Alba Guerrero Spínola</b>	Por su apoyo, sus consejos, observaciones y seguimiento para la culminación de este trabajo.
<b>Mis amigos</b>	Amilcar Pérez y Manuel Palacios, por su amistad y apoyo en la elaboración de este trabajo de graduación.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
GLOSARIO .....	VII
RESUMEN.....	XI
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS ORIENTADORAS .....	XIII
OBJETIVOS.....	XVII
RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO .....	XIX
INTRODUCCIÓN.....	XXI
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Mantenimiento .....	1
1.1.1. Mantenimiento preventivo.....	1
1.2. Inspector de nivel .....	3
1.2.1. Teoría de medición .....	3
1.2.2. Principios básicos del sistema de medición.....	4
1.2.3. Perfiles de exposición.....	6
1.2.4. Descripción del sistema de inspección .....	7
1.3. Protección y vigilancia radiológica para medidores industriales .....	10
1.3.1. Principios de protección radiológica en medidores industriales.....	12
1.3.2. Protección radiológica operacional en áreas industriales.....	16
1.3.3. Clasificación de zonas radiológicas en áreas industriales.....	18

1.3.4.	Señalización de riesgo radiológico para la industria.....	18
1.3.5.	Programas de protección radiológica industrial	19
1.3.6.	Vigilancia radiológica en una industria .....	21
1.3.7.	Detectores de radiación de área para la industria.....	22
1.3.8.	Vigilancia radiológica personal (dosimetría personal) para la industria .....	22
1.3.9.	Exposición para personal ocupacionalmente expuesto en prácticas industriales .....	23
1.3.10.	Dosímetros industriales .....	24
1.4.	Planificación de emergencias radiológicas para áreas industriales .....	24
1.4.1.	Consecuencias de emergencias radiológicas ..	25
1.4.2.	Planes de emergencia radiológica para la industria.....	26
1.4.3.	Operaciones de rescate de una fuente radiactiva usada en medidores industriales.....	27
1.5.	Radioactividad.....	29
1.5.1.	Radiación natural, conceptos .....	29
1.5.2.	Fuentes artificiales de radiación .....	30
1.6.	Tipología de las radiaciones.....	31
1.6.1.	Radiaciones no ionizantes.....	31
1.6.2.	Radiaciones ionizantes.....	31
1.6.2.1.	Radiación gamma .....	32
1.6.3.	Fuentes radiactivas .....	32
1.6.3.1.	Fuentes selladas .....	33
1.6.3.2.	Fuentes no selladas o abiertas.....	33
1.7.	Aplicaciones de la radiactividad .....	33

1.7.1.	Usos industriales .....	33
1.8.	Magnitudes y unidades.....	34
1.8.1.	Conceptos base.....	34
1.8.1.1.	Actividad .....	34
1.8.1.2.	Exposición .....	34
1.8.1.3.	Tasa de exposición.....	35
1.9.	Magnitudes dosimétricas.....	35
1.9.1.	Dosis absorbida.....	35
1.9.2.	Dosis equivalente .....	36
1.9.3.	Dosis efectiva .....	36
1.10.	Efectos biológicos de las radiaciones ionizantes.....	36
1.10.1.	Mecanismos de acción de las radiaciones sobre tejidos biológicos .....	37
1.10.1.1.	Irradiación externa.....	37
1.10.1.2.	Contaminación radiactiva .....	38
1.10.2.	Clasificación de los efectos biológicos.....	38
1.10.2.1.	Efectos determinísticos.....	38
1.10.2.2.	Efectos estocásticos .....	39
2.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	41
2.1.	Propuesta: Plan de protección radiológica .....	50
2.1.1.	Diagrama de flujo de un plan de protección radiológica .....	50
2.1.2.	Archivo de seguridad .....	52
3.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	57
	CONCLUSIONES .....	63
	RECOMENDACIONES.....	65

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....67  
ANEXOS.....73

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Diagrama de bloques del sistema de medición de nivel.....	5
2.	Partes del inspector de nivel .....	6
3.	Esquemático del perfil de radiación .....	7
4.	Sistema de control de nivel y rechazador.....	9
5.	Inspector de nivel .....	10
6.	Señal de riesgo radiológico con dimensiones estándar para la industria.....	19
7.	Escala INES propuesta por la OIEA.....	25
8.	Pruebas de fuga, registro de mediciones, existencia de medidores y certificados de calibración .....	45
9.	Plan de emergencia y licencias de operación .....	46
10.	Vestimenta plomada, gafas de vidrio, señalización y planos .....	46
11.	Manual de operación, plan de mantenimiento, mantenimiento RCM y verificación de calidad del mantenimiento .....	47
12.	Dosimetría personal, clínica, tablas de límites de dosis y niveles de referencia .....	48
13.	Programas de capacitación, funciones y responsabilidades, riesgos radiológicos y plan de minimización de errores y accidentes.....	49
14.	Indumentaria plomada, determinación de tiempos máximos, control y equipo de protección para visitantes .....	49
15.	Diagrama de flujo básico para la elaboración de plan de protección radiológica.....	51



## TABLAS

I.	Efectos determinísticos.....	39
II.	Resultados de la encuesta.....	42
III.	Fuentes radiactivas.....	44



## GLOSARIO

<b>Actividad</b>	Número de transiciones nucleares espontáneas de un estado dado de energía a otro, que ocurren por unidad de tiempo en una cantidad dada de material radioactivo. (Baja o alta actividad)
<b>Am-241</b>	Americio 241, es un isótopo obtenido artificialmente con un período de desintegración de 433 años, éste decae por emisión de una partícula alfa hacia estados excitados del Neptunio-237. International Commission on Radiation Units and Measurements, ICRU (2014)
<b>Contaminación</b>	Presencia indeseable de material radiactivo en el cuerpo humano, en superficies o en cualquier otro lugar.
<b>EPR</b>	Persona técnicamente competente en cuestiones de protección radiológica, de interés para un tipo de práctica dado, que es designada por el titular de la licencia para supervisar la aplicación de los requisitos prescritos por este reglamento.
<b>Exposición</b>	Es el acto o condición de estar sujeto a irradiación.

<b>Fuente</b>	Cualquier cosa que pueda causar exposición a la radiación; emita radiación ionizante o libere sustancias o materiales radioactivos.
<b>Fuente sellada</b>	Material radiactivo que está: a) permanentemente encerrado en una capsula o b) estrechamente ligado y en forma sólida.
<b>Instalación</b>	Lugar que alberga, en forma segura, equipos destinados a la utilización, producción, fabricación, tratamiento, manipulación o almacenamiento de fuentes radiactivas o equipos generadores de radiaciones ionizantes.
<b>Operador</b>	Trabajador ocupacionalmente expuesto que posee licencia para operar equipos generadores o fuentes de radiación o equipos que la contengan.
<b>Práctica</b>	Toda actividad humana que introduce fuentes de exposición, vías de exposición adicionales, extiende la exposición a más personas o modifica la red de vías de exposición, debido a las fuentes existentes, de forma que aumente la exposición, la probabilidad de la exposición o el número de personas expuestas.
<b>Radionucleido</b>	Es un nucleído inestable y que por tanto, degenera emitiendo radiaciones ionizantes.

<b>Sievert (Sv)</b>	Nombre especial para expresar en el sistema internacional de unidades la dosis equivalente, la dosis equivalente ambiental, la dosis equivalente personal y la dosis efectiva. 1 Sv= 1 J/Kg. International Commission on Radiation Units and Measurements, ICRU (2014)
<b>Trabajador</b>	Toda persona que trabaja en jornada completa, parcial o temporalmente, por cuenta de un empleador y que tiene derechos y deberes reconocidos en lo que atañe a la protección radiológica ocupacional.
<b>Vigilancia radiológica</b>	Medición de la dosis o la contaminación por razones relacionadas con la evaluación o control de la exposición a la radiación o a sustancias radiactivas.
<b>Zona controlada</b>	Área que requiere, o requerirá, medidas específicas de seguridad y protección para controlar las exposiciones normales, así como para prevenir la dispersión de la contaminación durante las condiciones normales de trabajo o para prevenir o limitar las exposiciones potenciales.
<b>Zona supervisada</b>	Cualquier área no indicada como zona controlada, pero en la que las condiciones de exposición ocupacional son mantenidas bajo revisión, aun cuando no se requieren medidas específicas de seguridad y protección.



## RESUMEN

Dado que no se cuenta con documentación específica para la industria embotelladora de Guatemala, acerca de elaborar o lo que debe de contener un plan de protección radiológica y mantenimiento para un medidor industrial de nivel en producto terminado. Se realizó una investigación no experimental, con un enfoque mixto y alcance descriptivo, mediante la cual se diseñó de un plan protección radiológica y mantenimiento para un medidor industrial de nivel, se determinó los requisitos que debe cumplir; también se estandarizó el contenido con base a los requerimientos de entes reguladores nacionales e internacionales y se propuso todos aquellos contenidos específicos para un medidor de nivel que utilice una fuente sellada de Americio-241 de baja actividad. Además, se realizó una revisión documental, donde se buscaron los lineamientos necesarios para la elaboración de un plan de protección radiológica de calidad y que cumpla en su totalidad con requerimientos de los entes reguladores; además de un trabajo de campo en el cual con un modelo de encuesta se obtuvo resultados de dos fábricas embotelladoras de Guatemala, para determinar su estado en materia de protección radiológica y el nivel de cumplimiento de las mismas.

La propuesta es una innovación para la industria embotelladora que utiliza equipos de medición de nivel en producto terminado, donde se propone ejemplos de contenido, tablas de registro y procedimientos de mantenimientos que se considera necesario que vayan incluidos en un plan integral de protección radiológica y mantenimiento, con el objetivo de garantizar el control todos los equipos que trabajen con este tipo de fuentes. Se concluyó que toda fábrica embotelladora que utilice las fuentes en mención, debe contar con un plan de protección radiológica y mantenimiento, con lo cual asegurará que todo el

personal ocupacionalmente expuesto realiza sus intervenciones de operación y mantenimiento de una manera segura y protegidos de las radiaciones ionizantes.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS ORIENTADORAS**

La mala utilización y descontrol de un plan de protección radiológica para una fuente radiactiva, ocasiona daños significativos a las personas que intervienen directa o indirectamente con ella, o bien cuando no existe una sistematización de normas y procedimientos para el uso de las fuentes radiactivas en las instalaciones en donde se encuentren.

### **Descripción del problema**

Las regulaciones dadas en el reglamento de seguridad y protección radiológica del Ministerio de Energía y Minas son lineamientos generales para las diferentes aplicaciones de medicina nuclear, investigación, industria, entre otros. No existe un manual de procedimientos o documento específico para la industria embotelladora, que utilice equipos que en su interior contengan fuentes selladas de radiación ionizante de Americio-241 de baja actividad, que se utilizan en la medición de nivel de producto terminado, en donde se explique las regulaciones y requisitos específicos del ente regulador, apegado a normas internacionales para su uso, control y monitoreo de estos.

No se cuenta con una documentación específica para la industria embotelladora, acerca de elaborar o lo que debe de contemplar un plan de protección radiológica, para una fuente sellada de Americio-241 de baja actividad, para cumplir con las Normas y Estándares Internacionales de Protección Radiológica (1997) o el Reglamento de Seguridad y Protección Radiológica de la Ley para el Control, Uso y Aplicación de Radioisótopos y

Radiaciones Ionizantes (2001), de la República de Guatemala, así como las medidas de monitoreo, mantenimiento y control para las mismas. Se necesita un documento técnico con directrices más específicas de lo solicitado para obtener la licencia de operación de estos equipos, según el Artículo 34 específicamente el inciso d) del reglamento en mención.

### **Formulación del problema**

Para llevar a cabo un plan de protección radiológica y mantenimiento, para un medidor industrial de radioisótopo Am-241 de baja actividad en la industria embotelladora, es necesario dar respuesta a las siguientes preguntas de investigación:

Pregunta central:

¿Cómo diseñar un plan de protección radiológica y de mantenimiento que ayude en las rutinas de monitoreo y control de un medidor de nivel de radioisótopo Am-241 de baja actividad?

Preguntas secundarias:

¿Cuáles son los principios para la elaboración de un plan de protección radiológica para una fuente sellada de Americio-241 de baja actividad?

¿Qué requerimientos nacionales se deben estandarizar con las normas internacionales en un plan de protección radiológica para una fuente sellada de Americio-241 de baja actividad?

¿Cuál deberá ser el contenido de un plan de protección radiológica para cumplir con las leyes nacionales e internacionales para una fuente sellada de Americio-241 de baja actividad?



## **OBJETIVOS**

### **General**

Diseñar un plan protección radiológica y mantenimiento para un medidor industrial de nivel de radioisótopo Am-241 que cumpla con estándares y normas nacionales e internacionales para la práctica.

### **Específicos**

1. Determinar los principios que debe cumplir un plan de protección radiológica, para una fuente sellada de Americio-241 de baja actividad.
2. Estandarizar los requerimientos nacionales e internacionales para un plan de protección radiológica de una fuente sellada de Americio-241 de baja actividad.
3. Establecer el contenido de un plan de protección radiológica que cumpla con las leyes nacionales/internacionales, para una fuente sellada de Americio-241 de baja actividad.



## RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

En esta investigación se busca determinar el contenido de un plan de protección radiológica y mantenimiento, para una fuente sellada de Americio-241 de baja actividad, utilizado en una fábrica embotelladora de bebidas, la fuente sellada debe estar contenida dentro de un equipo medidor de nivel de producto terminado y en la instalación donde se ubique. El plan de protección radiológica está orientado para las fábricas embotelladoras que no cuenten con un plan de protección radiológica y mantenimiento para dichos equipos o las que deseen mejorar y estandarizar alguno existente, para la práctica en mención. Lo anterior, conforme las leyes y sugerencias nacionales e internacionales actuales. Es una herramienta, para tener una guía específica de lo requerido, según el Artículo 34 inciso d) del Acuerdo Gubernativo (55-2001) de la República de Guatemala.

La variable de la investigación es el contenido del plan de protección radiológica y mantenimiento para un medidor industrial de nivel de baja actividad, utilizado en la industria embotelladora. Entre los indicadores están, el criterio de especialistas, encargados de protección radiológica y personal ocupacionalmente expuestos, los requisitos de ley nacional, organismos internacionales regulatorios de la materia y publicaciones relacionadas filtradas a criterio del investigador.

El tipo de investigación es no experimental, con un enfoque mixto y un alcance descriptivo, y pretende investigar un tema sobre el cual existen algunas dudas y diversidad de criterios relacionados con el dimensionamiento, operación y uso específico de las fuentes de radiación ionizante de baja actividad de Americio-241 utilizadas comúnmente en la industria embotelladora.

El trabajo de investigación se realizó en cuatro fases, las cuales se describen a continuación:

- Se determina mediante una revisión documental y un análisis de contenido, los principios para determinar todo aquello para la elaboración del plan de protección radiológica, mantenimiento y control de los equipos. Esto se realiza para las instalaciones de una fábrica de embotelladora de bebidas que utilicen el tipo de medidor de nivel industrial en mención.
- Se estandarizan los requerimientos nacionales e internacionales relacionados al uso y aplicación de las fuentes de radiación gamma de Americio-241; como, por ejemplo, leyes o reglamentos que estén dados sin considerar específicamente el tipo de aplicación y actividad de la fuente.
- Se establece el contenido con que debe de cumplir un plan de protección radiológica que cumpla con las leyes nacionales e internacionales, para una fuente sellada de Americio-241 de baja actividad.
- Se diseña un plan de protección radiológica y mantenimiento para un medidor industrial de nivel que cumpla con los principios de protección radiológica afín a la práctica, determinada por la actividad, hablando en el argot técnico, de la fuente sellada de radiación.

## INTRODUCCIÓN

La gestión del mantenimiento de la maquinaria y equipos es un factor clave para la correcta operación de las empresas productivas, pues permite asegurar la disponibilidad de la maquinaria de producción y de esta forma cumplir con las demandas de producto por parte de los clientes. La industria en estudio ve la necesidad de contar con lineamientos específicos que permitan el correcto uso, control y mantenimiento de un medidor industrial de nivel de radioisótopo Am-241, y que al mismo tiempo se cumplan los requisitos de seguridad industrial y protección para trabajadores ocupacionalmente expuestos. Resulta necesario el diseño de un plan de protección radiológica y mantenimiento para este tipo de equipos, que cumplan con los estándares nacionales e internacionales en materia de protección radiológica para la industria embotelladora en Guatemala.

Se busca diseñar un plan de protección radiológica y mantenimiento que ayude en las rutinas de monitoreo, control y mantenimiento de un medidor de nivel, el cual es un sistema capaz de detectar muy pequeños cambios en el nivel de contenido de cada uno de los recipientes de producto terminado en la industria embotelladora. Esta detección es lograda por una relación geométrica en la cual una fuente radioactiva, el nivel de llenado y el detector de radiación, son cuidadosamente posicionados en un mismo plano horizontal para su utilización en estos equipos. Se pretende también conocer cuáles son los requisitos para la elaboración de un plan de protección radiológica para una fuente sellada de baja actividad y conocer los requerimientos nacionales que se deben estandarizar con las normas internacionales en un plan de protección radiológica y realizar una propuesta de todo aquello que deberá cumplir un plan de protección radiológica

afín a la práctica, determinada por la actividad de nuestra fuente sellada de radiación.

La importancia de la investigación radica en la innovación para la industria embotelladora que utiliza equipos de medición de nivel en producto terminado, de contar con lineamientos claros y estandarizados en materia de protección radiológica para los equipos en mención. La investigación es de carácter no experimental con un enfoque mixto y alcance descriptivo, se desarrolla de la siguiente manera:

- I. Marco teórico: define una serie de términos y conceptos básicos necesarios, para enmarcar adecuadamente el riesgo radiológico del tipo de fuente radiactiva a utilizar y las implicaciones que esto conlleva. A la vez que permite que la fuente de radiación ionizante pueda ser enmarcada en una categoría, en donde se puede determinar el riesgo de exposición a la operación, control y mantenimiento de dicha fuente. Así como el bosquejo de los estándares nacionales e internacionales, tales como leyes, decretos, convenios, acuerdos, etc., que apliquen dada la actividad del radionúclido utilizado en la práctica específica de campo.
- II. Presentación de resultados: luego de realizada una revisión documental y análisis de contenido, acerca de todo aquello necesario para la elaboración de un plan de protección radiológica, mantenimiento y control de los equipos, y efectuada una encuesta a cierto grupo de trabajadores ocupacionalmente expuestos que trabajan en dos fábricas de bebidas embotelladoras de la ciudad de Guatemala y un trabajo de campo, en donde se utilizan estos medidores de nivel, se muestran los resultados de diagnóstico de la situación actual de dos fábricas embotelladoras en materia de

protección radiológica y el conocimiento de los trabajadores ocupacionalmente expuestos acerca de la materia. Y se plantea una propuesta de todo aquello que deberá cumplir un plan de mantenimiento y protección radiológica afín a la práctica. Específicamente se propone la creación de un archivo de seguridad radiológica en el que se contemplan todos aquellos elementos, procedimientos, instrumentos, instalaciones, cuidados y exigencias regulatorias de carácter obligatorio para el uso de un medidor industrial que trabaje con una fuente sellada de Am-241 de baja actividad.

- III. Discusión de resultados: Una vez realizada la presentación de resultados se interpretan los mismos a la luz de nuestras preguntas de investigación y se analiza la validez de los resultados con fuentes externas e internas, y se hace una comparación con los antecedentes de la investigación que busca semejanzas y coincidencias. Los resultados de la investigación son válidos para todo aquel radioisótopo de baja actividad que se utilice en medidores industriales para la práctica tipo III.

Se puede concluir que dentro de las características más importantes de un plan de protección radiológica y mantenimiento están: velar por la seguridad de las personas ocupacionalmente expuestas, vigilar cuidadosamente las dosis recibidas por el personal, además de exigir que se cumpla con las normas de seguridad radiológica definidas para las instalaciones de una fábrica embotelladora que trabaje con las fuentes en mención, y se recomienda que el plan de protección radiológica debe ser lo más preciso y detallado posible, explicar de forma clara cuál es la jerarquía de operación en caso de emergencia, capacitar constantemente al personal, así el personal pueda reaccionar de manera correcta ante una emergencia radiológica.



# 1. MARCO TEÓRICO

## 1.1. Mantenimiento

Un autor define mantenimiento como: “el conjunto de técnicas destinado a conservar equipos e instalaciones en servicio durante el mayor tiempo posible (buscando la más alta disponibilidad) y con el máximo rendimiento” García Garrido (2003), además de cronológicamente describir la función del mantenimiento según la época en que la industria se ha venido desarrollando, donde se puede evidenciar como éste ha venido evolucionando hasta llegar a lo que hoy día se conoce, según el concepto inicial. Se mencionan varios tipos de mantenimiento; sin embargo, para el alcance del trabajo se centra en el mantenimiento preventivo.

### 1.1.1. Mantenimiento preventivo

La misión del mantenimiento preventivo es mantener un nivel de servicio determinado en los equipos, programando las correcciones en sus puntos vulnerables en el momento más oportuno. Y que consiste principalmente en realizar la serie de actividades que indica el fabricante de la máquina para mantener su perfecto estado y que se refiere principalmente a inspecciones VOSO. Girón Álvarez (2017)

¿Por qué se debe gestionar la función mantenimiento?, ¿No es más fácil y más barato acudir a reparar un equipo cuando se averíe y olvidarse de planes de mantenimiento, estudio de fallas, sistemas de organización, que incrementan

notablemente la mano de obra indirecta? Veamos por qué es necesario gestionar el mantenimiento:

- Porque la competencia obliga a rebajar costes. Por tanto, es necesario optimizar el consumo de materiales y el empleo de mano de obra. Para ello es imprescindible estudiar el modelo de organización que mejor se adapta a las características de cada planta; es necesario también analizar la influencia que tiene cada uno de los equipos en los resultados de la empresa, de manera que se dedique la mayor parte de los recursos a aquellos equipos que tienen una influencia mayor; es necesario, igualmente, estudiar el consumo y el stock de materiales que se emplean en mantenimiento; y es necesario aumentar la disponibilidad de los equipos, no hasta el máximo posible, sino hasta el punto en que la indisponibilidad no interfiera en el Plan de Producción.
- Porque han aparecido multitud de técnicas que es necesario analizar, para estudiar si su implantación supondría una mejora en los resultados de la empresa, y para estudiar también cómo desarrollarlas, en el caso de que pudieran ser de aplicación. Algunas de estas técnicas son las ya comentadas: TPM (Total Productive Maintenance, Mantenimiento Productivo Total), RCM (Reliability Centered Maintenance, Mantenimiento Centrado en Fiabilidad), Sistemas GMAO (Gestión de Mantenimiento Asistido por Ordenador), diversas técnicas de Mantenimiento Predictivo (Análisis vibracional, termografías, detección de fugas por ultrasonidos, análisis amperimétricos, etc.).
- Porque los departamentos necesitan estrategias, directrices a aplicar, que sean acordes con los objetivos planteados por la Dirección.

- Porque la calidad, la seguridad, y las interrelaciones con el medio ambiente son aspectos que han tomado una extraordinaria importancia en la gestión industrial. Es necesario gestionar estos aspectos para incluirlos en las formas de trabajo de los departamentos de mantenimiento.

Por todas estas razones, es necesario definir políticas, formas de actuación, es necesario definir objetivos y valorar su cumplimiento, e identificar oportunidades de mejora. En definitiva, es necesario gestionar mantenimiento. García Garrido, (2003).

## **1.2. Inspector de nivel**

El propósito de un sistema de control de nivel, por sus siglas en inglés FLIR (Fill-Level Inspection Rejection System), es medir el nivel de los contenedores o recipientes en un sistema de transporte y con la información que proporciona la medición, controlar la acción de un mecanismo de rechazo.

El sistema es capaz de detectar muy pequeños cambios en el nivel de contenido de cada uno de los recipientes. Esta detección es lograda por una relación geométrica en la cual una fuente radioactiva, el nivel de llenado y el detector de radiación, son cuidadosamente posicionados en un mismo plano horizontal.

### **1.2.1. Teoría de medición**

La medición de la densidad o peso por unidad de área, a través de rayos penetrantes había sido un concepto en prueba durante muchos años. No fue sino hasta 1940 que los isótopos radioactivos fueron económicamente factibles, la vía

para desarrollar un nuevo campo de las técnicas de análisis con radiación. Las iniciales y más publicitadas aplicaciones fueron en el campo de investigación en medicina. Al mismo tiempo, investigaciones acerca de las ventajas de las mediciones con radioisótopos comenzaron.

Los resultados de estas investigaciones, con el tiempo, fueron desarrollando una gran variedad de métodos de medición, posibilitando en la industria, obtener una medición continua en varios procesos.

### **1.2.2. Principios básicos del sistema de medición**

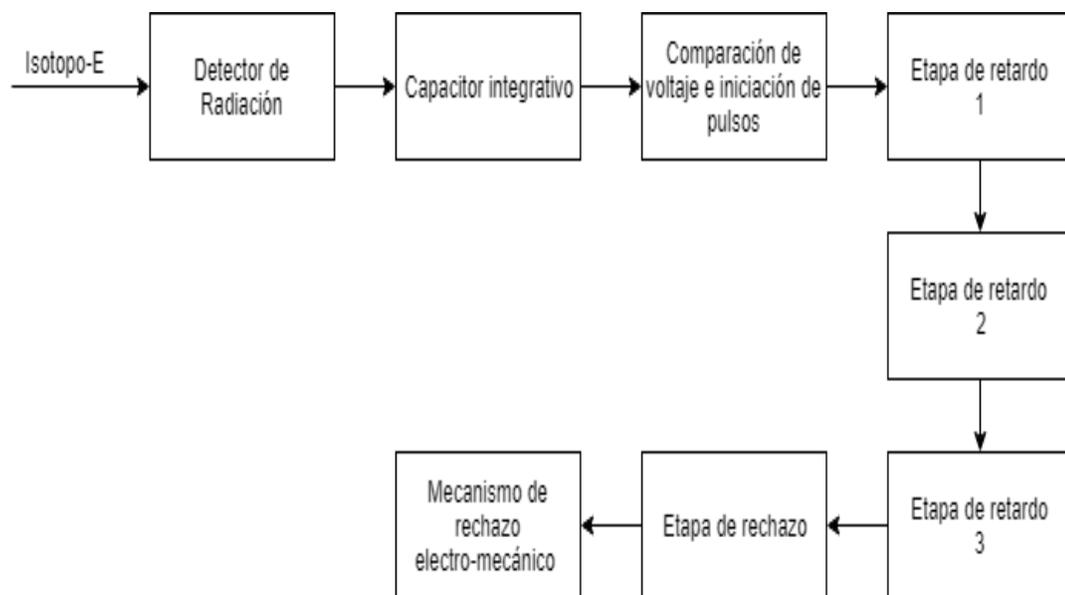
El sistema opera bajo el principio de absorción de la radiación. En un tiempo específico, para determinado isótopo radioactivo, una cantidad dada de radiación será emitida por el isótopo durante su desintegración. Si esta radiación es dirigida a cierto material, la cantidad de radiación alcanzada en un detector de radiación situado en el lado opuesto es proporcional a la masa a través de la cual pase, si el nivel de llenado o volumen en un contenedor de líquido cambia, la cantidad de radiación recibida en el detector también lo hace. El detector convierte la cantidad de radiación recibida en una señal eléctrica.

El sistema utiliza un circuito integrador, el cual acumula la señal total del detector en un capacitor. El voltaje desarrollado a través del capacitor en un período constante de tiempo está relacionado con la cantidad de radiación total recibida en el detector. La inspección de nivel es lograda a través de un dispositivo que acciona cuando el voltaje censado corresponde a un recipiente de bajo llenado. La señal del dispositivo de accionamiento es utilizada en un dispositivo de rechazo para remover los contenedores con bajo nivel del transportador de la línea de producción.

El radioisótopo utilizado en el sistema es un elemento en su forma inestable (Americio 241), el cual cambia de desintegración nuclear espontánea, a la forma estable del elemento, emitiendo en el proceso de cambio, radiación electromagnética.

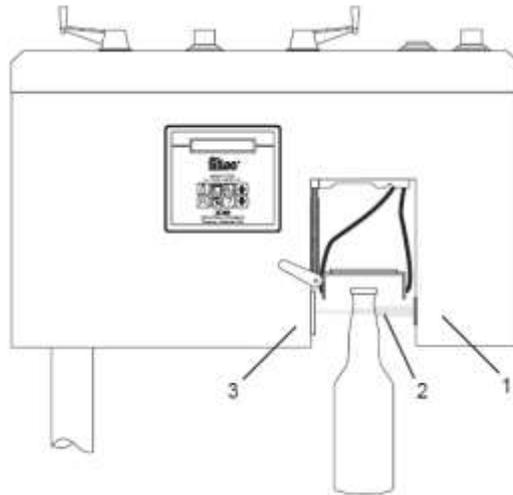
La figura 1 muestra un diagrama de bloques explicando el funcionamiento de un sistema de medición de nivel, desde la primera etapa que es la de emisión del isótopo hasta el mecanismo de rechazo mecánico.

Figura 1. **Diagrama de bloques del sistema de medición de nivel**



Fuente: elaboración propia.

Figura 2. **Partes del inspector de nivel**



No.	Descripción
1	Fuente Gamma
2	Haz Gamma
3	Detector Gamma

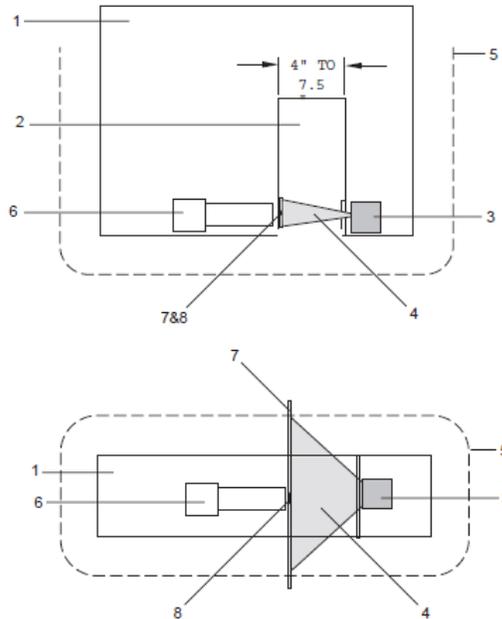
Fuente: FILTEC (1998)

La figura 2 muestra de forma gráfica un inspector de nivel de botellas y señala donde se encuentran ubicadas las partes más importantes para la tarea de la inspección (fuente emisora, haz de radiación y detector).

### 1.2.3. **Perfiles de exposición**

El patrón de radiación electromagnética, así como una vista de planta del sistema con algunas de sus partes, pueden apreciarse en la figura 3.

Figura 3. **Esquemático del perfil de radiación**



No.	Descripción	No.	Descripción
1	Cabeza de inspección	5	5 cm de contorno
2	Túnel de inspección	6	Detector de radiación
3	Americio-241 sellado	7	Barra de protección
4	Límites del haz principal	8	Ventana de detección

Fuente: FILTEC (1998)

#### 1.2.4. Descripción del sistema de inspección

El sistema de inspección utiliza una pequeña cantidad del radioisótopo Americio 241, para producir radiación gama con una fuente de baja actividad. El radioisótopo está en una forma de esmalte cerámico y su intervalo de fusión oscila los 900 a 1500 grados centígrados.

La fuente radioactiva está confinada en una cápsula de acero inoxidable 304 y plomo con doble soldadura en los puntos de unión. La cápsula está

montada en un contenedor de acero inoxidable montado en un cabezal del equipo inspector de nivel.

El equipo posee un accionamiento seguro para el haz de radiación, cuando abre una compuerta de doble pared, ubicada al lado del cabezal del equipo, permite al haz de radiación pasar, a través de una ventana plástica del confinamiento de acero inoxidable de la misma. Cuando la compuerta se cierra, toda la radiación contenida en el permanece dentro del confinamiento de la fuente radioactiva.

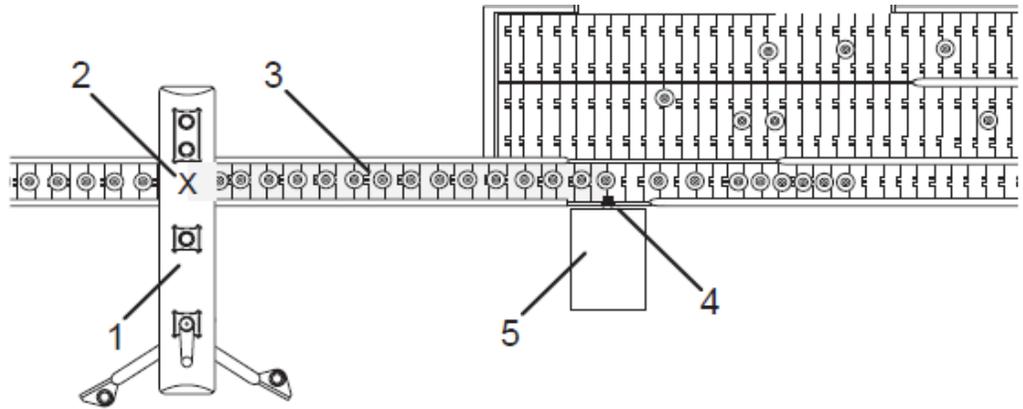
Solo hay dos formas de estar expuesto a niveles peligrosos de radiación utilizando el equipo inspector de nivel: externamente, a través de la excesiva exposición a la fuente de radiación en alguna parte del cuerpo, e internamente, ingiriendo el material radioactivo, lo cual por el tipo de fabricación del confinamiento del equipo es imposible.

La fuente de radiación produce una energía de radiación gamma relativamente baja. Para recibir una dosis peligrosa de radiación para esta fuente de energía de bajo nivel, se requeriría una larga exposición directamente recibida del haz principal de radiación.

Se requeriría muchas horas de exposición, al colocar las manos o cualquier parte del cuerpo frente al haz de radiación gamma del equipo para recibir una cantidad peligrosa de radiación.

En la figura 4, a continuación, se puede observar la posición en una línea de producción del inspector de nivel, así como su función dentro de la misma.

Figura 4. **Sistema de control de nivel y rechazador**



No.	Descripción
1	Inspector
2	Localización del accionamiento del inspector
3	Extensión del área de seguimiento
4	Línea central del rechazador
5	Rechazador

Fuente: FILTEC (1998)

Figura 5. **Inspector de nivel**



Fuente: FILTEC (1998)

La figura 5 muestra una fotografía real de un inspector de nivel de llenado en botellas, que funciona con una fuente radiológica.

### **1.3. Protección y vigilancia radiológica para medidores industriales**

En 1928, se creó una organización independiente no gubernamental compuesta por un cuerpo de expertos en materia de radiaciones ionizantes denominado Comité Internacional de Protección ante Rayos-X y Radio que más tarde (1950) pasó a llamarse Comisión Internacional de Protección Radiológica

(ICRP por su sigla en inglés). Su propósito es establecer los principios básicos, y emitir recomendaciones sobre protección contra radiaciones.

Estos principios y recomendaciones forman la base de las normas nacionales que rigen la exposición de los trabajadores y los miembros del público a las radiaciones, en el ámbito industrial. También han sido incorporados por la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA) en sus normas básicas de seguridad para la protección contra las radiaciones, publicado juntamente con la Organización Mundial de la Salud (OMS), Organización Internacional del Trabajo (OIT), Agencia de Energía Nuclear de la OCDE (AEN) y FAO. Estas normas se utilizan en todo el mundo para garantizar la protección de la seguridad y la radiación de los trabajadores de la radiación y el público en general en la industria.

En 1955, la Asamblea General de las Naciones Unidas conformó un organismo intergubernamental, de carácter científico sobre los Efectos de las Radiaciones Atómicas (UNSCEAR), cuya orientación es estudiar y difundir información sobre los niveles observados de las radiaciones ionizantes y la radiactividad (natural y artificial) en el medio ambiente, y sobre el efecto de dicha radiación en el hombre y el medio ambiente.

Todas las personas están expuestas a radiaciones ionizantes a lo largo de su vida, dado que en forma natural se tiene emisiones de dichas radiaciones aún cuando las estimaciones de dosis por radiación natural (o de fondo) que reciben las personas individualmente, varían entre unos estudios y otros, se puede decir que se encuentra en el rango de 1 a 3 mSv por año.

Por otra parte, deben considerarse las exposiciones, debido a fuentes artificiales de origen médico o industriales. Las personas se exponen a

radiaciones artificiales en su calidad de pacientes, trabajadores o público. Los trabajadores ocupacionalmente expuestos (TOE) son aquellos que debido a su trabajo se ven expuestos a radiaciones ionizantes de tipo artificial, como parte del personal de industrias en donde se utilicen.

El público corresponde a todas las personas que se exponen involuntariamente a radiación ionizante sin relación con la actividad. La comisión (ICRP) define como miembro del público a todo individuo sujeto a una exposición que no es ocupacional.

La mayoría de las decisiones sobre las actividades humanas están basadas en un sistema de balance entre beneficios versus costos e inconvenientes, las que conducen, que tal o cual línea de conducta u acción de una práctica se realice con un beneficio neto para las personas o la sociedad. Por tal motivo, y a consecuencia de lo ya expuesto, la filosofía que debe primar en el campo de la radio protección es la de restringir al máximo posible el riesgo con relación al gran beneficio que, obtenido, gracias a la utilización de las técnicas nucleares y radiológicas, considerando que hasta el momento se conocen beneficios innegables de aplicaciones radiológicas.

### **1.3.1. Principios de protección radiológica en medidores industriales**

Se exponen a continuación una serie de principios que emanan de la comunidad científica y especialmente de los organismos internacionales que trabajan en esta materia, especialmente el Organismo Internacional de Energía Atómica, institución por parte del sistema de Naciones Unidas.

Considerando que las radiaciones ionizantes en la industria pueden representar un peligro para la salud de las personas, se hace necesario disponer de un conjunto de medidas, normas y procedimientos que permitan controlar adecuadamente los riesgos de exposición.

- **Objetivos de la protección radiológica en la industria**

“Garantizar que toda práctica en la industria, que conlleve exposición a las radiaciones ionizantes se realice con la mayor seguridad y protección, de forma tal que se minimice, al máximo posible, la exposición y el riesgo de daño a los trabajadores, al público y al medio ambiente”. Para alcanzar el objetivo de la protección radiológica, se establecieron los principios básicos de la protección radiológica. Los mismos, deben tenerse en cuenta y ser aplicados en cada práctica que se realice con exposición a las radiaciones.

- **Principios de protección radiológica utilizados en la industria:**

El sistema de protección radiológica en la industria está basado en tres principios fundamentales:

- Justificación
- Limitación de dosis
- Optimización

Se explica a continuación en detalle cada uno de ellos.

- **Principio de justificación para prácticas de medición de nivel en la industria:**

Es el principio que pone en la balanza los beneficios vs los costos de las prácticas con radiaciones ionizantes. El principio de justificación conduce a impedir la utilización de fuentes de radiación con fines superfluos.

Se pretende que toda práctica en la industria con emisión de radiaciones sea debidamente justificada. Ninguna práctica con radiaciones ionizantes debe ser autorizada si no existen evidencias de que la misma va a producir, para los individuos o la sociedad, beneficios que compensen el posible detrimento que puede generar.

En la consideración del perjuicio o daño posible debe tenerse en cuenta no solamente el detrimento asociado con la operación normal de las instalaciones, sino que pueda derivarse de posibles accidentes.

En las instalaciones nucleares y prácticas industriales donde puede haber un mayor riesgo radiológico, se pueden aplicar modelos matemáticos para determinar el beneficio neto de la práctica para el desarrollo a expensas del riesgo de la población y el medio ambiente.

- **Principio de optimización para prácticas de medición de nivel en la industria:**

Un principio básico en la protección radiológica en la industria es mantener los niveles de radiación cuanto más bajo sea posible, dado que existe una relación directa entre el aumento del riesgo con el aumento del nivel de dosis, teniendo en cuenta factores económicos y sociales.

En consecuencia, las prácticas con radiaciones ionizantes desde el origen, planificación, uso y aplicación deben asegurar los niveles más bajos que razonablemente se puedan conseguir.

La comisión (ICRP) define el principio de optimización como: “el proceso relacionado con la fuente que tiene por finalidad mantener tan bajos como sea razonablemente posible la probabilidad de que ocurran exposiciones (cuando no es seguro que habrán de ocurrir), el número de personas expuestas, y la magnitud de las dosis individuales, teniendo en cuenta factores económicos y sociales.”

La optimización en todas las fases del proceso en que se emiten radiaciones para cualquier fin debe ser uno de los objetivos principales de cualquier programa de protección radiológica y de gestión de la calidad que se establezcan en una instalación industrial con fuente emisora.

El principio de optimización debe ser limitado por las restricciones de las dosis o el riesgo para las personas en el caso de las exposiciones potenciales.

Las prácticas básicas en materia de protección radiológica son consistentes en todo el mundo. La CIPR recomienda que toda exposición por encima del fondo natural debe mantenerse tan bajo como sea razonablemente posible, pero en todo caso por debajo de los límites de dosis individuales.

- **Principio de limitación de dosis para prácticas de medición de nivel en la industria:**

En virtud de los conocimientos de umbrales de efectos determinísticos y de los efectos estocásticos, la comunidad científica internacional ha establecido

recomendaciones para la industria, sobre los límites máximos de dosis que las personas no debieran sobrepasar para mantener un riesgo aceptable.

Los límites de dosis reglamentarios son decididos por la autoridad reguladora, teniendo en cuenta las recomendaciones internacionales y se aplican a trabajadores y miembros del público en situaciones de exposición planificada.

- **Dosis de situaciones de emergencias en áreas industriales:**

Una emergencia es cualquier situación en que se pierde el control de una fuente radiactiva, ya sea por una cuestión tecnológica, un accidente, un robo o uso malicioso.

Las situaciones de exposición de emergencia son aquellas situaciones inesperadas que pueden demandar la implementación de acciones protectoras urgentes, y también de medidas protectoras para el largo plazo. En estas situaciones puede ocurrir la exposición de miembros del público o de los trabajadores, así como la contaminación medioambiental.

Las exposiciones pueden ser complejas, en el sentido que puede ser el resultado de varias vías independientes, quizás actuando simultáneamente. Además, los riesgos radiológicos pueden estar acompañados por otros riesgos, como lo son incendios, explosiones o fenómenos naturales.

### **1.3.2. Protección radiológica operacional en áreas industriales**

La protección radiológica operacional en la industria se refiere a un sistema que contiene todas las medidas prácticas para la protección de la salud de las personas ante las radiaciones ionizantes.

El objetivo es mantener bajo control radiológico toda situación que involucre exposiciones a radiaciones ionizantes, mediante el control de las condiciones imperantes y de supervisiones en el lugar.

Los riesgos radiológicos pueden provenir de fuentes radiactivas o de equipo generadores.

Las fuentes radiactivas de uso en la industria pueden ser selladas o abiertas. A su vez, las fuentes pueden ser de “alta actividad”, cuando generan una tasa de dosis igual o superior a 1 rem/hora (0.01 Sv/h); por debajo de éstas, son consideradas fuentes de “baja actividad”.

Las personas pueden irradiarse principalmente mediante dos mecanismos: irradiación externa y por contaminación radiactiva.

- Irradiación externa: es cuando la fuente emisora de radiaciones se encuentra fuera de la persona que se expone y es irradiada. Esta irradiación puede ser, de cuerpo total, parcial o localizado. Esta situación puede presentarse tanto con equipos generadores como con fuentes radiactivas de uso industrial.
- Contaminación radiactiva: es el caso en que la fuente emisora se encuentra en contacto con la persona, si es en la superficie (piel, mucosas y/o uñas) la contaminación es superficial, si la fuente se encuentra en el interior del organismo, entonces es una contaminación interna.

La contaminación radiactiva sólo puede presentarse en actividades con fuentes radiactivas y NO con equipos radiadores.

- **Medidas de protección radiológica operacional en una industria:**

En la industria, se busca que la exposición sea tan baja como sea razonablemente posible y en ningún caso sobrepasen los límites de dosis establecidos o recomendados.

Las variables que permiten mantener bajo control las exposiciones son: blindaje, tiempo y distancia.

### **1.3.3. Clasificación de zonas radiológicas en áreas industriales**

Las normas básicas de seguridad establecidas por el Organismo Internacional de Energía Atómica (IAEA) recomiendan la clasificación de zonas para la protección radiológica en la industria. Estas pueden ser:

- Zona controlada: es toda zona en la que son o pudieran ser necesarias medidas de protección y disposiciones de seguridad específicas para controlar las exposiciones o prevenir la dispersión de la contaminación en condiciones normales de trabajo, así como, prevenir las exposiciones potenciales o limitar su magnitud.
- Zona supervisada: es toda zona no definida como controlada, pero en la que se mantiene bajo vigilancia las condiciones de exposición ocupacional, aunque normalmente no sean necesarias medidas protectoras ni disposiciones de seguridad específicas.

### **1.3.4. Señalización de riesgo radiológico para la industria**

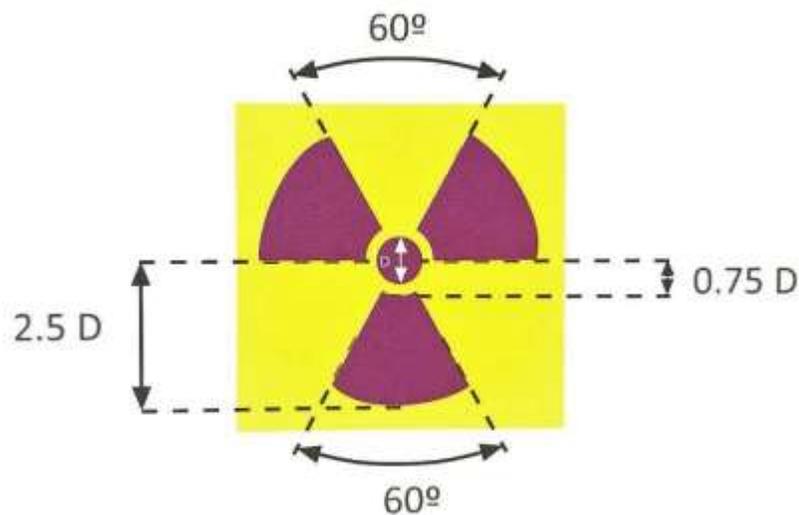
La señalización debe utilizarse siempre que exista un motivo y debe suprimirse en cuanto cese el riesgo radiológico. Debe emplearse exclusivamente

para el riesgo al que se refiere. Hay que respetar siempre la señalización y nunca ser indiferente a ella.

- **Señal de advertencia riesgo radiactivo para la práctica de medición de nivel en áreas industriales:**

En la figura 6, se observa un ejemplo de una de las señales utilizadas en la industria para indicar la advertencia de riesgo radiactivo, los colores y dimensiones de esta señal se encuentran estandarizados.

Figura 6. **Señal de riesgo radiológico con dimensiones estándar para la industria**



Fuente: Organismo Internacional de Energía Atómica(1996)

### 1.3.5. Programas de protección radiológica industrial

El programa de protección radiológica en la industria (PPR), abarca principales elementos que contribuyen a la protección y la seguridad y es, por lo

tanto, un factor clave para el desarrollo de la cultura de la seguridad. El desarrollo de la cultura de seguridad depende del compromiso de la Dirección.

Se refiere a un conjunto de medidas interrelacionadas que apunta a disminuir cuanto sea posible el riesgo de las radiaciones ionizantes sobre los trabajadores, el público y el medio ambiente.

Un programa de protección radiológica debe contener lo siguiente:

- La asignación de responsabilidades para la seguridad y la protección radiológica ocupacional a los diferentes niveles de dirección, incluidas las correspondientes disposiciones de carácter organizativo, y si procede (por ejemplo, en el caso de los trabajadores itinerantes), la distribución de las respectivas responsabilidades entre los empleadores y el titular registrado o el titular licenciado.
- La designación de zonas controladas o supervisadas.
- Las reglas locales que deben seguir los trabajadores y la supervisión del trabajo.
- Las disposiciones para la vigilancia radiológica de los trabajadores y de los puestos de trabajo, inclusive la adquisición y el mantenimiento de los instrumentos de protección radiológica.
- El sistema para registrar y notificar toda la información pertinente relacionada con el control de las exposiciones, las decisiones referentes a las medidas para la protección radiológica ocupacional y la seguridad, así como la vigilancia radiológica individual.
- El programa de enseñanza y capacitación sobre la naturaleza de los riesgos, la protección y la seguridad.
- Los métodos para auditar y revisar periódicamente la ejecución del PPR.
- Los planes para aplicar en caso de intervención.

- Los requisitos para garantizar la calidad y la mejora de los procesos.

Aspectos operativos básicos para tener en cuenta en un programa de protección radiológica industrial:

- Registro de fuentes emisoras que se poseen a la fecha y licenciamiento de cada una de ellas.
- Procedimientos específicos para operaciones normales y en situaciones accidentales.
- Contar con un responsable de la protección radiológica, definir sus funciones.
- Control de los trabajadores expuestos y de las autorizaciones de desempeño, así como de las licencias de operación de las instalaciones.
- Medidas de control para el público y medio ambiente.
- Vigilancia radiológica ambiental.
- Programa de gestión de calidad y de buenas prácticas.
- Programa de mantenimiento de los equipos de control periódico del estado de las fuentes, de su identificación, de la señalética, etc.
- Evaluaciones periódicas de distintos indicadores de dosis y exposición.
- Programa de capacitación y entrenamiento del personal, etc.

### **1.3.6. Vigilancia radiológica en una industria**

Se entiende por vigilancia radiológica al conjunto de medidas destinadas a verificar las condiciones del ambiente, el lugar de trabajo y de las personas ante la emisión de radiaciones ionizantes.

### **1.3.7. Detectores de radiación de área para la industria**

Para la evaluación ambiental en la industria (por ejemplo, en zonas controladas) se emplean instrumentos de lectura directa, generalmente portátiles, que indican la tasa de radiación, es decir, la dosis por unidad de tiempo. Estos instrumentos son útiles para la medida de radiactividad ambiental o de contaminación radiactiva. La mayoría de estos medidores de radiación ionizante se basan en algunos de estos fenómenos: ionización de gases, excitación de luminiscencia o detectores semiconductores.

- La finalidad de las mediciones:
  - Medir el nivel de exposición por irradiación externa.
  - Muestrear la contaminación del aire por elementos radioactivos.
  - Examinar la contaminación radiactiva superficial.
  
- Las consideraciones que deben tener los instrumentos de medición:
  - Deben estar definidos de acuerdo con el riesgo a controlar.
  - Realizar calibración periódica.
  - Operadores entrenados en el uso del equipo.
  - Buenas condiciones de mantenimiento.
  - Llevar hoja de vida al día.

### **1.3.8. Vigilancia radiológica personal (dosimetría personal) para la industria**

En el campo de la protección radiológica industrial, la vigilancia radiológica personal del trabajador expuesto ocupa un lugar relevante por cuánto ésta tiene

como objetivo fundamental el registro, la evaluación, control e interpretación de la dosis que el operador va recibiendo y acumulando a través del tiempo por el desempeño de sus actividades. Esto permite tomar una conducta sanitaria específica cuando las dosis no se corresponden al tipo ni a la carga de trabajo en la que el trabajador se desempeña. La técnica más empleada para estos fines es la dosimetría personal.

### **1.3.9. Exposición para personal ocupacionalmente expuesto en prácticas industriales**

Se entiende por exposición a aquella situación en que una persona esté sometida a la acción y los efectos de las radiaciones ionizantes que puedan provocar un riesgo radiológico. Existen diferentes tipos de exposición, entre los cuales están:

- Externa (o irradiación): exposición del organismo debido a la acción de radiaciones provenientes a fuentes exteriores al cuerpo.
- Interna: exposición del organismo a fuentes interiores a él (ocurrida por ingreso de radionucleidos al interior del cuerpo).
- Exposición total: es la suma de las exposiciones externa e interna.
- Exposición continua: exposición externa prolongada, o exposición interna por incorporación permanente de radionucleidos, cuyo nivel puede variar con el tiempo.
- Exposición única: exposición externa de corta duración o exposición interna por incorporación de radionucleidos en un corto período de tiempo.
- Exposición global: exposición considerada como homogénea en el cuerpo entero.

- Exposición parcial: exposición sobre uno o varios órganos o tejidos, sobre una parte del organismo o sobre el cuerpo entero, considerada como no homogénea.

#### **1.3.10. Dosímetros industriales**

Son medidores de radiación diseñados para medir dosis de radiación acumulada durante un período de tiempo y normalmente se utilizan para medir la dosis a que está expuesto el personal que trabaja, o que permanece en zonas en las que existe riesgo de irradiación en la industria.

La vigilancia radiológica mediante dosimetría personal proporciona los datos necesarios para estimar la dosis equivalente que ha recibido la persona expuesta, ya sea en cuerpo completo o partes.

#### **1.4. Planificación de emergencias radiológicas para áreas industriales**

El riesgo en el uso de radiaciones en la industria viene dado por el daño potencial que pueden causar los accidentes y no por la frecuencia de ocurrencia, por tanto, siempre hay que reducir al mínimo posible la probabilidad de ocurrencia de la pérdida de control de una fuente radiactiva.

Un plan de emergencia constituye el conjunto de procedimientos y medidas establecidos para hacer frente a las emergencias radiológicas, entendidas éstas como aquellas situaciones causadas por un suceso eventual donde las personas reciben o pueden recibir dosis de radiación anormales, muchas veces de graves consecuencias. Del mismo modo, algunos de estos eventos pueden causar daños ambientales y a la propiedad.

### 1.4.1. Consecuencias de emergencias radiológicas

Para discriminar la magnitud de los accidentes nucleares en término de su consecuencia, el Organismo Internacional de Energía Atómica ha establecido la Escala Internacional de Eventos Nucleares (más conocida por sus siglas en inglés, INES - International Nuclear EventScale -) para permitir la comunicación en forma simple y facilitar el conocimiento de los medios de comunicación y la población de su importancia en materia de seguridad. Esta escala está representada en la figura 7, a continuación:

Figura 7. Escala INES propuesta por la OIEA



Fuente: Organismo Internacional de Energía Atómica, (1997)

La escala INES es un medio para comunicar al público la magnitud e importancia de los eventos nucleares y radiológicos desde el punto de vista de la seguridad.

Los sucesos se clasifican en siete niveles. Los niveles 1 a 3 se denominan incidentes, mientras que los niveles 4 a 7 se llaman accidentes. Cada aumento

de nivel en la escala indica que la gravedad de los sucesos es, aproximadamente, diez veces superior. Cuando los eventos no revisten importancia desde el punto de vista de la seguridad se los denomina “desviaciones” y se clasifican “debajo de la escala / nivel 0”.

Los sucesos que involucran la exposición de un reducido número de personas, pero a elevados niveles de irradiación externa y/o interna, generalmente son trabajadores ocupacionalmente expuestos, se pueden clasificar en accidentes del grado 1 al 3.

El nivel 6, según el INES un “accidente importante”, solo ha sido alcanzado en dos ocasiones. En ambos casos se trata de centrales de la antigua Unión Soviética: el primero, menos conocido, fue la explosión en el complejo nuclear de Kyshtym (Mayak, Rusia) en 1957, en el que murieron varios cientos de personas. El segundo fue la catástrofe de Chernóbil, que en 1986 alcanzó el máximo nivel de la escala INES (el 7). El reciente accidente fue en Fukushima recibió inicialmente la clasificación cinco, para ascender después a la 6 y finalmente a la 7, con discrepancia del gobierno japonés.

#### **1.4.2. Planes de emergencia radiológica para la industria**

Correspondiente al conjunto de medidas prescritas y asignación de responsabilidades ordenadas, para dar respuesta a una emergencia radiológica. El plan se plasma en un documento que debe ser conocido por todos los actores relevantes en las respuestas.

- **Componentes y elementos básicos de un plan de emergencia para medidores de nivel industriales:**

Los planes de emergencia en la industria deben incluir los siguientes puntos, según proceda:

- Asignación de responsabilidades, con la notificación a las autoridades competentes y el inicio de la intervención.
- Identificación de las diversas condiciones de funcionamiento y de otros tipos de fuentes que pudieran originar la necesidad de una intervención.
- Establecimiento de los niveles de intervención, según las recomendaciones internacionales, teniendo en cuenta los posibles grados de gravedad de los accidentes o las emergencias que pudiesen sobrevenir.
- Descripción de las disposiciones relativas a la información pública en caso de accidente.
- Criterios para poner fin a cada acción protectora.

#### **1.4.3. Operaciones de rescate de una fuente radiactiva usada en medidores industriales**

Las emergencias corresponden a pérdida de control de una fuente, no significa necesariamente que exista un gran riesgo de irradiación, pues lo más probable es que en muchas ocasiones la fuente tenga su blindaje intacto.

Una situación de mayor riesgo lo puede representar un incendio donde quede atrapado un equipo que contenga una fuente radiactiva, pues el calor podría llegar a fundir el blindaje y romper la cápsula de sello liberando el material radiactivo.

Siempre es necesario evaluar la magnitud de la emergencia para determinar el plan de actuación.

Para el manejo de una fuente radiactiva que presenta riesgos de exposiciones indebidas, por pérdida del control en la instalación, siempre debe recurrir a personal especializado, se pueden considerar emergencias:

- El robo o pérdida de una fuente radiactiva.
- Un incendio en que el equipo que contiene la fuente quede expuesto a fuego o calor.
- Un desastre natural que dañe un equipo radiactivo.

Si se cuenta con una fuente fuera de control, la primera acción es evitar que las personas se acerquen al lugar. Se debe acordonar con cualquier elemento, poner aviso de peligro y llamar de inmediato a la autoridad competente.

El personal especializado de respuesta debe seguir un control de rescate y puesta en control de la fuente. Fases para seguir por el personal de rescate:

- Recabar la información sobre las características de la fuente, su registro, tipo de fuente radiactiva, actividad.
- Medir el nivel de fondo y calcular las distancias a las cuales se tendría determinadas tasas de exposición.
- Con instrumentación adecuada se rastrea el área y se acota la zona donde se detecta el campo de radiación.
- Una vez ubicada la fuente se programa la operación de rescate evaluando el tiempo y las dosis que reciben las personas que participan.
- Se planifica la forma segura de transporte de la fuente en embalajes con blindaje adecuado hasta su lugar de almacenamiento.

## **1.5. Radioactividad**

Es el fenómeno de emisión de energía que en forma de ondas electromagnéticas o partículas nucleares y que cualquier núcleo es llamado radiactivo si éste, cambia su estructura emitiendo energía en forma de rayos Gamma o alguna partícula nuclear como las partículas alfa, beta o neutrones. Niello (2007)

La radioactividad es el término utilizado para describir la desintegración de los átomos. El átomo puede ser caracterizado por el número de protones en el núcleo. Algunos elementos naturales son inestables, por lo tanto, sus núcleos se desintegran o descomponen, liberando así la energía en forma de radiación. Tal fenómeno físico es conocido como radiactividad. La desintegración radiactiva se expresa en unidades llamadas becquerelios, un becquerel es igual a una desintegración por segundo. Niello (2007)

### **1.5.1. Radiación natural, conceptos**

Los materiales radiactivos son parte integrante de la tierra desde los orígenes del universo. Cada átomo que tenga una pequeña inestabilidad en su núcleo como para emitir partículas o radiación electromagnética se puede considerar radiactivo. Niello (2007)

La radiación natural es por tanto, la emisión radiactiva sin intervención del hombre y estará presente en todas las actividades de la vida. De hecho, el propio ser humano es algo radiactivo y siempre ha estado expuesto a la radiación natural que surge de la tierra, así como de fuera de la tierra. La radiación que se recibe del espacio exterior se conoce como radiación cósmica o rayos cósmicos.

En cada lugar, debido a los diferentes tipos de materiales existentes en la naturaleza, existe una cantidad mínima de radiación natural denominada radiación de fondo. El factor de nivel de fondo puede variar por la localidad, alimentación, anatomía y fisiología de las personas. Muchas personas sufren incrementos de la exposición a la radiación natural en sus lugares de trabajo, tales como minas subterráneas, el procesado de minerales y la tripulación de aeronaves. En estos lugares de trabajo puede haber un nivel de fondo por sobre lo común y será necesario considerarlo en las medidas preventivas. Stellman & McCann (1998)

El nivel de fondo o radiación natural es la base sobre la que se añaden todas las demás exposiciones y es un nivel común, que sirve de comparación para otras exposiciones. Estos niveles de fondo podrían como “aceptables”. Organismo Internacional de Energía Atómica (1997)

### **1.5.2. Fuentes artificiales de radiación**

Se denominan fuentes artificiales aquellas en que la radiación se produce mediante algún mecanismo donde ha intervenido el hombre Mediavilla (2005), ya sea produciendo un radioisótopo radiactivo, concentrando material de radiación natural por procesos físico químicos o activando un equipo que genera las radiaciones. Las principales fuentes artificiales de radiaciones ionizantes, se pueden dividir en tres grandes grupos: explosiones nucleares, producción de potencia nuclear y usos médicos de la radiación. El conjunto de radiaciones que recibe el ser humano proviene entonces de fuentes tanto naturales como artificiales. Stellman & McCann (1998)

## **1.6. Tipología de las radiaciones**

El término radiación es muy amplio e incluye cosas tales como la luz y las ondas de radio. En nuestro contexto se refiere a la radiación ionizante, lo que significa que debido a que dicha radiación pasa a través de la materia, puede hacer que se cargue eléctricamente o que genere iones. Según Stellman & McCann (1998) y Niello (2007), en los tejidos vivos, los iones eléctricos producidos por la radiación pueden afectar los procesos biológicos normales, ya sea produciendo destrucción de tejido o modificando estructuras como el ADN. La radiación puede emitirse mediante partículas u ondas y lo hace en forma electromagnética con parámetros característicos como la longitud de onda, frecuencia y energía.

### **1.6.1. Radiaciones no ionizantes**

Son aquellas que no tienen la energía suficiente como para producir iones al interactuar con los átomos de un material, algunos ejemplos son las microondas, radiofrecuencias, radiaciones ópticas (ultravioleta, visible e infrarrojo), etc. Niello (2007), muchas de las cuales están presentes en nuestro día a día, en equipos, instrumentos de uso común.

Sin embargo, la exposición a radiaciones no ionizantes, aunque no produzca el fenómeno de ionización en la materia viva, si es de preocupación por sus efectos en salud.

### **1.6.2. Radiaciones ionizantes**

Todas aquellas capaz de producir partículas con carga (iones) en la materia, ya sea arrancando electrones o desestabilizando un núcleo de un átomo. Para

producir tal efecto se requiere de gran cantidad de energía. Cuando un átomo se queda con un exceso de carga eléctrica positiva o negativa, se dice que se ha ionizado. Se consideran radiaciones ionizantes los rayos X, los rayos gamma y las de naturaleza corpuscular como las partículas alfa, beta y la emisión de neutrones. Niello (2007)

#### **1.6.2.1. Radiación gamma**

Se trata de ondas electromagnéticas y es el tipo más penetrante de radiación. Al ser ondas electromagnéticas de longitud de onda corta, tienen mayor penetración y se necesitan capas muy gruesas de plomo u hormigón para detenerlas. En la radiación gamma el núcleo no pierde su identidad, sino que se desprende de la energía que le sobra para pasar a otro estado de energía más baja emitiendo los rayos gamma, o sea fotones muy energéticos. La emisión gamma acompaña a las radiaciones alfa y beta. Por ser tan penetrante y tan energética éste es el tipo más peligroso de radiación.

Cuando un núcleo excitado emite radiación gamma, no varía ni su masa ni su número atómico: sólo pierde una cantidad de energía. La radiación gamma suele acompañar a la beta y a veces a la alfa. Los rayos gamma atraviesan fácilmente la piel y otras sustancias orgánicas, por lo que puede causar graves daños en órganos internos. Niello (2007)

#### **1.6.3. Fuentes radiactivas**

Se denominan fuentes radiactivas a aquellas que tienen material radiactivo que puede emitir radiaciones ionizantes. Niello (2007), estas se clasifican a la vez en dos tipos, fuentes selladas y abiertas, las cuales se describen a continuación.

### **1.6.3.1. Fuentes selladas**

Son aquellas en que el material radiactivo se encuentra confinado en una capsula hermética que impide toda fuga hacia el exterior pero que permite el paso de radiación para el uso a que esté destinado.

### **1.6.3.2. Fuentes no selladas o abiertas**

Corresponde a cualquier material radiactivo en forma sólida o gaseosa tal que pueda pasar fácilmente al medioambiente.

## **1.7. Aplicaciones de la radiactividad**

Las propiedades de los elementos radiactivos sirven para una amplia serie de aplicaciones, donde se emplean como herramienta para hacer estudios en investigación científica además de tener aplicaciones técnicas muy importantes en los ámbitos de la industria, medicina e investigación. Niello (2007)

### **1.7.1. Usos industriales**

En la industria, las radiaciones ionizantes pueden ser útiles para la producción de energía, para la esterilización de alimentos, para conocer la composición interna de diversos materiales y para detectar errores de fabricación y ensamblaje, mediciones de nivel y densidad. Niello (2007)

Con los medidores se puede conocer la densidad de los materiales, y si ésta es constante medirá el espesor de los mismos, hay algunos que miden la humedad en la producción de papel, los medidores de carreteras que determinan las características de las superficies asfaltadas y los medidores de porosidad que

determinan el contenido de agua o hidrocarburos de las rocas del subsuelo, con los medidores de nivel se puede controlar el contenido mínimo y máximo de envases en la industria embotelladora. Stellman & McCann (1998)

## **1.8. Magnitudes y unidades**

Se presentan a continuación algunas definiciones de algunos conceptos y términos de aplicación en protección radiológica.

### **1.8.1. Conceptos base**

Estas definiciones corresponden a las publicadas por International Commission on Radiation Units and Measurements (2014) y Niello (2007). Recomiendo recurrir a las publicaciones en la bibliografía de esta investigación para ampliar los conceptos y definiciones aquí introducidas.

#### **1.8.1.1. Actividad**

Es el número de transformaciones nucleares espontáneas que tiene lugar en un intervalo de tiempo, en una determinada cantidad de un radionucleido específico. La unidad para cuantificar la misma recibe el nombre de Becquerel, la cual equivale a una desintegración por segundo, aunque la misma suele expresarse en Curies, utilizando la conversión de  $1\text{Ci} = 3.7 \cdot 10^{10} \text{Bq}$ . Stellman & McCann (1998)

#### **1.8.1.2. Exposición**

Caracteriza el poder ionizante en aire de fotones X o gamma. Por definición se dice que es la carga total de los iones de un solo signo producidos en el aire,

cuando todos los electrones liberados por los fotones en un elemento de volumen de aire son completamente absorbidos en este medio. Stellman & McCann (1998)

### **1.8.1.3. Tasa de exposición**

Corresponde a la variación temporal de la exposición en un punto, la medida de la exposición se realiza con las cámaras de ionización, donde se mide la carga generada en un volumen de gas, debido a la ionización generada por la radiación.

## **1.9. Magnitudes dosimétricas**

Entre las magnitudes dosimétricas encontradas en la bibliografía consultada se puede encontrar:

### **1.9.1. Dosis absorbida**

Energía medida absorbida por unidad de masa en un punto. Refleja la cantidad de energía absorbida dada una exposición a las radiaciones ionizantes, por unidad de masa. Ésta depende, únicamente, de la cantidad de energía absorbida por la materia en cuestión y no del tipo de radiación, ni de la naturaleza de ésta, por lo que está definida para todo tipo de radiación y medio absorbente. La unidad en el Sistema Internacional de Unidades es el Gray (Gy). Stellman & McCann (1998)

### **1.9.2. Dosis equivalente**

Se define como el producto punto de la dosis absorbida media en el órgano y un factor de ponderación de la radiación. Se denota con la letra H y se define para un órgano o tejido determinado. Stellman & McCann (1998)

### **1.9.3. Dosis efectiva**

Esta magnitud sirve para comparar el riesgo total por una irradiación no uniforme del cuerpo con el riesgo producido por una irradiación uniforme. Los distintos órganos y tejidos poseen diferente radio sensibilidad para la inducción de efectos cancerígenos, es decir, la igualdad de dosis y micro distribución de energía, la probabilidad de inducción de un fenómeno perjudicial es distinto, según el tejido que se considere. Por esta razón, la dosis efectiva, se define como la sumatoria de las dosis recibidas por ciertos órganos, multiplicadas por sus correspondientes factores de ponderación. Stellman & McCann (1998)

## **1.10. Efectos biológicos de las radiaciones ionizantes**

Como se ha mencionado anteriormente, el hombre ha estado expuesto a radiaciones ionizantes durante toda su historia; sin embargo, en la edad moderna, además de la radiación natural que puede considerarse prácticamente constante en una zona determinada, están presentes otras fuentes de exposición. Niello (2007)

Los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes corresponden al paso de las radiaciones por el material biológico. Estas pueden producir alteraciones de la estructura o del a función de las células que pueden llegar a ocasionar la muerte de estas. Stellman & McCann (1998)

Los efectos biológicos de la radiación sobre las células vivas pueden dar lugar a tres resultados: heridas o células dañadas que se reparan, células que mueren o células que se reparan a sí mismas incorrectamente y dan lugar a un cambio biofísico.

Cuando las células han sido expuestas a bajos niveles de radiación, los efectos biológicos son tan pequeños que no pueden ser detectados. El cuerpo humano tiene mecanismos de reparación contra el daño inducido por radiación, así como por los carcinógenos químicos; sin embargo, en altas dosis se presentan efectos inmediatos y claros cuya latencia puede ser de varios años.

#### **1.10.1. Mecanismos de acción de las radiaciones sobre tejidos biológicos**

Las radiaciones ionizantes tienen efectos sobre los tejidos biológicos a través de su acción sobre las células. La radiación puede alcanzar las células por irradiación externa o interna. Stellman & McCann (1998)

##### **1.10.1.1. Irradiación externa**

Hay riesgo de irradiación externa cuando la persona sólo está expuesta mientras la fuente de radiación está activa y no puede existir contacto directo con un material radiactivo. Es el caso de los generadores de rayos X, los aceleradores de partículas y la utilización o manipulación de fuentes selladas. Son en general radiaciones de alta energía que pueden traspasar materiales y tejidos vivos.

### **1.10.1.2. Contaminación radiactiva**

Se produce cuando hay contacto con la sustancia radiactiva y ésta puede penetrar en el organismo por cualquier vía (respiratoria, dérmica, digestiva o parenteral). Se habla de riesgo por contaminación radiactiva si existe la posibilidad de incorporar material radiactivo al cuerpo. Esta situación es mucho más grave que la simple irradiación, ya que la persona sigue estando expuesta a la radiación hasta que se eliminen los radionucleidos por metabolismo o decaiga la actividad radiactiva de los mismos. Stellman & McCann (1998)

### **1.10.2. Clasificación de los efectos biológicos**

Se pueden clasificar los efectos biológicos según sean dependientes de una dosis por sobre un nivel umbral o bien son probabilísticos. Stellman & McCann (1998)

#### **1.10.2.1. Efectos determinísticos**

Se denominan efectos determinísticos aquellos que tienen relación directa con la dosis y aparecen después de una dosis umbral (valor mínimo).

La tabla I, que se presenta a continuación, muestra algunos rangos de dosis radiactivas en rem, con su equivalente en sievert, y a la par se muestran algunos ejemplos del efecto que se sabe que puede provocar la exposición a corto plazo a esa dosis de radiación.

Tabla I. **Efectos determinísticos**

<b>Dosis instantánea</b>		<b>Efectos a corto plazo</b>
<b>rem</b>	<b>sievert</b>	
1 - 25	0,01 - 0,25	Aberraciones cromosómicas en leucocitos periféricos a partir de 1 rem. Malformaciones en el feto en caso de embarazadas.
25 - 50	0,25 - 0,50	Depresión en el recuento de espermatozoides.
50 - 100	0,50 - 1	Anorexia, náuseas y vómitos. Caída drástica de los linfocitos. Supervivencia posible.
100 - 200	1 - 2	Náuseas, fatiga y vómitos. Eritemas cutáneos en zonas locales. 5-10% de mortalidad.
200 - 300	2 - 3	Náuseas y vómitos durante el primer día. Malestar general, dolor de garganta, palidez, diarrea. Más de un 10% de mortalidad.
300 - 600	3 - 6	Náuseas, vómitos y diarreas en las primeras horas. Bloqueo medular que puede ser reversible. 50% de mortalidad en un plazo de 30 días
Más de 600	Más de 6	100% de mortalidad antes de 15 días

Fuente: Lameiro López (2013)

### 1.10.2.2. **Efectos estocásticos**

Son aquellos que aparecen aleatoriamente, están relacionados con la probabilidad de ocurrencia de efectos a bajas dosis. Se asume que no existe dosis umbral; sin embargo, la probabilidad aumenta con la dosis. Stellman & McCann (1998)



## 2. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Durante el proceso de la investigación, se realizó un bosquejo de documentos para ampliar el conocimiento sobre el tema y crear un criterio legal de los posibles protocolos y normas utilizadas por las industrias embotelladoras. Se necesita saber cuáles requisitos son necesarios para operar con maquinaria que pueda tener alguna fuente radiactiva, las medidas de precaución que son necesarias para la seguridad de los empleados y limitar la práctica. Se han consultado varios textos nacionales e internacionales.

Una vez obtenidos los resultados de las encuestas realizadas a los empleados de las diferentes fábricas embotelladoras, se procede a la tabulación de las respuestas de las encuestas y para facilitar la comprensión de los resultados se presentan dos tablas. La primera tabla muestra con porcentajes los resultados obtenidos de las encuestas; mientras que la segunda tabla muestra de manera gráfica estos resultados utilizando 3 barras, una para cada respuesta de la pregunta.

Además, para verificar y validar que las respuestas de las encuestas sean correctas y que en las diferentes empresas tengan conocimientos básicos del tema de protección radiológica, se realizaron trabajos de campo en las cuales se buscó evaluar cuál era la condición de las fábricas en materia de protección radiológica, se revisaron puntos como el estado de las instalaciones, que la señalización de los medidores de nivel que operan con fuentes radiactivas se encuentre en buen estado, que sea visible y que resalte en el área para que cualquier trabajador o visitante lo pueda observar, además de comprobar si el personal técnico tiene conocimiento del tema y determinar si reciben

constantemente capacitaciones de seguridad radiológica y mantenimiento para los diferentes equipos, entre otras cosas.

Los resultados de las encuestas y el trabajo de campo se presentan a continuación.

**Tabla II. Resultados de la encuesta**

PREGUNTA	% PERSONAS QUE CONTESTARON SI	% PERSONAS QUE CONTESTARON NO	% PERSONAS QUE CONTESTARON N/A
Pruebas de fuga a fuentes radioactivas	100%	0%	0%
Registro de mediciones mensual a fuentes radioactivas	91%	9%	0%
Existencia de medidores de radiación	100%	0%	0%
Certificado de calibración de medidor de radiación	73%	18%	9%
Plan de emergencia	100%	0%	0%
Delimitación de zonas	100%	0%	0%
Licencia de operación	100%	0%	0%
Licencia EPR	91%	9%	0%
Licencia POE	82%	9%	9%
Vestimenta plomada	9%	73%	18%
Gafas con vidrio plomado	0%	82%	18%
Señalización de áreas	100%	0%	0%
Inventario fuentes radioactivas	100%	0%	0%
Planos de ubicación de fuentes radioactivas	82%	18%	0%
Dosimetría personal	27%	45%	27%
Programa de capacitación mensual	55%	45%	0%
Cabina de hormigón para protección del operador	0%	73%	27%
Check list de seguridad para personal de mantenimiento	64%	27%	9%
Indumentaria plomada para visitantes a planta	0%	73%	27%
Determinación de tiempo máximo de visita para público	0%	64%	36%
Descripción de funciones y responsabilidades en materia de protección radiológica	100%	0%	0%
Identificación de riesgos radiológicos	73%	9%	18%
Tablas de límites de dosis permitidas	73%	9%	18%
Manual de operación y manejo de maquinaria	64%	18%	18%
Gestión y control de material radiactivo	64%	18%	18%
Línea de autoridad	91%	9%	0%
Servicio médico para visitantes	9%	73%	18%
Plan de mantenimiento	91%	9%	0%
Mantenimiento basado en RCM	45%	36%	18%
Verificación de calidad del mantenimiento	91%	0%	9%
Gestión de inventario de repuestos para el equipo	64%	36%	0%
Constante control y vigilancia médica	36%	45%	18%
Plan para minimización de errores y accidentes	73%	18%	9%
Dosimetría clínica	27%	55%	18%
Control y asistencia a visitantes	36%	45%	18%
Equipo de protección para visitantes	9%	73%	18%
Control de ingreso y salida de personas y materiales	9%	64%	27%
Niveles de referencia de radiación para cada máquina	27%	55%	18%

Fuente: elaboración propia.

Paralelo a las encuestas se realizó un trabajo de campo, para ver cuál es el estado de las instalaciones en la fábrica embotelladora. Para esto se visitaron dos fábricas, de las cuales se pudo determinar:

Fábrica embotelladora 1: la fábrica embotelladora 1, tiene en sus instalaciones 4 medidores de nivel, esta industria cumple de manera excelente, con varios lineamientos establecidos por la OIEA y por el Ministerio de Energía y Minas, para garantizar la seguridad radiológica para sus empleados, entre estos se puede mencionar: tiene señalización en todos los medidores de nivel, tanto en el piso como en el propio medidor de nivel con carteles y símbolos de peligro, dicha señalización resalta bastante con los colores y su visualización es fácil, lleva un control de los niveles de radiación a los que están expuestos sus trabajadores, lleva un control anual de posibles fugas en las fuentes, lleva un mantenimiento riguroso y calibración constante de los medidores de nivel y los instrumentos para medir radiación, lleva un registro claro de los visitantes que llegan a la planta, las horas que pasan en las instalaciones, las zonas que pueden visitar y pone un guía para que pueda orientar a los visitantes en las instalaciones de la planta, cuentan con un plan de emergencia y un manual de seguridad, además tiene una jerarquía para llevar exitosamente el plan de seguridad, el equipo de protección que tienen los trabajadores; tienen sus certificados de los fabricantes y sus respectivas licencias de operación, entre otros.

Fábrica embotelladora 2: la fábrica embotelladora 2 en sus instalaciones cuenta con 3 medidores de nivel que funcionan con fuentes radiactivas, dicha industria cumple bien los lineamientos indicados por la OIEA y con los establecidos por el ente regulador de Guatemala, para garantizar la seguridad radiológica, entre los que se puede mencionar: la planta cuenta con señalización en todas las áreas donde se encuentran los medidores de nivel, dicha señalización cuenta con colores que son llamativos y se encuentra lugares

visibles para los trabajadores, lleva control de las horas que sus trabajadores están expuestos a la radiación de sus medidores de nivel, se dan capacitaciones al personal para tener conocimiento del cuidado que tienen que tener con sus medidores de nivel; se realizan mantenimientos preventivos y correctivos en la maquina; además cada cierto tiempo se hacen pruebas de fuga; cuentan con un plan emergencia y un manual de seguridad, cuenta con zonas delimitadas, los trabajadores cuentan con equipo especial, la industria tiene algunos certificados que fueron emitidos por el fabricante y también cuentan con algunas licencias de operación.

En la tabla III se muestra un listado de las fuentes radiactivas que se encontraron durante el trabajo de campo en las fábricas embotelladoras, esta tabla contiene el nombre de la fuente, el isotopo que utilizan, la actividad en GBq de la fuente y el uso que se le da en las instalaciones de la fábrica embotelladora.

Tabla III. **Fuentes radiactivas**

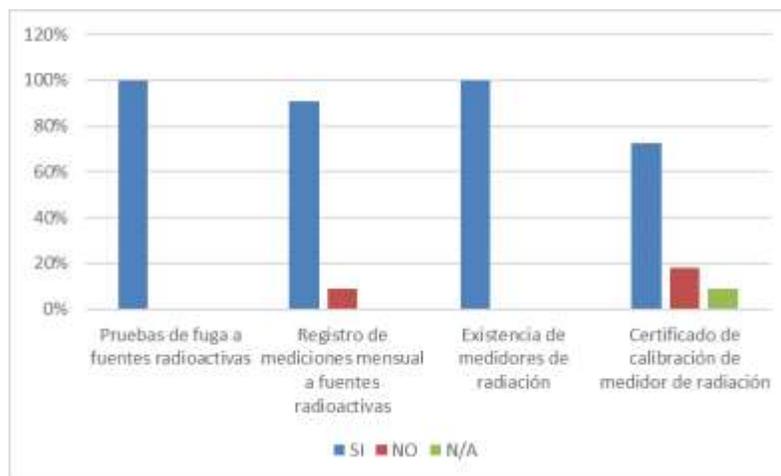
Fuente	Isotopo	Actividad	Uso
KRx-xxx-3	Am-241	1.67 GBq	Medidor de nivel
K4-xxx-1	Am-241	1.67 GBq	Medidor de nivel
CHKx-xx-x	Am-241	3.6 GBq	Medidor de nivel
INNx-xx-x	Am-241	1.67 GBq	Medidor de nivel

Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar en los resultados de las encuestas, mostrados en las gráficas, las cuales están agrupadas según algunos factores en los que coinciden cada una de las preguntas, la mayoría de los trabajadores tienen conocimiento sobre el tema de protección radiológica para la industria embotelladora, los trabajadores son conscientes de los requisitos que hay que cumplir para garantizar la seguridad y cumplir con los lineamientos establecidos por los diferentes entes reguladores.

Según los resultados de las encuestas, el 100 % de los trabajadores que trabajan con medidores de nivel y que contestaron la encuesta, tienen conocimiento de las diferentes pruebas de fuga realizadas a las máquinas y como llenar los diferentes registros mensuales de las fuentes radiactivas, además de la existencia de los medidores de radiación y la constante calibración a estos medidores y tienen conocimiento que dichos equipos poseen su respectivo certificado de calibración que es realizada por un ente autorizado.

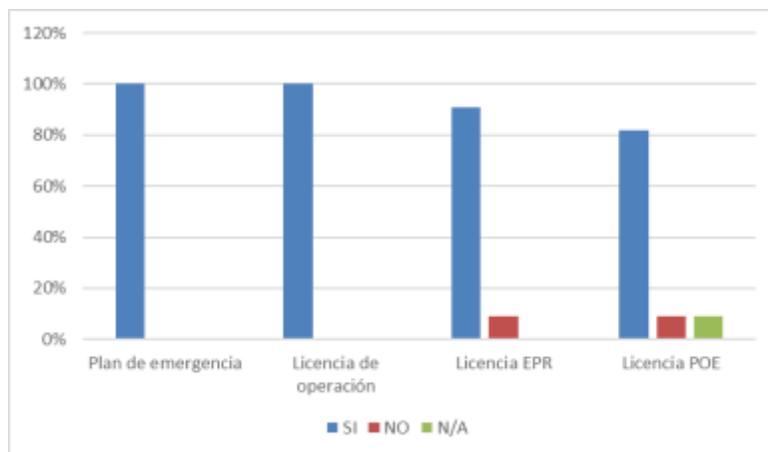
Figura 8. **Pruebas de fuga, registro de mediciones, existencia de medidores y certificados de calibración**



Fuente: elaboración propia.

El 100 % del personal encuestado está completamente enterado de la importancia de un plan de emergencias radiológicas y saben cómo cumplirlo en caso de que llegue a presentarse una emergencia, se sabe de la existencia de las diferentes licencias para la operación con fuentes radiológicas y se posee las mismas, los técnicos y personal poseen licencias POE, el encargado del área posee la respectiva licencia EPR y sobre todo se cuenta con una licencia de operación para la fábrica.

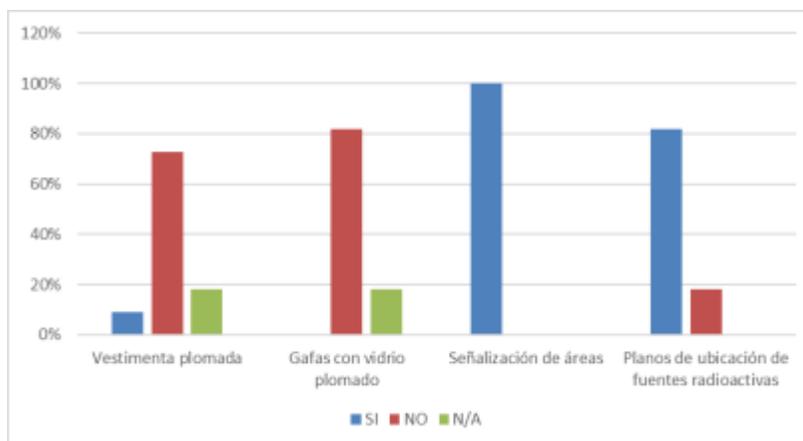
Figura 9. **Plan de emergencia y licencias de operación**



Fuente: elaboración propia.

El 82 % del personal encuestado contestó que, sí conocía los planos de ubicación de las fuentes radiactivas, el 100 % del personal conocen la respectiva señalización de estas; además la mayor parte del personal encuestado contestó tener conocimiento de las medidas de seguridad y vestimenta adecuada para operar cerca de una fuente radiactiva de manera segura, pero que no es necesario vestir esta ropa cuando se trabaja con fuentes radiactivas de baja actividad.

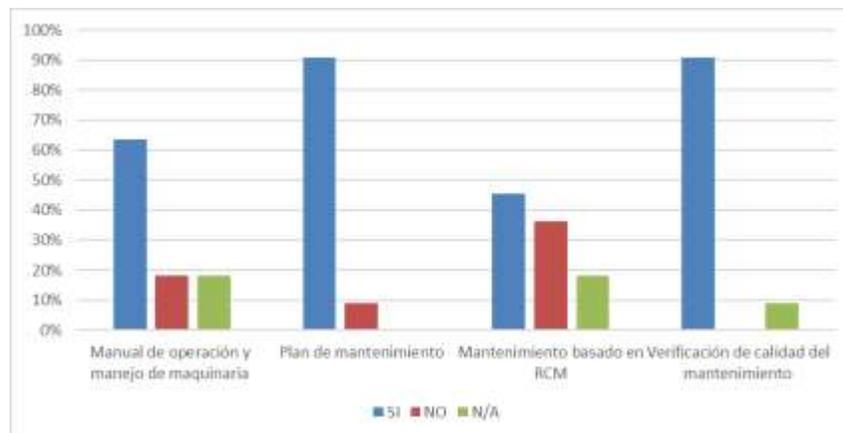
Figura 10. **Vestimenta plomada, gafas de vidrio, señalización y planos**



Fuente: elaboración propia.

El 91 % del personal contestó que sí tiene el conocimiento de las diferentes rutinas de mantenimiento específicas para una máquina que opera con una fuente de radiación; y el 45 % del mismo personal contestó que sí tiene el conocimiento para realizar mantenimientos basados en RCM, el 91 % de las personas encuestadas sabe cómo garantizar que el mantenimiento es seguro y de calidad; además de que el 64 % de las personas contestaron que sí saben cómo hacer uso de los diferentes manuales de operación y están tienen amplios conocimientos sobre el manejo de las máquinas.

Figura 11. **Manual de operación, plan de mantenimiento, mantenimiento RCM y verificación de calidad del mantenimiento**

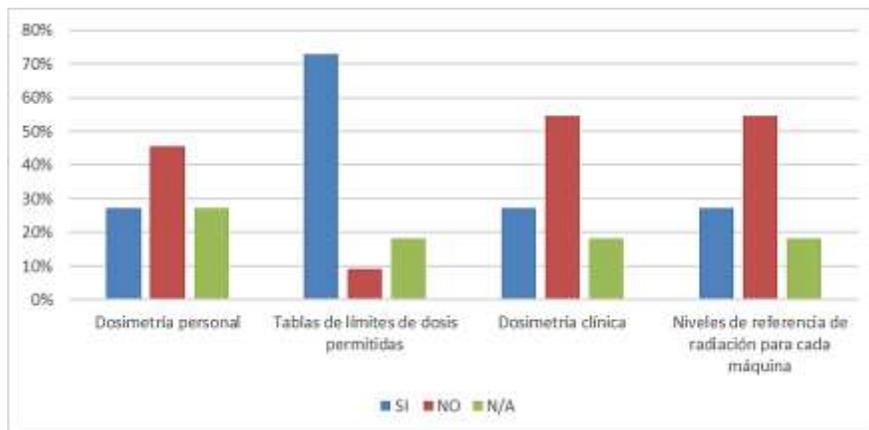


Fuente: elaboración propia.

Se debe tener en cuenta la importancia de la dosimetría para cada uno de los empleados que trabajan cerca de una fuente radiológica, el 45 % de las personas contestó en la encuesta que no es necesaria la contratación de un servicio de dosimetría clínica, debido a que el tipo de práctica que, dada la actividad, no amerita la contratación de este servicio, y el 55 % del personal contestó que tampoco era necesaria la dosimetría clínica. El 73 % del personal encuestado contestó que sí es necesaria la implementación de tablas de límites

de dosis permitidas en las industrias, y el 55 % contestó que no es necesario tener un nivel de referencia para cada máquina.

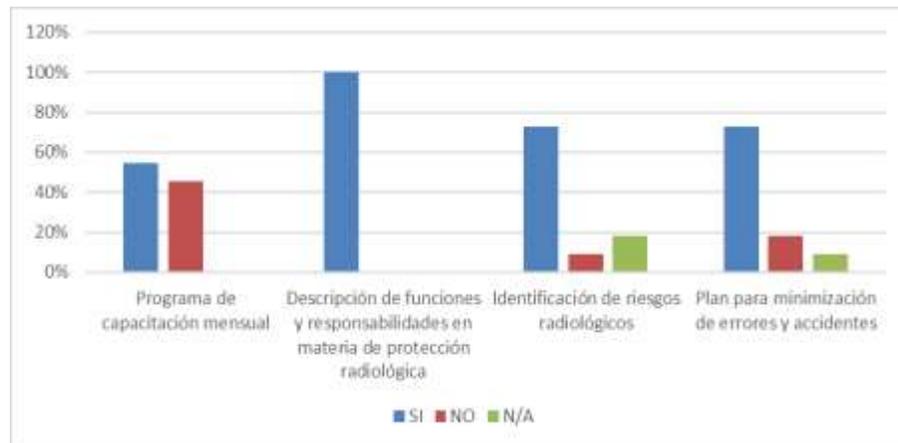
Figura 12. **Dosimetría personal, clínica, tablas de límites de dosis y niveles de referencia**



Fuente: elaboración propia.

El 55 % de las personas que contestaron la encuesta están de acuerdo que es importante recibir programas de capacitación mensual sobre el tema de protección radiológica; el 73 % de las personas encuestadas contestaron que es necesario que se sepan identificar todos los riesgos radiológicos y que se tenga un plan para la minimización de errores y accidentes radiológicos; el 100 % de las personas encuestadas contestaron que conocen las diferentes funciones y responsabilidades del personal involucrados en la protección radiológica de la fábrica.

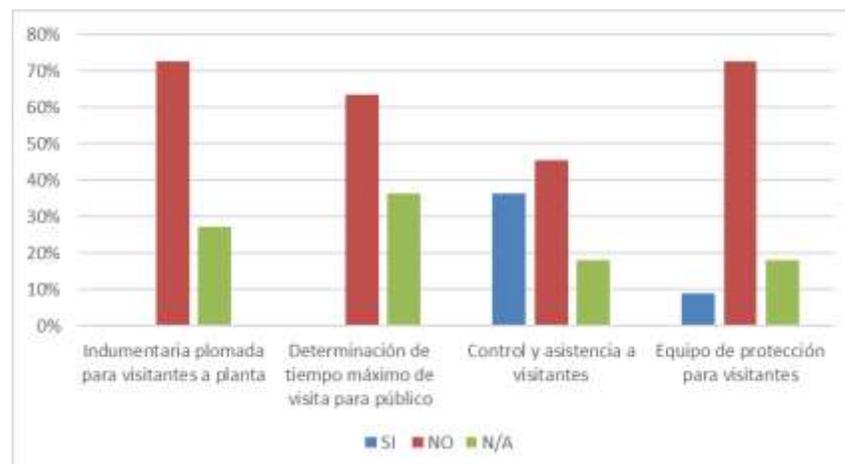
Figura 13. **Programas de capacitación, funciones y responsabilidades, riesgos radiológicos y plan de minimización de errores y accidentes**



Fuente: elaboración propia.

Además, dado el sistema de seguridad y el control de ingreso de personal visitante que se tiene en las diferentes fábricas embotelladoras, el 73 % del personal contestó que no es necesario dar indumentaria plomada a los visitantes o cualquier otro equipo de protección radiológica.

Figura 14. **Indumentaria plomada, determinación de tiempos máximos, control y equipo de protección para visitantes**



Fuente: elaboración propia.

El 64 % del personal encuestado contestó que no es necesario establecer un tiempo máximo para las visitas y un 45 % contestó que no es necesario que los visitantes tengan control y asistencia en las instalaciones de la fábrica.

## **2.1. Propuesta: Plan de protección radiológica**

Para cumplir con los lineamientos mínimos y garantizar la seguridad radiológica en una empresa embotelladora que utilice medidores industriales de nivel, se propone realizar un archivo de seguridad que contenga la información necesaria para llevar control de las fuentes y en caso sea necesario, saber cómo reaccionar ante una emergencia.

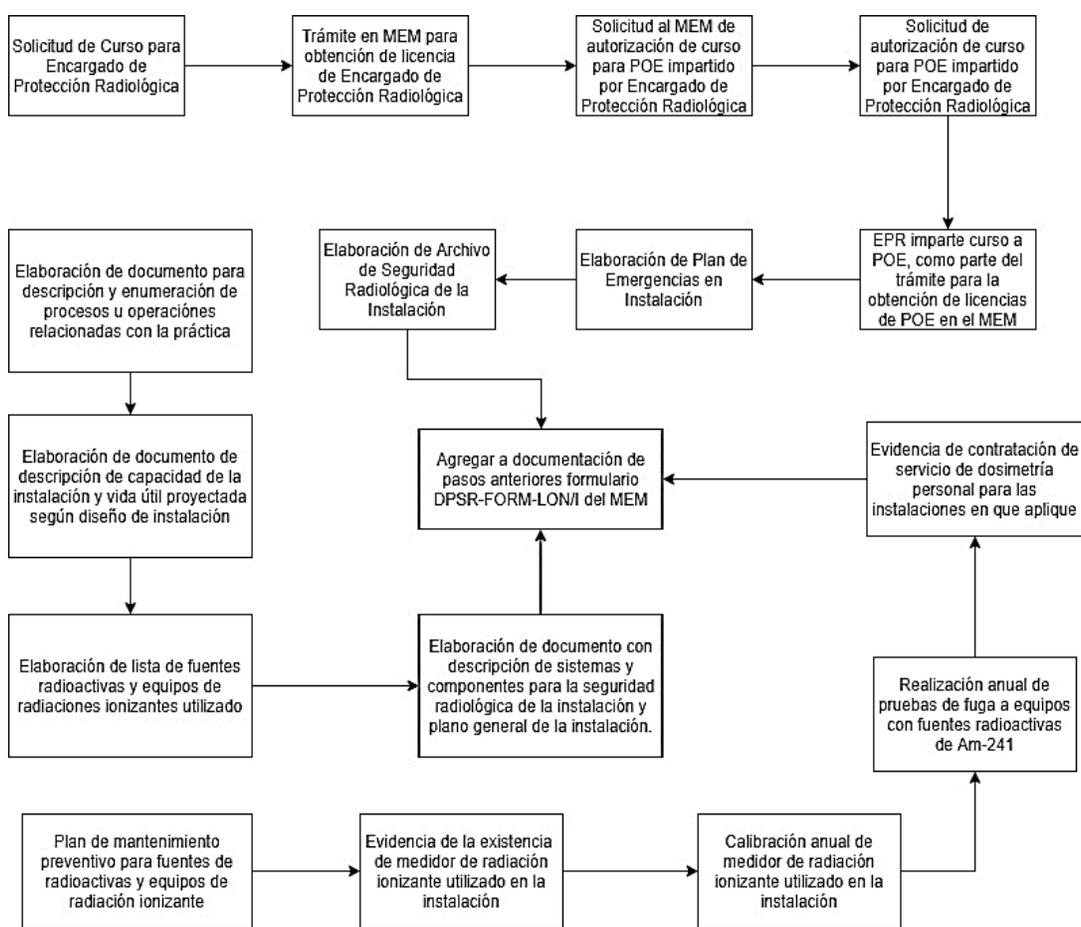
Para realizar el archivo de seguridad, se revisaron los documentos publicados por el Ministerio de Energía y Minas, los cuales contienen elementos de Seguridad Radiológica que las instalaciones industriales que poseen equipos generadores de radiación debieran de tener, posteriormente se ha realizado un diagrama de flujo para la elaboración de un plan de protección radiológica que incluya un archivo de seguridad y cumpla con los lineamientos nacionales e internacionales en materia de protección radiológica .

### **2.1.1. Diagrama de flujo de un plan de protección radiológica**

A continuación, se muestra un diagrama de flujo en el que se muestra cuál deben de ser los pasos para la obtención de una licencia de operación para instalaciones radioactivas industriales. Se muestra a la vez todos aquellos procedimientos, documentos o procesos, los cuales son requisito para la obtención de esta. Como se puede observar varios procesos son los que convergen en el trámite ante el Ministerio de Energía y Minas para su obtención, tales como un plan de mantenimiento, la justificación de la práctica, la existencia

en la instalación de equipo de monitoreo y control adecuado, planes de capacitación para el personal encargado y ocupacionalmente expuesto, la calibración de los equipos y el monitoreo periódico de las fuentes radiactivas.

Figura 15. **Diagrama de flujo básico para la elaboración de plan de protección radiológica**



Fuente: elaboración propia.

### **2.1.2. Archivo de seguridad**

Para cumplir con los lineamientos impuestos por los diferentes entes reguladores que garantizan la seguridad y protección radiológica en las instalaciones de una fábrica embotelladora, es necesario que cada fábrica que posee equipos que trabajen con fuentes radiactivas posea un archivo de seguridad radiológica, para realizar este archivo de seguridad, se revisó una guía de elaboración publicada en la página del Ministerio de Energía y Minas de Guatemala. Los puntos para elaborar un archivo de seguridad son detallados a continuación:

- Descripción de la instalación
  - Descripción y enumeración de los procesos u operaciones fundamentales que se llevan a cabo en la instalación de acuerdo con la práctica, áreas de trabajo, zonas supervisadas y controladas.
  - Descripción de la capacidad de la instalación y vida útil proyectada, según el diseño de la instalación.
  - Realizar una lista con los datos de las fuentes radiactivas y equipos generadores de radiaciones ionizantes y demás equipo asociado dentro de instalación. Se debe incluir los datos relevantes de los equipos, siendo estos: marca/fabricante, modelo, serie, equipo móvil o fijo, etc.
  - Descripción de los elementos, sistemas y componentes importantes para la seguridad radiológica cuyo fallo o deterioro pueden conducir a la ocurrencia de sucesos iniciadores, así como los destinados a prevenir sucesos o mitigar sus consecuencias.
  - Plano general de la instalación con distribución de áreas, ubicación de equipos, zona controlada, zona supervisada y colindancias, a escala y en formato en función del tamaño de la instalación.

- Memoria analítica (diseño y cálculo de blindaje).
  
- Programa de protección radiológica
  - Calibración de los haces de radiación o de las fuentes radiactivas, que indique los protocolos empleados, pruebas realizadas, frecuencia de estas, entre otros.
  - Realización de pruebas de fuga a los equipos con fuentes radiactivas.
  - Informes de control de calidad del haz de radiación e imagen de los equipos generadores nuevos y usados, puestos en funcionamiento en el servicio.
  - Mantenimiento preventivo y correctivo indicando los datos de la empresa o entidad que presta el servicio y frecuencia del servicio.
  - Evidencia de la existencia de detectores adecuados para la práctica, y del certificado de calibración anual de cada uno de ellos.
  - Evidencia de contratación del servicio de dosimetría personal, incluyendo código asignado y el tipo de dosímetro a utilizar (TLD, Anillo, OSL, otros), de los trabajadores ocupacionalmente expuestos de la instalación.
  - Descripción de la estructura organizacional de la entidad relativa a la protección y seguridad radiológica, es decir, Titular de Licencia, Encargado de Protección Radiológica (EPR), Encargado de Seguridad Física (ESF), Operadores, entre otros.
  - Funciones y responsabilidades de cada unidad organizativa y de cada uno de los cargos con responsabilidades directas con la protección y seguridad radiológica.
  - Requisitos para la selección y cualificación de cada uno de los cargos con responsabilidades directas en relación con la protección y seguridad radiológica.

- Identificación de las actividades y puestos de trabajo que requieren vigilancia radiológica individual.
  
- Procedimientos de la instalación
  - Operación de las fuentes radiactivas, equipos generadores y/o equipos asociados:
    - Conforme al tipo de práctica, incluir parámetros de operación aplicables: kV, mA, mAs, segundos, número de cortes, tipo de radiación, voltaje de aceleración, unidades monitor, kerma en aire, entre otros.
  
  - Administrativos:
    - De la vigilancia radiológica personal o individual.
    - De la vigilancia radiológica ambiental de los puestos y zonas de trabajo, incluyendo magnitudes y unidades a medir, lugares, frecuencia, métodos, niveles de referencia y medidas a tomar en caso sean sobrepasados.
    - Del programa de capacitación inicial, continua y periódica del personal de la instalación.
    - De los materiales que se utilizan para la realización de las operaciones, según el tipo de práctica.
  
  - Procedimientos de protección y seguridad radiológica:
    - De los implementos de protección radiológica, indicando cantidad, tipo, uso correcto y mantenimiento de estos que son utilizados para

los trabajadores ocupacionalmente expuestos (TOE) y público, especificando el puesto de trabajo.

- De los tipos de rótulos, contenido y ubicación.
  - De restricción a la exposición del público, control de visitantes y las instrucciones para el acceso a las zonas controladas y supervisadas.
- Procedimientos de mantenimiento y de control de calidad:
    - Acciones preventivas y correctivas para mantener los equipos en óptimas condiciones.
    - Protocolos empleados dentro de la instalación enfocados a asegurar dosis bajas que permitan imágenes sin pérdida de información.
    - Procedimientos de garantía de calidad, incluyendo metodología para análisis de rechazo, criterios, frecuencia y período de muestreo; fallas identificadas y medidas correctivas a tomar; verificación del control de calidad de los equipos; verificación de la calibración de los equipos detectores y otros procesos de garantía de calidad que se realicen en la instalación para lograr la certeza adecuada y efectividad global de los requisitos de protección y seguridad radiológica.
  - Evaluación de seguridad de la instalación
    - Identificación de los sucesos iniciadores de accidentes.
    - Estimación de la frecuencia de ocurrencia de dichos sucesos.
    - Análisis de la magnitud de las consecuencias asociadas a cada suceso iniciador.
    - Análisis de las defensas en profundidad.
    - Evaluación cuantitativa o cualitativa del riesgo asociado a cada secuencia accidental.

- Acciones para disminución del riesgo en el caso de secuencias accidentales de riesgo inaceptable.
- Estimación de las dosis esperadas en condiciones normales de operación tanto para los trabajadores ocupacionalmente expuestos como para el público y su comparación con los valores de restricción de dosis para la Práctica.
- Estimación de las dosis potenciales para casos de situaciones de emergencia, accidentes o sucesos radiológicos, tanto para los trabajadores ocupacionalmente expuestos como para el público.

Los hallazgos anteriores son aquellos, los cuales se considera deben tomarse en cuenta para un medidor de nivel que utilice fuente radiactiva de Americio 241 de baja actividad, como parte del archivo de seguridad radiológica para cualquier instalación que trabaje con estos tipos de fuentes radiactivas.

### 3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Para cumplir con los lineamientos requeridos por los entes nacionales e internacionales y garantizar la protección radiológica en las instalaciones de una fábrica embotelladora que posee equipos que trabajen con fuentes radiactivas, se debe realizar un archivo de seguridad.

Entre los textos nacionales que fueron consultados se menciona la tesis: “Dosimetría de la energía ionizante en médicos y técnicos del departamento de radiología”, Coto Pacheco & Ceballos García (2015), la cual fue usada para saber cuáles son las dosis permitidas para no afectar la salud de los operarios, pacientes y público en el ámbito médico, además en dicha tesis se determina cuáles son los efectos que puede causar la exposición prolongada de personas a la radiación.

Se indagó en documentos los requisitos que, según el ente regulador nacional, debe cumplir una industria para garantizar la seguridad en sus instalaciones, para ello se consultó la propuesta del archivo de seguridad radiológica para una instalación, publicado por el Ministerio de Energía y Minas (MEM) de Guatemala en su página web. Ministerio de Energía y Minas de Guatemala (2018)

Entre los documentos internacionales, se consultaron varios manuales de protección radiológica, entre los cuales destaca el “Manual General de Protección Radiológica”, Hospital Universitario Virgen de las Nieves (2011), el cual fue usado para conocer que parámetros y medidas de seguridad deben cumplir las empresas o entidades que usen algún tipo de fuente, para asegurar la protección

de los trabajadores; además esta bibliografía fue utilizada para tomar puntos a preguntar en la encuesta realizada en la industria embotelladora.

Para tener otro punto de vista del problema, se buscaron los lineamientos requeridos por el ente regulador internacional, esto llevó a la revisión de un documento emitido por el Organismo Internacional de Energía Atómica en el manual llamado “Protección radiológica y seguridad de las fuentes de radiación: normas básicas internacionales de seguridad”, con esto se logra documentar y llevar un control, según las normas internacionales y lo que se debe hacer en caso de alguna emergencia, a quienes se debe proteger y cuáles son los pasos a seguir para llevar exitosamente un plan de emergencia, control y mantenimiento.

De acuerdo con la entrevista realizada a Alejandro Nader (2009) y los documentos de la ICPR, International Commission on Radiological Protection (1982), se sabe que la radiación ionizante puede traer problemas graves a la salud de las personas; pero al mismo tiempo, si se toman las medidas de seguridad adecuadas y se respetan las dosis, puede ser de gran beneficio y facilitar las tareas diarias de las personas. La radiación ionizante puede ser usada en varios campos laborales, desde la medicina para el tratamiento de enfermedades como el cáncer, hasta la industria en diferentes tipos de equipos entre los cuales se encuentra los medidores de nivel.

El libro “Atmósfera: materia y radiación”, Mediavilla (2005), habla acerca de la composición general de la atmosfera y aclara que la radiación existe en todas partes, hay radiación natural del ambiente, en los diferentes aparatos o sistemas que se usa para nuestro trabajo diario, incluso elementos como el sol emiten una dosis de radiación a nuestro cuerpo.

Para garantizar la seguridad, las diferentes empresas que utilizan radiaciones ionizantes para algún proceso de producción deben de cuidar las dosis de radiación que reciben las personas que puedan estar expuestas. Sin embargo, se habla de la importancia de ser responsables con el uso de las fuentes radiactivas, ya que el clima y la naturaleza también se ven afectadas por las mismas.

Para tener una idea más concreta de que es la radiación y como esta se puede propagar y atravesar diferentes los diferentes medios u obstáculos que se puedan presentar, se ha consultado “El universo de las radiaciones” Niello (2007), el cual habla, entre otras cosas, cómo está constituido el átomo y lo que es una partícula ionizada.

Se explica también que existen dos tipos de radiaciones, las cuales son las radiaciones no ionizantes y las radiaciones ionizantes, entre los diferentes tipos de radiación ionizante menciona: la radiación alfa, beta, gamma, radiación neutrónica, rayos X y que superficies son capaces de atravesar. Hay que hacer especial énfasis en las radiaciones ionizantes, ya que son las de mayor interés, especialmente en el uso de la industria.

Además de los puntos mencionados anteriormente, el libro el universo de las radiaciones, también habla del espectro electromagnético, en el cual se explica el tamaño de la longitud de onda de los diferentes tipos de radiación que existen, como lo son los rayos gamma y los rayos X, la luz ultravioleta, la luz visible y los rayos infrarrojos, llegando así hasta las ondas con mayor longitud de onda como lo son las ondas de radio y las microondas.

Por otra parte, por la “Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo” Stellman & McCann (1998), se sabe que existen radiaciones de fondo, así se le

llama a la radiación natural encontrada en la naturaleza. La radiación de fondo puede ser afectada dependiendo del trabajo o el lugar donde se encuentre una persona, por lo tanto, como ya se ha mencionado anteriormente es imposible que una persona se encuentre totalmente aislada de la radiación. Esta enciclopedia, entre otras cosas, menciona la existencia de fuentes de radiación naturales, como las que se encuentran de comunmente en los elementos de la naturaleza, y de fuentes de radiación artificiales que son las que necesitan de una acción del hombre para producirse, generalmente se hace usando radioisotopos radiactivos.

Las fuentes que para propositos de la investigación son de interés, son las fuentes artificiales, ya que en la industria una fuente artificial es usado para diferentes tipos de instrumentos y medidores, por ejemplo, son usados especialmente para conocer la densidad de los materiales, medición de carreteras y la medición de nivel del contenido en una botella, para la industria embotelladora.

Consecuentemente, al realizar el trabajo de campo en las dos fábricas embotelladoras de bebidas, se logró comprobar que los empleados de estas fábricas tienen los conocimientos necesarios para trabajar con equipos que contengan fuentes radiactivas selladas de radioisotopo Am-241 de baja actividad. Los tecnicos de las diferentes fábricas tienen pleno conocimiento y capacitacion para dar mantenimiento a estos equipos y los procedimientos a seguir para garantizar la calidad de dicho mantenimiento, ademas estan debidamente capacitados para identificar una emergencia radiologica y cómo deben reaccionar ante la misma, y en en el peor de los casos tienen el conocimiento para seguir plan de emergencias radiológicas y conocen al personal encargado al cual deben notificar de la emergencia.

Todo el personal que opera las diferentes máquinas en las fábricas, tiene el conocimiento de las diferentes zonas controladas en las instalaciones, el personal conoce la señalización que indica riesgo radiológico y las diferentes medidas de seguridad que se deben respetar en las instalaciones para, garantizar la seguridad del personal ocupacionalmente expuesto.

Las fábricas donde se realizó el trabajo de campo tenían completo conocimiento sobre las diferentes licencias que debe tener todo el personal que se vea involucrado en materia de protección radiológica, la licencia de EPR para el encargado del área y la licencia POE para todo el personal ocupacionalmente expuesto y técnicos que dan mantenimiento a los equipos que trabajan con este tipo de fuentes radiactivas.

Finalmente, para cumplir con el objetivo de la investigación y lograr estandarizar las diferentes medidas de seguridad radiológica, plan de protección y rutinas de mantenimiento para un medidor industrial de radioisótopo Am-241 de baja actividad, se realiza un modelo de archivo de seguridad (ver detalle en anexos), con base a los hallazgos de un bosquejo de documentos y usando como guía los lineamientos indicados por la OIEA y el Ministerio de Energía y Minas de Guatemala, para garantizar la seguridad radiológica en las instalaciones de una fábrica. Se propusieron ejemplos de algunos elementos del contenido del archivo de seguridad, el cual cumple con muchos los lineamientos ya establecidos en las fábricas en las que se realizó el trabajo de campo y busca mejorar el nivel de protección radiológica en las mismas. Este archivo de seguridad fue realizado con las normas generales dadas por los diferentes entes reguladores nacionales e internacionales en materia de protección radiológica que debe cumplir cualquier fábrica embotelladora que trabaje con fuentes radiactivas; por lo que este archivo de seguridad puede ser utilizado por otra fábrica que no cuente con un plan de protección o desee mejorar el ya existente.



## CONCLUSIONES

1. Se diseñó un plan de protección radiológica y mantenimiento para empresas embotelladoras que trabajan con medidores de nivel y que utilizan fuentes radiactivas que contienen radioisótopo de Americio-241 de baja actividad, es decir, de hasta 3.6 GBq.
2. Se determinaron los principios que debe cumplir un plan de protección radiológica diseñado para un inspector de nivel que trabaje con una fuente radiactiva de radioisótopo Americio-241, para cumplir con los lineamientos del Ministerio de Energía y Minas de Guatemala, parámetros establecidos por la OIEA y otros entes internacionales.
3. Se estandarizaron los requerimientos para un plan de protección radiológica y mantenimiento de una fuente sellada de baja actividad de radioisótopo Americio-241, tomando como base los lineamientos dados por el ente regulador nacional e internacional.
4. Se estableció el contenido de un plan de protección radiológica y mantenimiento para una fuente sellada de Americio-241, según los lineamientos dados por el Ministerio de Energía y Minas de Guatemala. Se propuso el contenido de un archivo de seguridad radiológica y la documentación relacionada con el mismo.



## RECOMENDACIONES

1. Para el diseño de un plan de protección radiológica y mantenimiento para fuentes radiactivas que utilicen el isótopo Am-241 y que sean consideradas de baja actividad, como por ejemplo, en el listado de la tabla III, se considere elaborar este con la información más actualizada y detallada posible, para facilitar la labor a los usuarios del mismo.
2. Seguir los principios de justificación, optimización y limitación de dosis, en la elaboración de un plan de protección radiológica para equipos que trabajen con fuentes radiactivas que contienen radioisótopos de Americio-241.
3. Para estandarizar los requerimientos que debe cumplir un plan de protección radiológica y mantenimiento de una fuente sellada de radioisótopo Am-241 que sea considerada de baja actividad, se recomienda seguir los lineamientos dados por el ente regulador nacional en materia de protección radiológica.
4. Para la elaboración del archivo de seguridad radiológica se tomen en cuenta las recomendaciones del fabricante del equipo y que el personal de mantenimiento se encuentre debidamente capacitado y con sus licencias POE vigentes, con lo cual se garantiza la seguridad ocupacional del personal.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Asociación Chilena de Seguridad . (21 de septiembre de 2015). Manual del Alumno . *Protección Radiológica*. Santiago, Chile.
2. Chien, S. (4 de marzo de 2014). *losmundosdebrana.com*. Recuperado el 20 de Mayo de 2018, de <https://losmundosdebrana.com/page/32>
3. Comisión Chilena de Energía Nuclear. (1987). Contenido del Manual de Protección Radiológica Operacional para Instalaciones Nucleares o Radiactivas Guía Regulatoria GR-G-15. Santiago de Chile.
4. Comisión Internacional de Protección Radiológica . (1995). *Recomendaciones de la Comisión Internacional de Protección Radiológica #60*. Madrid, España: Editorial Sociedad Española de Protección Radiológica.
5. Comisión Reguladora Nuclear de Los Estados Unidos de América. (2003). *Radiological Assessment for Clearance of Materials from Nuclear Facilities, NUREG-1640*. Washington D.C.: USNRC.
6. Coto Pacheco, B. E., & Ceballos García , M. A. (febrero de 2015). Dosimetría de la energía ionizante en médicos y técnicos del departamento de radiología. *Tesis de Maestría, Maestría de Ciencias Médicas con Especialidad en Radiología e Imágenes Diagnosticas*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.

7. Espósito, M. G., & Zandanel, A. E. (2015). Físicoquímica III: estructura y transformaciones de la materia, intercambios de energía . Buenos Aires, Argentina: Editorial Maipue.
8. FILTEC. (1 de enero de 1998). Manual de Operación. Torrance, California, Estados Unidos de América .
9. García Garrido, S. (2003). *Organización y gestión integral de mantenimiento*. España: Díaz de Santos, S.A.
10. Girón Álvarez, L. F. (agosto de 2017). Implementación del análisis de aceite usado, como herramienta de mantenimiento predictivo aplicado a las máquinas propulsoras de guardacostas GC-653 Azumanche, del comando naval del pacífico. *Tesis de Maestría. Maestría de Ingeniería de Mantenimiento*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
11. Hill, M., Thorne , M., Williams, P., & Leyshon-Jones, P. (1999). Derivation of UK Unconditional Clearance Levels for Solid Radioactively Contaminated Materials, Rep. No. DETR/RAS/98.004. Londres.
12. Hospital Universitario Virgen de las Nieves. (2011). Manual General de Protección Radiológica. España.
13. International Commission on Radiation Units and Measurements, ICRU. (2014). *Prescribing, Recording, and Reporting of Stereotactic Treatments with Small Photon Beam*. United Kingdom: Oxford Press.

14. International Commission on Radiological Protection, ICRP. (1982). *Protection of the Patient in Diagnostic Radiology, Publication No.34.* United Kingdom.
15. International Commission on Radiological Protection, ICRP. (1987). *Protection of the Patient in Nuclear Medicine, Publication No.52.* United Kingdom.
16. International Commission on Radiological Protection, ICRP. (1996). *Radiological Protection and Safety in Medicine. Publication No.73, ISSN 0146-6453.* United Kingdom.
17. International Commission on Radiological Protection, ICRP. (2007). Las Recomendaciones de la Comisión Internacional de Protección Radiológica, Publicación No.103. Reino Unido.
18. Jordán, D. (16 de noviembre de 2013). *danjordan7.wordpress.com.* Recuperado el 20 de mayo de 2018, de <https://danjordan7.wordpress.com/2013/11/16/la-ciencia-es-bacan-entiendanlo/>
19. Lameiro López, M. (4 de abril de 2013). *es.slideshare.net.* Recuperado el 20 de mayo de 2018, de <https://es.slideshare.net/mariall94/radiacion-ionizante-2>
20. Laurus Systems Inc. (s.f.). *laurussystems.com.* Recuperado el 3 de julio de 2018, de [http://www.laurussystems.com/Automess\\_Telelector\\_6112M.htm](http://www.laurussystems.com/Automess_Telelector_6112M.htm)

21. López Romero, D. L. (5 de julio de 2017). *estructuraatomicacienciasnaturales.blogspot.com*. Recuperado el 20 de mayo de 2018, de <http://estructuraatomicacienciasnaturales.blogspot.com/2017/>
22. Mediavilla, M. J. (2005). *Atmósfera: materia y radiación*. España: Equipo Sirius, S.A.
23. Ministerio de Energía y Minas de Guatemala. (11 de mayo de 2018). *Página web del Ministerio de Energía y Minas de Guatemala*. Obtenido de <http://www.mem.gob.gt>
24. Ministerio de Energía y Minas, Guatemala. (1986). Ley para el Control, uso y aplicación de Radioisótopos y Radiaciones Ionizantes. *Decreto Ley 11-86*. Guatemala.
25. Ministerio de Energía y Minas, Guatemala. (2001). Reglamento de Seguridad y Protección Radiológica de la Ley para el control, uso y aplicación de Radioisótopos y Radiaciones Ionizantes. *Acuerdo Gubernativo Número 55-2001*. Guatemala.
26. Nader, A. (2009). Efectos Biológicos de las Radiaciones: Importancia de la Protección Radiológica. Montevideo: Revista Biomédica.
27. Niello, J. F. (2007). *El universo de las radiaciones*. Buenos Aires, Argentina: Eudeba.
28. Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). (1996). Normas Básicas Internacionales de Seguridad para la Protección contra las

Radiaciones Ionizantes y para la seguridad de las fuentes de Radiación. Viena: Colección de Seguridad No.115.

29. Organismo Internacional de Energía Atómica, OIEA. (1997). *Absorbed Dose Determination in Photon and Electron Beams: An International Code of Practice* . Viena: Technical Reports Series No.227.
30. Organismo Internacional de Energía Atómica, OIEA. (1998). *Clearance of Materials Resulting from the Use of Radionuclides in Medicine, Industry and Research*. Vienna: Tecdoc 1000.
31. Organismo Internacional de Energía Atómica, OIEA. (2004). *Derivation of Activity Concentration Levels for Exclusion, Exemption and Clearance*. Viena: Proyecto de Informe.
32. Organismo Internacional de Energía Atómica, OIEA. (2004). *Protección Radiológica Ocupacional/Colección de Normas de Seguridad*. Viena: Guía de Seguridad No. RS-G-1.1.
33. Organismo Internacional de Energía Atómica, OIEA. (2011). *Protección Radiológica y Seguridad de las Fuentes de Radiación: Normas Básicas Internacionales de Seguridad*. Viena: Sección Editorial .
34. Perkin Elmer. (s.f.). *directindustry.es*. Recuperado el 3 de julio de 2018, de <http://www.directindustry.es/prod/perkinelmer/product-14711-1174923.html>
35. Serviam. (s.f.). *serviam.cl*. Recuperado el 3 de julio de 2018, de <http://www.serviam.cl/productos/ensayos-no->

destructivos/deteccion-y-medicion-de-radiaciones/camara-de-  
ionizacion/camara-ri-02

36. Stellman, J., & McCann, M. (1998). *Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo Volumen 2*. España: Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales Subdirección General de Publicaciones.
37. Técnica División Médica Santiago Chile. (s.f.). *tdmltda.cl*. Recuperado el 3 de julio de 2018, de [http://www.tdmltda.cl/index20.php?menu=16&submenu\\_sel=72&tipo=2&e=3&c=72](http://www.tdmltda.cl/index20.php?menu=16&submenu_sel=72&tipo=2&e=3&c=72)
38. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, UNSCEAR . (2006). *Effects of Ionizing Radiation: Report to the General Assembly with Scientific Annexes*. Viena: ISBN 978-92-1-142263-4.
39. Zamorano, E. (2011). *Manual de Protección Radiológica, Revisión 1.3*. España: Publicación Universidad de Valencia.

## ANEXOS

### ANEXO 1: MODELO DE ENCUESTA

Marque las casillas que considere importantes, según su experiencia y conocimiento de la ley, para considerar en la documentación de un plan de protección radiológica, mantenimiento, control y monitoreo, de una fuente de Americio-241 de baja actividad, práctica tipo 3.

Modelo de encuesta

	SI	NO	N/A
Pruebas de fuga a fuentes radioactivas			
Registro de mediciones mensual a fuentes radioactivas			
Existencia de medidores de radiación			
Certificado de calibración de medidor de radiación			
Plan de emergencia			
Delimitación de zonas			
Licencia de operación			
Licencia EPR			
Licencia POE			
Vestimenta plomada			
Gafas con vidrio plomado			
Señalización de áreas			
Inventario fuentes radioactivas			
Planos de ubicación de fuentes radioactivas			
Dosimetría personal			
Programa de capacitación mensual			
Cabina de hormigón para protección del operador			
Check list de seguridad para personal de mantenimiento			
Indumentaria plomada para visitantes a planta			
Determinación de tiempo máximo de visita para público			

Descripción de funciones y responsabilidades en materia de protección radiológica			
Identificación de riesgos radiológicos			
Tablas de límites de dosis permitidas			
Manual de operación y manejo de maquinaria			
Gestión y control de material radiactivo			
Línea de autoridad			
Servicio médico para visitantes			
Plan de mantenimiento			
Mantenimiento basado en RCM			
Verificación de calidad del mantenimiento			
Gestión de inventario de repuestos para el equipo			
Constante control y vigilancia médica			
Plan para minimización de errores y accidentes			
Dosimetría clínica			
Control y asistencia a visitantes			
Equipo de protección para visitantes			
Control de ingreso y salida de personas y materiales			
Niveles de referencia de radiación para cada máquina			

Fuente: elaboración propia.

## ANEXO 2: FORMULARIO DE SOLICITUD DE LICENCIAS DE OPERACIÓN DE INSTALACIONES RADIATIVAS INDUSTRIALES

 <p style="font-size: small; margin-top: 5px;">24 calle 21-21, zona 12, Guatemala, Guatemala. Tel. (+502) 24198383 FAX: (+502) 24198310 www.mem.gob.gt</p>	<p><b>DEPARTAMENTO DE PROTECCIÓN Y SEGURIDAD RADIOLÓGICA</b> DIRECCIÓN GENERAL DE ENERGÍA, MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS</p> <p><b>FORMULARIO DE SOLICITUD DE LICENCIA DE OPERACIÓN DE INSTALACIONES RADIATIVAS INDUSTRIALES</b></p>	<p><b>DPSR- FORM- LON/I</b></p>
<p><b>Señor(a) Director(a):</b> [REDACTED]</p> <p>Atentamente, solicito Licencia de Operación de Instalaciones Radiactivas Industriales, de conformidad con la siguiente información:</p>		
<b>1. DATOS DEL SOLICITANTE (Representante Legal, Mandatario o Propietario)</b>		
1.1. Nombre completo: [REDACTED]		
1.2. Género: <input type="checkbox"/> Femenino   <input type="checkbox"/> Masculino	1.3. Estado civil: <input type="checkbox"/> Soltero(a)   <input type="checkbox"/> Casado(a)	1.4. Edad: [REDACTED]
1.5. NIT: [REDACTED]	1.6. Nacionalidad:	1.7. DPI o pasaporte (extranjero):
1.8. Profesión u oficio: [REDACTED]	1.9. Actúo como: <input type="checkbox"/> Persona individual   <input type="checkbox"/> Persona jurídica   <input type="checkbox"/> Sector público	1.10. Calidad con que actúa: [REDACTED]
1.11. Domicilio: [REDACTED]		
1.12. Lugar para recibir notificaciones y/o citaciones (dentro del perímetro de la Ciudad de Guatemala) [REDACTED]		
1.13. Teléfonos: [REDACTED]	1.14. Correo electrónico: [REDACTED]	
<b>2. DATOS DE LA ENTIDAD</b>		
2.1. Nombre, razón o denominación social (como se indica en la Patente): [REDACTED]		2.2. NIT: [REDACTED]
2.3. Dirección de sede social: [REDACTED]		
2.4. Nombre de la empresa (como se indica en la Patente de Comercio de la empresa): [REDACTED]		
2.5. Dirección de la empresa (como se indica en la Patente de Comercio de la empresa): [REDACTED]		
2.6. Dirección en donde se encuentran los equipos (como se indica en la Patente de la empresa): [REDACTED]		
2.7. Teléfonos: [REDACTED]	2.8. Correo electrónico: [REDACTED]	
<b>3. PRACTICA</b>		
<b>TIPO I</b>	<input type="checkbox"/> IRRADIADORES, EN LO QUE LA FUENTE SALE DE SU BLINDAJE DURANTE LA OPERACION <input type="checkbox"/> RADIOGRAFIA INDUSTRIAL PORTÁTIL <input type="checkbox"/> GAMMAGRAFIA <input type="checkbox"/> RAYOS X	
<b>TIPO II</b>	<input type="checkbox"/> MEDIDORES INDUSTRIALES <input type="checkbox"/> IRRADIADORES AUTOBLINDADOS <input type="checkbox"/> REGISTROS GEOFISICOS (PERFILAJE DE POZOS) <input type="checkbox"/> RADIOGRAFIA INDUSTRIAL FIJA <input type="checkbox"/> USO DE FUENTES SELLADAS EN INVESTIGACION <input type="checkbox"/> USO DE TORIO	
<b>TIPO III</b>	<input type="checkbox"/> MEDIDORES INDUSTRIALES <input type="checkbox"/> DIFRACTOMETRIA	<input type="checkbox"/> BAJA ACTIVIDAD <input type="checkbox"/> BAJO KILOVOLTAJE
<b>TIPO IV</b>	<input type="checkbox"/> EQUIPOS DE ANALISIS (BLINDADOS)	
<b>4. PERSONAL DE LA INSTALACION</b>		
4.1. Nombre del Encargado de Protección Radiológica – EPR: [REDACTED]		4.2. No. de Licencia: [REDACTED]





<p>24 calle 21-21, zona 12, Guatemala, Guatemala. Tel: (+502) 24108303 Fax: (+502) 24108310 www.mem.gob.gt</p>	DEPARTAMENTO DE PROTECCIÓN Y SEGURIDAD RADIOLÓGICA DIRECCIÓN GENERAL DE ENERGÍA, MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS	
	<b>FORMULARIO DE SOLICITUD DE LICENCIA DE OPERACIÓN DE INSTALACIONES RADIATIVAS INDUSTRIALES</b>	<b>DPSR- FORM- LON/I</b>
8.2. Frecuencia con que se realiza el mantenimiento preventivo de equipos (adjuntar copia de último informe):		
<b>9. CONTROL DE CALIDAD DEL EQUIPO</b>		
9.1. Nombre de la empresa que brinda el servicio		
9.2. Frecuencia con que se realiza el control de calidad a los equipos (adjuntar copia de último informe):		
<b>10. FIRMA Y LEGALIZACIÓN</b>		
<p>Señalo que toda la información consignada en el presente formulario es fiel y correcta y que los datos proporcionados eximen a la DGE para prejuzgar sobre la validez y autenticidad de los mismos, la que queda bajo mi estricta responsabilidad estando enterado de los alcances legales de la presente declaración. Así mismo acepto que en caso la documentación presentada no cumpla con los requisitos previstos, me comprometo a subsanar los errores u omisiones que hubiese, en un plazo máximo de diez días hábiles, contados a partir de la notificación del mismo, en caso contrario la presente solicitud quedará sin ningún efecto ni valor legal.</p> <p>A la información que se presenta debe dársele carácter de: <input type="checkbox"/> Pública   <input type="checkbox"/> Confidencial</p> <p>Lugar y fecha:</p> <p>(f) _____ Representante Legal o Propietario Acta de Legalización de firma</p> <p>Auténtica: _____</p>		

Fuente: Ministerio de Energía y Minas de Guatemala (2018)

## ANEXO 3: FORMULARIO DE SOLICITUD DE LICENCIA DE EPR DE INSTALACIONES RADIATIVAS INDUSTRIALES

 <p style="font-size: small;">24 calle 21-21, zona 12, Guatemala, Guatemala. Tel: (+502) 24196363 FAX: (+502) 24196310 www.mem.gob.gt</p>	<b>DEPARTAMENTO DE PROTECCIÓN Y SEGURIDAD RADIOLÓGICA</b> DIRECCIÓN GENERAL DE ENERGÍA, MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS	<b>DPSR- FORM- LEPR/I</b>	
<b>FORMULARIO DE SOLICITUD DE LICENCIA DE ENCARGADO DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA DE INSTALACIONES RADIATIVAS INDUSTRIALES</b>			
<b>Señor(a) Director(a):</b> _____  Atentamente, solicito Licencia de Encargado de Protección Radiológica para Instalaciones Radiactivas Industriales, de conformidad con la siguiente información:			
<b>1. DATOS DEL SOLICITANTE</b>			
<b>1.1. Nombre completo:</b> _____		Colocar fotografía	
<b>1.2. Género:</b> <input type="checkbox"/> Femenino   <input type="checkbox"/> Masculino	<b>1.3. Estado civil:</b> <input type="checkbox"/> Soltero(a)   <input type="checkbox"/> Casado(a)		<b>1.4. Edad:</b> _____
<b>1.5. Nacionalidad:</b> _____	<b>1.6. DPI o pasaporte (extranjero):</b> _____		
<b>1.7. Profesión u oficio:</b> _____			<b>1.8. NIT:</b> _____
<b>1.9. Domicilio:</b> _____			
<b>1.10. Lugar para recibir notificaciones y/o citaciones (dentro del perímetro de la Ciudad de Guatemala):</b> _____			
<b>1.11. Teléfonos:</b> _____		<b>1.12. Correo electrónico:</b> _____	
<b>2. PRÁCTICA</b>			
<b>TIPO I</b>	<input type="checkbox"/> IRRADIADORES, EN LO QUE LA FUENTE SALE DE SU BLINDAJE DURANTE LA OPERACIÓN <input type="checkbox"/> RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL PORTÁTIL		
	<input type="checkbox"/> GAMMAGRAFÍA PORTÁTIL <input type="checkbox"/> RAYOS X		
<b>TIPO II</b>	<input type="checkbox"/> MEDIDORES INDUSTRIALES <input type="checkbox"/> IRRADIADORES AUTOBLINDADOS <input type="checkbox"/> REGISTROS GEOFÍSICOS (PERFILAJE DE POZOS)		
	<input type="checkbox"/> RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL FIJA <input type="checkbox"/> USO DE FUENTES SELLADAS EN INVESTIGACIÓN <input type="checkbox"/> USO DE TORIO		
<b>TIPO III</b>	<input type="checkbox"/> MEDIDORES INDUSTRIALES	<input type="checkbox"/> BAJA ACTIVIDAD <input type="checkbox"/> BAJO KILOVOLTAJE	
	<input type="checkbox"/> DIFRACTOMETRÍA		
<b>TIPO IV</b>	<input type="checkbox"/> EQUIPOS DE ANÁLISIS (BLINDADOS)		
<b>3. FIRMA Y LEGALIZACIÓN</b>			
Señalo que toda la información consignada en el presente formulario es fiel y correcta y que los datos proporcionados eximen a la DGE para prejuzgar sobre la validez y autenticidad de los mismos, la que queda bajo mi estricta responsabilidad estando enterado de los alcances legales de la presente declaración. Así mismo acepto que en caso la documentación presentada no cumpla con los requisitos previstos, me comprometo a subsanar los errores u omisiones que hubiese, en un plazo máximo de diez días hábiles, contados a partir de la notificación del mismo, en caso contrario la presente solicitud quedará sin ningún efecto ni valor legal.			
A la información que se presenta debe dársele carácter de: <input type="checkbox"/> Pública   <input type="checkbox"/> Confidencial			

 <p>24 calle 21-21, zona 12, Guatemala, Guatemala. Tel: (+502) 24196363 FAX: (+502) 24196310 www.mem.gob.gt</p>	<p>DEPARTAMENTO DE PROTECCION Y SEGURIDAD RADIOLOGICA DIRECCIÓN GENERAL DE ENERGÍA, MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS</p>	
	<p><b>FORMULARIO DE SOLICITUD DE LICENCIA DE ENCARGADO DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA DE INSTALACIONES RADIATIVAS INDUSTRIALES</b></p>	<p><b>DPSR- FORM- LEPR/I</b></p>
<p>Lugar y fecha: <input type="text"/></p> <p>(f) _____ Representante Legal o Propietario Acta de Legalización de firma</p> <p>Auténtica: <input type="text"/></p>		

Fuente: Ministerio de Energía y Minas de Guatemala (2018)

## ANEXO 4: FORMULARIO DE SOLICITUD DE LICENCIA POE

 <p style="font-size: small;">24 calle 21-21, zona 12, Guatemala, Guatemala. Tel: (+502) 24196369 FAX: (+502) 24196310 www.mem.gob.gt</p>	<p><b>DEPARTAMENTO DE PROTECCION Y SEGURIDAD RADIOLOGICA</b> <b>DIRECCIÓN GENERAL DE ENERGÍA, MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS</b></p>	
<p><b>FORMULARIO DE SOLICITUD DE LICENCIA DE OPERADOR DE INSTALACIONES RADIATIVAS INDUSTRIALES</b></p>	<p><b>DPSR-FORM-LOR/I</b></p>	
<p><b>Señor(a) Director(a):</b>  <div style="background-color: #ccc; width: 50px; height: 15px; margin-bottom: 5px;"></div> </p> <p>Atentamente, solicito Licencia de Operador para Instalaciones Radiactivas Industriales, de conformidad con la siguiente información:</p>		
1. DATOS DEL SOLICITANTE		
<p><b>1.1. Nombre completo:</b>  <div style="background-color: #ccc; width: 100%; height: 15px;"></div> </p>		
<p><b>1.2. Género:</b>  <input type="checkbox"/> Femenino   <input type="checkbox"/> Masculino</p>	<p><b>1.3. Estado civil:</b>  <input type="checkbox"/> Soltero(a)   <input type="checkbox"/> Casado(a)</p>	<p><b>1.4. Edad:</b>  <div style="background-color: #ccc; width: 50px; height: 15px;"></div> </p>
<p><b>1.5. Nacionalidad:</b>  <div style="background-color: #ccc; width: 100%; height: 15px;"></div> </p>		<p>Colocar fotografía</p>
<p><b>1.6. DPI o pasaporte (extranjero):</b>  <div style="background-color: #ccc; width: 100%; height: 15px;"></div> </p>		
<p><b>1.7. Profesión u oficio:</b>  <div style="background-color: #ccc; width: 100%; height: 15px;"></div> </p>		<p><b>1.8. NIT:</b>  <div style="background-color: #ccc; width: 50px; height: 15px;"></div> </p>
<p><b>1.9. Domicilio:</b>  <div style="background-color: #ccc; width: 100%; height: 15px;"></div> </p>		
<p><b>1.10. Lugar para recibir notificaciones y/o citaciones (dentro del perímetro de la Ciudad de Guatemala):</b>  <div style="background-color: #ccc; width: 100%; height: 15px;"></div> </p>		
<p><b>1.11. Teléfonos:</b>  <div style="background-color: #ccc; width: 100%; height: 15px;"></div> </p>		<p><b>1.12. Correo electrónico:</b>  <div style="background-color: #ccc; width: 100%; height: 15px;"></div> </p>
2. PRÁCTICA		
<b>TIPO I</b>	<input type="checkbox"/> IRRADIADORES, EN LO QUE LA FUENTE SALE DE SU BLINDAJE DURANTE LA OPERACIÓN <input type="checkbox"/> RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL PORTÁTIL   <input type="checkbox"/> GAMMAGRAFÍA   <input type="checkbox"/> RAYOS X	
<b>TIPO II</b>	<input type="checkbox"/> MEDIDORES INDUSTRIALES <input type="checkbox"/> IRRADIADORES AUTOBLINDADOS <input type="checkbox"/> REGISTROS GEOFÍSICOS (PERFILAJE DE POZOS) <input type="checkbox"/> RADIOGRAFIA INDUSTRIAL FIJA <input type="checkbox"/> USO DE FUENTES SELLADAS EN INVESTIGACIÓN <input type="checkbox"/> USO DE TORIO	
<b>TIPO III</b>	<input type="checkbox"/> MEDIDORES INDUSTRIALES   <input type="checkbox"/> BAJA ACTIVIDAD   <input type="checkbox"/> BAJO KILOVOLTAJE <input type="checkbox"/> DIFRACTOMETRÍA	
<b>TIPO IV</b>	<input type="checkbox"/> EQUIPOS DE ANÁLISIS (BLINDADOS)	
3. FIRMA Y LEGALIZACIÓN		
<p>Señalo que toda la información consignada en el presente formulario es fiel y correcta y que los datos proporcionados eximen a la DGE para prejuzgar sobre la validez y autenticidad de los mismos, la que queda bajo mi estricta responsabilidad estando enterado de los alcances legales de la presente declaración. Así mismo acepto que en caso la documentación presentada no cumpla con los requisitos previstos, me comprometo a subsanar los errores u omisiones que hubiese, en un plazo máximo de diez días hábiles, contados a partir de la notificación del mismo, en caso contrario la presente solicitud quedará sin ningún efecto ni valor legal.</p>		
<p>A la información que se presenta debe dársele carácter de: <input type="checkbox"/> Pública   <input type="checkbox"/> Confidencial</p>		

