



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN-MANAGUA

RECINTO UNIVERSITARIO RUBÉN DARÍO
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
“AÑO DE LA EDUCACIÓN CON CALIDAD Y PERTINENCIA”

**Trabajo Monográfico para Optar el Título de Licenciado en Física con mención en
Física Médica.**

**Análisis de la evaluación de seguridad radiológica del Laboratorio de Física de
Radiaciones y Metrología (LAF-RAM) en el período comprendido de Enero a Junio del
año 2019**

AUTOR:

Br. Yamil José Pavón Vallejos

13-04420-9

TUTOR:

MSc. Fredy Israel Somarriba Vanegas

Managua, Enero del 2020

Dedicatoria

Con el paso del tiempo se crean muy fascinantes y grandes recuerdos, estos recuerdos no se olvidan tan fácilmente y a la vez, no son recuerdos que se quieran olvidar. Por tan lindos y numerosos recuerdos, quiero dedicarle este trabajo a esa persona que me llena de felicidad nada más verla y estar con ella. Esa persona con la que he creado muchísimos recuerdos inimaginables, esa persona que ha llegado a ser muy importante en mi vida, esa persona que es tan especial y única en mi vida.

Te dedico este trabajo porque, desde que te conocí y formas parte de mi vida, has sido muy especial para mí, has sido mi fábrica de felicidad.

Agradezco todas esas motivaciones que me has dado siempre, ese apoyo que siempre me muestras día a día para lograr completar este gran paso y así poder cumplir nuestros grandes objetivos, deseos, sueños y metas que nos hemos propuesto juntos. Sos la mejor.

Agradecimientos

Le doy mis más grandes agradecimientos a todas aquellas personas que me han ayudado a mi crecimiento tanto como persona, así como en el ámbito profesional, los cuales han estado de forma directa e indirecta ayudándome y dándome su apoyo y conocimientos.

Le agradezco de forma muy especial y con mucho amor y cariño a mis padres los cuales han sido los formadores de mis cimientos, gracias a ellos soy lo que soy. Agradezco a mis hermanos por estar siempre prestos a ayudarme en todo momento sobre todo al darme el tiempo para poder concluir este trabajo. Le agradezco a mis amigos que me han motivado a no rendirme y seguir avanzando en mi crecimiento profesional. También le agradezco a la persona que ha hecho que mi vida sea muchísimo más feliz, esa persona que ha llegado a ser muy especial y única en mi vida.

Por último, le agradezco a mi tutor por darme la oportunidad de realizar este trabajo y también al equipo que trabaja en el LAF-RAM por ayudarme en la realización de este documento.

Resumen

La evaluación de la seguridad es un requisito que toda instalación debe determinar para obtener la licencia .de parte de la entidad reguladora. Las matrices de riesgo es un método cualitativo que es utilizado para realizar evaluaciones de distintos tipos de riesgos.

La “guía de evaluación de seguridad de instalaciones y actividades asociadas a las fuentes generadoras de radiaciones ionizantes” publicada por la comisión nacional de energía atómica de Nicaragua (CONEA) sugiere utilizar esta metodología para evaluar la seguridad radiológica de una instalación o actividad que haga uso de radiaciones ionizantes.

Al aplicar esta metodología a las practicas realizadas en el Laboratorio de Física de Radiaciones y Metrología (LAF-RAM) se han definido un total de 26 sucesos iniciadores; de estos 26 sucesos iniciadores el 11% (3 sucesos iniciadores) tienen un riesgo alto, el 62% (16 sucesos iniciadores) tienen un riesgo medio, el 27% (7 sucesos iniciadores) tienen un riesgo bajo y ninguno de estos sucesos iniciadores corresponde a un nivel de riesgo muy alto. Esto implica que el LAF- RAM puede continuar con sus actividades sin ningún problema, sin embargo, se deben adoptar nuevas funciones de seguridad con el fin en mitigar, prevenir y controlar los posibles riesgos radiológicos de riesgo Alto.

Palabras Claves: Seguridad, Matrices de riesgo, actividad, riesgo.

Índice

Capítulo I	1
Introducción	1
Planteamiento del problema	2
Justificación	3
Objetivos de la investigación	4
1. Objetivo General:	4
2. Objetivos Específicos:	4
Capítulo II	5
Antecedentes	5
Marco teórico	6
1. Radioactividad y sus efectos	6
2. Seguridad y protección radiológica	6
3. Matrices de riesgo.....	17
4. Banco de calibración dosimétrico (LCD) del Laboratorio de Física de Radiaciones y Metrología (LAF-RAM)	23
Hipótesis	26
Capítulo III	27
Diseño Metodológico	27
1. Universo y muestra.....	27
2. Operacionalización de las variables.....	28
Capítulo IV	31
Análisis y discusiones de resultados	31
1. Evaluación de la cultura de la seguridad.....	31
2. Resumen de la estimación de dosis en condiciones normales de explotación	33
3. Resumen de la estimación de dosis potenciales para el LCD	34
4. Estimación de Riesgo.....	39
Capítulo V	44
Conclusiones	44
Recomendaciones	45
Referencias y bibliografía	46

Anexos	48
I. Criterios cualitativos y procedimiento semi-cuantitativo para determinar el nivel de cultura de seguridad.....	48
II. Estimaciones de dosis	83
III. Sucesos iniciadores	114
IV. Certificado de calibración del monitor de área Graetz X5DE 53090.....	127

Índice de Tablas

Tabla 1: Diferentes combinaciones de las variables f, P y C posibles junto con su riesgo R resultante.	19
Tabla 2: Criterios de aceptabilidad del riesgo y acciones correctoras	21
Tabla 3: Operacionalización de las variables	28
Tabla 6: Estimación de las dosis esperadas en condiciones normales	33
Tabla 7: Resumen de la estimación de dosis potenciales del LDC	34
Tabla 8: Matriz de riesgo del LAF-RAM.....	39
Tabla I 1: Criterios e indicadores cualitativos de los elementos básicos de cultura de seguridad	48
Tabla II. AI: Datos del monitoreo semanal del LCD desde enero hasta junio 2019.....	83
Tabla II. AII: Equivalente de tasa de dosis neta ambiental	98
Tabla II. AIII: Equivalente de tasa de dosis neta ambiental recibido en la semana.....	100
Tabla II. AIV: Tabla resumen del monitoreo	102
Tabla II. BI: Escenario 1	104
Tabla II. BII: Escenario 2.....	106
Tabla II. BIII: Escenario 3	108
Tabla II. BIV: Escenario 4	110
Tabla II. BV: Escenario 5.....	112
Tabla III. 1: Sucesos iniciadores	114
Tabla III. 2: Consecuencias potenciales de los sucesos iniciadores	116
Tabla III. 3: Funciones de seguridad genéricas	117
Tabla III. 4: Barreras y secuencia accidentales	120
Tabla III. 5: Frecuencia de ocurrencia de los sucesos iniciadores	125

Capítulo I

Introducción

La seguridad y protección radiológica de las instalaciones forman un papel fundamental en las actividades que involucren fuentes de radiación ionizante. En cada instalación se debe asegurar que las protecciones y la seguridad sean las óptimas para evitar los riesgos radiológicos que pueden perjudicar a los empleadores, al público y al medio ambiente.

Para el bienestar de cada uno de los posibles implicados por los riesgos radiológicos, se debe realizar evaluaciones periódicas de la seguridad con el fin de determinar que la instalación haya alcanzado un nivel óptimo de seguridad con respecto a las actividades que se realizan en la instalación. En la evaluación de la seguridad se toma en cuenta las medidas adoptadas para controlar de manera aceptable los riesgos radiológicos y la defensa en profundidad. La defensa en profundidad son los niveles de protección consecutivos e independientes que tendrían que fallar antes de que se produzca un efecto nocivo (barreras físicas, sistemas de protección de las barreras y procedimientos administrativos). Por último, la evaluación de la seguridad debe incluir un análisis de la seguridad, que consisten en un conjunto de distintos análisis cuantitativos a fin de evaluar y valorar los desafíos de la seguridad.

Dentro de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua (UNAN-Managua) está ubicado el Laboratorio de Física de Radiaciones y Metrología (LAF-RAM). Una de las prácticas que se realiza en el LAF-RAM es la calibración de monitores de área. Esta actividad es realizada mediante un banco de calibración que utiliza una fuente radiactiva de ^{137}Cs (Cesio 137) de 0,814 TBq (22Ci) al 01/07/2013. Además, el este laboratorio también cuenta con un equipo de rayos X portátil y con una sala en la cual se almacenan fuentes radiactivas utilizadas para pruebas demostrativas a los estudiantes. Para que el LAF-RAM garantice la seguridad debida a los trabajadores ocupacionalmente expuestos y al público en general, se debe realizar un análisis de la seguridad radiológica. Para la realización de este análisis se tendrá que evaluar cada uno de los requisitos específicos de seguridad por medio de mediciones de dosis y el uso de matrices de riesgos.

Planteamiento del problema

Debido a que el LAF-RAM hace uso de radiaciones ionizantes para poder prestar servicios; tales como calibración de equipos dosimétricos, practicas demostrativas usando equipos de rayos X y al tener fuentes radiactivas utilizadas en la investigación; debe brindar la seguridad adecuada tanto al público, al trabajador ocupacionalmente expuesto y al medio ambiente. Por esto se debe someter a un análisis de seguridad radiológica para poder dar respuesta a la siguiente pregunta: ¿Tiene el LAF-RAM los niveles de seguridad radiológica óptimos para este tipo de laboratorios?

Justificación

En una instalación que hace uso de radiaciones ionizantes en sus actividades, es fundamental que brinde la seguridad necesaria a sus trabajadores, al público y al medio ambiente; por ello es de vital importancia hacer una evaluación de seguridad para poder determinar si la instalación adopta las medidas adecuadas que garanticen una seguridad apropiada. Sin el análisis correspondiente de seguridad radiológica, la instalación no puede obtener su licencia o autorización, de la entidad reguladora, para poder prestar sus servicios.

La necesidad de realizar este trabajo investigativo se encuentra en el interés del Laboratorio de Física de Radiaciones y Metrología (LAF-RAM) a la obtención de su licencia ya que este trabajo comprobará si el LAF-RAM, ubicado en la Universidad Autónoma de Nicaragua UNAN-Managua, garantiza la seguridad radiológica óptima, tanto de índole incidental como de índole accidental, correspondiente a los trabajadores ocupacionalmente expuestos, a los miembros del público y al medio ambiente. A su vez, este trabajo es muy relevante porque ayudará a la prevención y mitigación de accidentes relacionados con las radiaciones ionizantes, así como proveer medidas de seguridad a seguir en casos de algún accidente o riesgo radiológico.

Objetivos de la investigación

1. Objetivo General:

Analizar la evaluación de seguridad radiológica del Laboratorio de Física de Radiaciones y Metrología (LAF-RAM) haciendo uso del método de matrices de riesgos en el período comprendido de Enero a Junio del año 2019

2. Objetivos Específicos:

- 2.1. Identificar las funciones de seguridad y los posibles escenarios que pueden generar una serie de riesgos radiológicos que pueden ocurrir en el Laboratorio de Física de Radiaciones y Metrología usando matrices de riesgos.
- 2.2. Determinar el nivel de cultura de la seguridad del Laboratorio de Física de Radiaciones y Metrología.
- 2.3. Evaluar los requisitos específicos de seguridad de la “guía de evaluación de seguridad de instalaciones y actividades asociadas a las fuentes generadoras de radiaciones ionizantes” del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) del Laboratorio de Física de Radiaciones y Metrología.

Capítulo II

Antecedentes

La Organización internacional de energía atómica (OIEA) en “Evaluación de la seguridad de las instalaciones y actividades” establece los requisitos de seguridad que deben cumplirse en el análisis de la evaluación de la seguridad radiológica de una instalación o actividad. Estos requisitos que deben evaluarse son: Posibles riesgos radiológicos, funciones de seguridad, características de emplazamiento, disposiciones de protección radiológica, aspectos técnicos, factores humanos y evaluación de la defensa a profundidad. Además, el documento explica que para realizar la evaluación de seguridad de cualquier instalación o actividad se debe utilizar un enfoque graduado para determinar el alcance y el grado de detalle de dicha evaluación. (Organismo internacional de energía atómica (OIEA), 2018).

Este documento se usará como manual para la comprensión tanto la definición cómo el objetivo que se busca en cada requisito específico de seguridad.

La comisión nacional de energía atómica de Nicaragua (CONEA) publicó la “Guía de evaluación de seguridad de instalaciones y actividades asociadas a fuentes generadoras de radiaciones ionizantes” en esta publicación se muestran metodologías que se pueden utilizar para la realización de la evaluación de seguridad radiológica para los específicos. (Comisión nacional de energía atómica (CONEA), 2017).

La metodología expuesta en esta guía se adaptará para la recolección y análisis de los datos que se obtendrá de cada requisito específico de seguridad.

Marco teórico

1. Radioactividad y sus efectos

La radiactividad es un fenómeno físico que se produce de manera espontánea en el núcleo de átomos inestables con el objetivo de volverse estables. Este fenómeno consiste en la emisión de energía, resultante de la desintegración del núcleo del átomo inestable, en forma de radiación ionizante. La radiactividad puede ser natural o artificial también llamada inducida. La radiactividad ioniza el medio que atraviesa, ya sea de forma directa; como partículas alfas o beta; o indirecta; como los rayos X y gamma. Las radiaciones y las sustancias radiactivas tienen un sinnúmero de aplicaciones beneficiosas que van desde la industria y agricultura hasta aplicaciones médicas. Sin embargo, los incidentes ocurridos en distintas instalaciones radiológicas alrededor del mundo, demuestran que la radiactividad tiene sus riesgos que pueden ser hasta mortales.

La exposición a las radiaciones ionizantes puede tener efectos nocivos a la salud y al medio ambiente. Estos efectos se pueden clasificar, según detección y dependencia de la dosis, en deterministas y estocásticos.

Los efectos deterministas, estos efectos son detectados cuando la dosis absorbida por el ser humano o el medio ambiente sobrepasa un nivel de umbral determinado. La gravedad de los efectos deterministas aumenta cuando la dosis recibida es mucho mayor que la dosis umbral. La probabilidad de efectos deterministas es nula a dosis bajas y tiende a la seguridad para la dosis umbral.

Los efectos estocásticos son efectos que se detectan estadísticamente, se manifiestan después de un período de latencia y no tienen nivel o dosis umbral para poder ser detectadas. (González, 1994, pág. 4).

2. Seguridad y protección radiológica

La seguridad y protección radiológica son herramientas para el manejo de las medidas de protección a la salud contra los riesgos causados por la radiación ionizante, estas

herramientas se aplican tanto a las personas como al medio ambiente. Además, tienen el fin de evitar los efectos deterministas y limitar la probabilidad de efectos estocásticos a niveles considerados aceptables. (Saravia-Rivera, 2013, pág. 108). Estas herramientas engloban a las condiciones de operaciones correctas, prevención de accidentes y mitigación de las consecuencias ocasionadas por los accidentes.

2.1. Normas de Seguridad radiológica

El organismo internacional de energía atómica (OIEA) con el fin de garantizar la protección de las personas y el medio ambiente contra los efectos nocivos de la radiación ionizante, publicó la colección de normas de seguridad del OIEA. Esta colección de normas presenta las nociones fundamentales de seguridad, los requisitos de seguridad y las guías de seguridad.

Las nociones fundamentales de seguridad presentan los objetivos y principios fundamentales de protección y seguridad, y constituyen la base de los requisitos de seguridad.

Los requisitos de seguridad son un conjunto de requisitos de seguridad que establece los parámetros que deben cumplirse para garantizar la protección de las personas y el medio ambiente.

Las guías de seguridad ofrecen recomendaciones y orientaciones sobre el cumplimiento de los requisitos de seguridad. Estas guías contienen ejemplos de buenas prácticas internacionales. (Organismo internacional de energía atómica (OIEA), 2018, págs. VIII-XII)

2.2. Principios fundamentales de seguridad

Los principios de seguridad constituyen la “base para elaborar los requisitos y aplicar las medidas de seguridad con el fin de alcanzar el objetivo fundamental de la seguridad.” (Organismo internacional de energía atómica (OIEA), 2007, pág. 5). Los 10 principios de seguridad radiológica según el organismo internacional de energía atómica son:

2.2.1 Responsabilidad de la seguridad: “La responsabilidad primordial de la seguridad recae en la persona u organización a cargo de las instalaciones y actividades que generan riesgos asociados a la radiación ionizante.” (Organismo internacional de energía atómica (OIEA), 2007, pág. 7). La autorización para explotar una instalación o realizar una actividad se puede conceder a una persona o una entidad explotadora, esta persona se le conocerá

como titular de la licencia. El titular a su vez, es el responsable principal de la seguridad por toda la vida útil de las instalaciones y esta responsabilidad no puede delegarse.

El titular de licencia es responsable de:

- Establecer y mantener las competencias necesarias.
- Proporcionar capacitación e información adecuadas.
- Establecer procedimientos y arreglos para mantener la seguridad en toda circunstancia.
- Verificar la idoneidad del diseño y la adecuada calidad de las instalaciones y actividades y del equipo conexo.
- Garantizar el control en condiciones de seguridad de todo el material radiactivo que se utilice, produzca, almacene o transporte.
- Garantizar el control en condiciones de seguridad de todos los desechos radiactivos que se generen.

2.2.2 Función del gobierno: “Debe establecerse y mantenerse un marco de seguridad jurídico y gubernamental eficaz, que incluya un órgano regulador independiente.” El gobierno es el responsable de adoptar la legislación, reglamentación y las demás normas y medidas que sean necesarias para el cumplimiento efectivo de todas sus responsabilidades nacionales, además debe establecer un órgano regulador independiente. (Organismo internacional de energía atómica (OIEA), 2007, pág. 8).

El órgano regulador independiente debe:

- Contar con la autoridad legal, la competencia técnica y de gestión y los recursos humanos y financieros adecuados para cumplir sus funciones.
- Ser efectivamente independiente del titular de la licencia y de cualquier otro órgano, de modo que esté exento de toda presión indebida de las partes interesadas.
- Establecer medios apropiados para informar a las partes situadas en las cercanías, al público y otras partes interesadas, y a los medios de comunicación sobre los aspectos relativos a la seguridad (incluidos los aspectos sanitarios y ambientales) de las instalaciones y actividades y sobre los procesos reglamentarios.
- Consultar con las partes situadas en las cercanías, con el público y con otras partes interesadas, según el caso, mediante un proceso abierto y no excluyente.

2.2.3 Liderazgo y gestión en pro de la seguridad: “Deben establecerse y mantenerse un liderazgo y una gestión que promuevan eficazmente la seguridad en las organizaciones

que se ocupan de los riesgos asociados a las radiaciones, y en las instalaciones y actividades que los generan.”. El sistema de gestión debe garantizar la promoción de la cultura de seguridad, la evaluación regular del comportamiento de seguridad y la aplicación de las enseñanzas extraídas de la experiencia. Además, al sistema de gestión se debe integrar una cultura de la seguridad que fija las actitudes y comportamientos en relación a la seguridad de todas las organizaciones y personas interesadas; se debe realizar una evaluación y análisis de la seguridad en todas las actividades e instalaciones aplicando un enfoque diferenciado, esta evaluación debe repetirse según sea necesario; Para evitar los fallos humanos y de organización, se debe tomar en cuenta los factores humanos y deben respaldarse con el buen desempeño y las buenas prácticas.

La cultura de la seguridad abarca:

- Un compromiso individual y colectivo respecto de la seguridad de parte de los dirigentes, la administración y el personal en todos los niveles.
- La rendición de cuentas de las organizaciones y personas de todos los niveles en lo que concierne a la seguridad.
- Medidas que estimulen una actitud inquisitiva y de aprendizaje y que desalienten la autocomplacencia en lo que respecta a la seguridad. (Organismo internacional de energía atómica (OIEA), 2007, págs. 9, 10).

Se han definido 10 elementos básicos para caracterizar la cultura de la seguridad en las organizaciones en las que se realizan actividades con fuentes de radiación ionizantes, siendo los siguientes elementos:

- a). Prioridad de la seguridad:** La seguridad es considerada siempre una prioridad en la organización y actividad.
- b). Liderazgo y compromiso visible de la alta dirección con la seguridad:** Son visibles, permanentes y reconocidos por ésta como elementos claves para la promoción y el desarrollo de una cultura sólida de la seguridad.
- c). Identificación y solución oportuna de los problemas de seguridad:** Las cuestiones con impacto potencial sobre la seguridad son rápidamente identificadas y resueltas.

- d). **Enfoque permanente en la seguridad:** Los procesos son planificados, controlados y modificados, asegurando que se mantienen los niveles de seguridad requeridos.
- e). **Responsabilidad, involucramiento y comportamiento individual con respecto a la seguridad:** La seguridad es reconocida como una responsabilidad de todo el personal, con un enfoque permanente optimizando la protección radiológica y la prevención de accidentes.
- f). **Comunicación efectiva sobre seguridad:** Existe una comunicación que favorece el flujo permanente y amplio sobre cuestiones de seguridad.
- g). **Reporte libre sobre seguridad:** Se reportan dentro de la organización que asegura que el personal pueda expresar preocupaciones de seguridad, notificar fallos, errores humanos o incidentes sin tomar represalias.
- h). **Tratamiento justo de los comportamientos individuales sobre seguridad:** Prevalece una cultura justa en el análisis e investigación de accidentes, incidentes y se enfocan en la identificación de las causas y no en la búsqueda del culpable.
- i). **Aprendizaje organizacional continuo sobre seguridad:** La organización posee una cultura por aprender basadas en las lecciones identificadas y aprendidas de los accidentes e incidentes ocurridos.
- j). **Ambiente de confianza y colaboración en seguridad:** Existe una colaboración entre las diferentes áreas y entre el personal basada en el respeto y la confianza mutua en beneficio de la seguridad. (Foro Iberoamericano de Organismos Reguladores Radiológicos y nucleares (FORO), 2015, págs. 25-35).

Para realizar una evaluación de la cultura de la seguridad, en anexos en el apartado I, se encuentra un método con el cual se evalúa la cultura de seguridad de una organización que realiza actividades con radiaciones ionizantes, el método mostrado en ese apartado es un método semi-cuantitativo.

2.2.4 Justificación de las instalaciones y actividades: Las instalaciones y actividades que generan riesgos o efectos nocivos asociados a la radiación ionizante deben reportar un mayor beneficio que el riesgo o efecto nocivo existente.

2.2.5 Optimización de la protección: La protección debe proporcionar el nivel de seguridad más alto razonablemente posible alcanzar. La optimización implica también

utilizar las buenas prácticas y el sentido común para evitar, lo mejor posible, los riesgos asociados a la radiación ionizante en las actividades diarias.

La optimización de la protección requiere la adopción de criterios sobre la importancia relativa de diversos factores, entre ellos:

- El número de personas (entre los trabajadores y el público) que pueden quedar expuestas a las radiaciones.
- La probabilidad de que esas personas sufran una exposición.
- La magnitud y distribución de las dosis de radiación recibidas.
- Los riesgos asociados a las radiaciones que se derivan de sucesos previsible.
- Los factores económicos, sociales y ambientales.

2.2.6 Limitación de los riesgos para las personas: Ninguna persona debe estar expuesta a un riesgo de daños inaceptables. Para ello la dosis y los riesgos asociados a la radiación ionizante deben mantenerse dentro de límites especificados, estos límites representan los límites máximos legales de aceptabilidad. Por lo cual, si se quiere tener un nivel adecuado de seguridad se debe establecer límites de las dosis y de los riesgos para las personas.

2.2.7 Protección de las generaciones presentes y futuras: “Deben protegerse contra los riesgos asociados a las radiaciones las personas y el medio ambiente del presente y del futuro.”

2.2.8 Prevención de accidentes: Deben emplearse todos los esfuerzos posibles para prevenir los accidentes radiológicos y mitigar sus consecuencias. Por ello, se debe asegurar que la probabilidad de accidentes con consecuencias perjudiciales sea extremadamente baja.

Las medidas adoptadas deben estar dirigidas a:

- Prevenir la aparición de fallos o de condiciones anormales (incluidas las violaciones de la seguridad física) que puedan conducir a esa pérdida de control.
- Prevenir la escalada de los fallos o condiciones anormales que se produzcan.
- Prevenir la pérdida, o la pérdida de control, de las fuentes radiactivas u otras fuentes de radiación.

Para prevenir y mitigar las consecuencias de accidentes se debe utilizar la defensa en profundidad. Esta consiste esencialmente en la combinación de una serie de niveles de protecciones consecutivas e independientes que tendrían que fallar antes que se produzca un efecto nocivo para las personas o el medio ambiente.

La defensa en profundidad se establece mediante una combinación apropiada de los siguientes elementos:

- Un sistema de gestión eficaz, con un firme compromiso de la administración a favor de la seguridad y una sólida cultura de la seguridad.
- Una adecuada selección del emplazamiento y la incorporación de elementos técnicos y de diseño apropiados, que proporcionen márgenes de seguridad y garanticen la diversidad y la redundancia, principalmente mediante la utilización de:
 - Un diseño, una tecnología y materiales de alta calidad y fiabilidad.
 - Sistemas de control, limitación y protección y elementos de vigilancia.
 - Una combinación apropiada de elementos de seguridad inherentes y técnicos.
- Procedimientos y prácticas operacionales completos, así como procedimientos de gestión de accidentes.

2.2.9 Preparación y respuesta en casos de emergencia: “Deben adoptarse disposiciones de preparación y respuesta para casos de incidentes radiológicos”. El titular de la licencia, el empleador, el órgano regulador y las dependencias competentes del gobierno deben adoptar disposiciones de preparación y respuesta en casos de emergencia radiológicas. Las disposiciones de preparación y respuesta deben comprender:

- Criterios, establecidos por anticipado, para determinar cuándo adoptar las diferentes medidas de protección.
- Medios para poder tomar medidas con el fin de proteger e informar al personal en el lugar de los hechos y, de ser necesario, al público durante una emergencia.

2.2.10 Medidas protectoras para reducir los riesgos asociados a las radiaciones existentes o no reglamentados: Estas medidas deben justificarse y optimizarse. Las medidas protectoras se consideran justificadas sólo si reportan suficientes beneficios que puedan contrarrestar los riesgos asociados a las radiaciones y se consideran optimizadas

cuando estas producen el máximo beneficio razonablemente posible con relación a los costos. (Organismo internacional de energía atómica (OIEA), 2007, págs. 8-17).

2.3. Evaluación de la seguridad radiológica

La evaluación de seguridad radiológica es un análisis de todos los aspectos principales para la protección y la seguridad de una actividad o instalación. La evaluación de seguridad es un proceso sistemático que se debe llevar a cabo por toda la vida útil de la actividad o instalación.

La evaluación de seguridad es un medio de evaluar el cumplimiento de los requisitos de seguridad, y de esta manera la aplicación los principios fundamentales de seguridad, de una instalación o actividad con el objetivo de determinar las medidas que deben adoptarse para garantizar la seguridad a las personas y el medio ambiente. (Comisión nacional de energía atómica (CONEA), 2017, pág. 1).

“Las evaluaciones de la seguridad deberán ser efectuadas y documentadas por la entidad encargada de la explotación de la instalación o la realización de la actividad, deberán verificarse de manera independiente y deberán presentarse al órgano regulador como parte del proceso de autorización o concesión de licencias.” (Organismo internacional de energía atómica (OIEA), 2018, pág. 1)

2.3.1. Requisitos de seguridad

Los requisitos de seguridad se basan en los principios fundamentales de seguridad, del organismo internacional de energía atómica. Estos requisitos deben de cumplirse para poder demostrar que se cumple con la seguridad radiológica de la actividad o instalación. Los requisitos de seguridad son:

- a). **Requisito 1, enfoque diferenciado:** “Se utilizará un enfoque diferenciado para determinar el alcance y grado de detalle de la evaluación de la seguridad de una instalación o actividad en particular realizada en un estado determinado, compatible con la magnitud de los posibles riesgos radiológicos.” (Comisión Nacional de Energía Atómica, 2017, pág. 9). El alcance y el grado de detalle se deben decidir antes de comenzar la evaluación de seguridad, pero, se pueden modificar a medida que la evaluación de seguridad va avanzando.

- b). **Requisito 2, Alcance de la evaluación de la seguridad:** “Se efectuará una evaluación de la seguridad de todas las aplicaciones de la tecnología que den lugar a riesgos radiológicos, es decir, de todos los tipos de instalaciones y actividades.”
- c). **Requisito 3, Responsabilidad de la evaluación de la seguridad:** La responsabilidad recae sobre la persona jurídica o entidad responsable de la instalación o actividad. Además, la evaluación de la seguridad debe ser realizada por un grupo de personas calificadas que tengan conocimientos sobre todos los aspectos de la evaluación y los análisis de la seguridad aplicables a la instalación o actividad en cuestión.
- d). **Requisito 4, Finalidad de la evaluación de la seguridad:** La finalidad principal es determinar si se ha alcanzado un nivel adecuado de seguridad respecto a una instalación o actividad cumpliendo con los criterios establecidos por el diseñador, la entidad usuaria y el órgano regulador. Esta seguridad debe incluir la evaluación de las disposiciones de protección radiológicas existentes, debe abordar los riesgos radiológicos y la experiencia operacional. Además, la evaluación de seguridad debe incluir un análisis de la seguridad que consiste en un conjunto de análisis cuantitativos a fin de evaluar y valorar los desafíos para la seguridad.
- e). **Requisito 5, Preparativos para la evaluación de la seguridad:** La comisión nacional de energía de Nicaragua (CONEA) propone que se deben asegurar que:
- Se dispone de un número de personas suficientes y con conocimientos para realizar la evaluación de seguridad.
 - Financiamiento suficiente.
 - Información básica sobre el lugar, diseño, la construcción, la puesta en servicio, el funcionamiento, la clausura y desmantelamiento de la instalación o actividad.
 - Instrumentos necesarios.
 - Determinar criterios definidos en reglamentos aprobados por el órgano regulador.
- f). **Requisito 6, Evaluación de los posibles riesgos radiológicos:** “Se determinarán y se evaluarán los posibles riesgos radiológicos asociados a la instalación o actividad”. Los posibles riesgos radiológicos son el grado y la probabilidad de exposición radiológica a las personas y el medio ambiente.
- g). **Requisito 7, Evaluación de las funciones de seguridad:** Se especificarán y evaluarán todas las funciones de seguridad asociadas a la instalación o actividad lo

que incluye estructuras, sistemas y componentes artificiales, barreras físicas o naturales y cualquier acción humana necesaria para garantizar la seguridad. Se debe determinar si estas funciones de seguridad son fiables, con conformidad con el enfoque diferenciado. Se debe determinar el grado de fiabilidad, redundancia, diversidad, separación, segregación, independencia y cualificación del equipo.

h). Requisito 8, Evaluación de las características del emplazamiento: Emplazamiento es el lugar donde se realiza la actividad o donde está ubicado la instalación. Esta evaluación abarca:

- Las características físicas, químicas y radiológicas que afectan a la dispersión o migración del material radiactivo durante el funcionamiento normal o como resultado de incidentes operacionales previstos o condiciones de accidentes.
- La identificación de sucesos externos naturales y provocados por el ser humano, esto comprende a los desastres naturales que podrían ocurrir en el emplazamiento de la actividad o instalación.
- Las posibilidades de que los estados vecinos se vean afectados y el requisito de elaborar un plan de emergencia.

Este requisito de evaluación debe revisarse periódicamente a lo largo de la vida útil de la actividad o instalación.

i). Requisito 9, Evaluación de las disposiciones de protección radiológica: En este requisito se debe determinar si existen las medidas adecuadas para la protección de las personas y el medio ambiente de los efectos nocivos de la radiación ionizante. Además, se debe determinar si estas medidas son las adecuadas para controlar la exposición radiológica de los trabajadores y la población.

j). Requisito 10, Evaluación de aspectos técnicos: Se deberán evaluar las estructuras, sistemas y componentes de diseño con el fin de determinar si los diseños son sólido y bien demostrado. Se debe determinar si los materiales utilizados en los sistemas, estructuras y componentes de diseño son los adecuados con las normas especificadas en el diseño. Se debe determinar los aspectos temporales como el envejecimiento, la fragilidad, corrosión, entre otros.

k). Requisito 11, Evaluación de los factores humanos: En este requisito se determinará si los procedimientos y las medidas de seguridad que se prevén en condiciones

normales garantizan un grado adecuado de seguridad. Este requisito depende de todas las acciones que realiza el personal de operación y de las interacciones de los seres humanos con la instalación o actividad. También se deben valorar las competencias del personal.

l). Requisito 12, Evaluación de la seguridad durante la vida útil de una instalación o la ejecución de una actividad: Este requisito deben abarcar todas las etapas de la vida útil de la instalación o actividad en la que puedan darse posibles riesgos radiológicos.

m). Requisito 13: Evaluación de la defensa en profundidad: En este requisito se “establecerá si se han adoptado las disposiciones adecuadas en cada uno de los niveles de defensa.” Para realizar este requisito se debe:

- Abordar las desviaciones del funcionamiento normal.
- Detectar las desviaciones del funcionamiento normal relacionados con la seguridad.
- Controlar los accidentes dentro los límites establecidos por el diseño.
- Especificar las medidas para mitigar las consecuencias de los accidentes.
- Mitigar los riesgos radiológicos que guardan relación con la emisión del material radiactivo.

También se deben identificar las barreras de protección necesarias para confinar el material radiactivo en lugares específicos. Para ello se debe determinar:

- Las funciones de seguridad que deben cumplirse.
- Los posibles problemas para esas funciones de seguridad.
- Los mecanismos que dan lugar a esos problemas y las respuestas necesarias.
- Las disposiciones adoptadas para determinar el deterioro de los mecanismos.
- Las disposiciones para mitigar las consecuencias si fallan las funciones de seguridad.

Para determinar si se ha aplicado adecuadamente la defensa a profundidad, es necesario establecer si:

- Se ha dado prioridad a la necesidad de reducir el número de problemas que pueden surgir de las barreras de protección y las barreras físicas; evitar que falle; prevenir

el fallo de una barrera y evitar emisiones importantes de materiales radiactivos si llegase a fallar alguna barrera.

- Las barreras de protección y físicas son independientes en la medida de lo posible.
- Se han aplicado medidas para garantizar la fiabilidad y eficacia de los niveles de defensa requeridos.

Además, se debe determinar si existen márgenes de seguridad adecuados en el diseño. Estos márgenes están generalmente especificados en códigos y normas. Hay que determinar si los criterios de aceptación de cada aspecto del análisis garantizan un margen de seguridad suficiente. (Comisión Nacional de Energía Atómica, 2017, págs. 9-19).

3. Matrices de riesgo

La matriz de riesgo es un método sistemático, estructurado, simplificado y conservador que se basa en la aplicación de la ecuación del riesgo, escrita a continuación:

$$R = (f)(P)(C) \quad \text{Ec 1.}$$

Dónde: R es el nivel de riesgo resultante.

f es la frecuencia del suceso iniciador.

P es la probabilidad de fallo de las defensas previstas.

C es la severidad de las consecuencias.

Este método consiste en evaluar la secuencia lógica en la que ocurren los accidentes, considerando los errores humanos o fallos del equipo con una frecuencia (f) determinada y aunque haya defensas o barreras, siempre existe una probabilidad (P) de que las barreras o defensas fallen, esto ocasiona un accidente con consecuencias determinadas (C). Este método no permite calcular numéricamente el riesgo, pero esto no impide utilizar los resultados para identificar los riesgos y realizar medidas para mitigarlos.

Para la realización de una matriz de riesgo se necesitan definir:

- **Sucesos iniciadores:** Es todo fallo de equipo, error humano o suceso externo, que conduce a una exposición accidental si fallan las medidas previstas para prevenirlas.

- **Secuencia accidental:** Es una cadena de acontecimientos que comienza con el suceso iniciador y muy probablemente termine en accidente. La secuencia accidental incluye el suceso iniciador, el fallo de las medidas de seguridad, la exposición accidental y la manifestación de posibles consecuencias.
- **Consecuencias:** Son los posibles daños ocasionados por el suceso iniciador cuando ocurrió un fallo de todas las defensas y medidas de seguridad. En la clasificación de las consecuencias se tomarán en cuenta la severidad de los efectos y el número de personas afectadas. La severidad puede abarcar desde una simple pérdida de la defensa en profundidad son efectos negativos para la salud de las personas, hasta la muerte de la persona irradiada.

Para aplicar el método de matriz de riesgo se debe evaluar cada secuencia de eventos que desencadena cada suceso iniciador.

Cómo se muestra en la ecuación 1, el riesgo (R) es función de 3 variables independientes; la frecuencia del suceso iniciador, la probabilidad de fallo de las barreras y la severidad de las consecuencias; estas 3 variables no son cuantificables, sino que cada variable se clasifica en 4 niveles. Para las variables frecuencia y probabilidad de fallos de barreras los niveles son: Alto (A), medio (M), bajo (B) y muy bajo (MB). Para la variable consecuencia los niveles son: Muy alto (MA), alto (A), medio (M) y bajo (B). (Foro Iberoamericano de Organismos Reguladores Radiológicos y nucleares (FORO), Junio 2016, págs. 12-15).

Al combinar las variables se da como resultado algún nivel de riesgo, esta variable puede obtener los siguientes niveles: Riesgo posiblemente muy alto (MA), Riesgo posiblemente alto (A), riesgo medio (M) y riesgo bajo (B). En la tabla 1 se muestran las 64 combinaciones posibles junto con el riesgo asignado al resultado.

Tabla 1: Diferentes combinaciones de las variables f, P y C posibles junto con su riesgo R resultante.

f _A	P _A	C _{MA}	R _{MA}
f _M	P _A	C _{MA}	R _{MA}
f _B	P _A	C _{MA}	R _A
f _{MB}	P _A	C _{MA}	R _A
f _A	P _M	C _{MA}	R _{MA}
f _M	P _M	C _{MA}	R _A
f _B	P _M	C _{MA}	R _A
f _{MB}	P _M	C _{MA}	R _A
f _A	P _B	C _{MA}	R _A
f _M	P _B	C _{MA}	R _A
f _B	P _B	C _{MA}	R _M
f _{MB}	P _B	C _{MA}	R _M
f _A	P _{MB}	C _{MA}	R _A
f _M	P _{MB}	C _{MA}	R _M
f _B	P _{MB}	C _{MA}	R _M
f _{MB}	P _{MB}	C _{MA}	R _M

f _A	P _A	C _A	R _{MA}
f _M	P _A	C _A	R _A
f _B	P _A	C _A	R _A
f _{MB}	P _A	C _A	R _A
f _A	P _M	C _A	R _A
f _M	P _M	C _A	R _A
f _B	P _M	C _A	R _A
f _{MB}	P _M	C _A	R _M
f _A	P _B	C _A	R _A
f _M	P _B	C _A	R _A
f _B	P _B	C _A	R _M
f _{MB}	P _B	C _A	R _M
f _A	P _{MB}	C _A	R _M
f _M	P _{MB}	C _A	R _M
f _B	P _{MB}	C _A	R _B
f _{MB}	P _{MB}	C _A	R _B

f _A	P _A	C _M	R _A
f _M	P _A	C _M	R _A
f _B	P _A	C _M	R _M
f _{MB}	P _A	C _M	R _M
f _A	P _M	C _M	R _A
f _M	P _M	C _M	R _M
f _B	P _M	C _M	R _M
f _{MB}	P _M	C _M	R _M
f _A	P _B	C _M	R _M
f _M	P _B	C _M	R _M
f _B	P _B	C _M	R _M
f _{MB}	P _B	C _M	R _M
f _A	P _{MB}	C _M	R _M
f _M	P _{MB}	C _M	R _M
f _B	P _{MB}	C _M	R _B
f _{MB}	P _{MB}	C _M	R _B

f _A	P _A	C _B	R _M
f _M	P _A	C _B	R _M
f _B	P _A	C _B	R _M
f _{MB}	P _A	C _B	R _M
f _A	P _M	C _B	R _M
f _M	P _M	C _B	R _M
f _B	P _M	C _B	R _B
f _{MB}	P _M	C _B	R _B
f _A	P _B	C _B	R _B
f _M	P _B	C _B	R _B
f _B	P _B	C _B	R _B
f _{MB}	P _B	C _B	R _B
f _A	P _{MB}	C _B	R _B
f _M	P _{MB}	C _B	R _B
f _B	P _{MB}	C _B	R _B
f _{MB}	P _{MB}	C _B	R _B

3.1.1. Criterios para asignar los niveles de frecuencia de los sucesos iniciadores

En dependencia de la naturaleza del suceso iniciador se utilizan diferentes ecuaciones para encontrar su frecuencia.

- Si el suceso iniciador es provocado por el fallo del equipo se utiliza la ecuación 2.

$$f = \frac{2n+1}{2T} \quad \text{Ec. 2}$$

Dónde: n es el número de fallos.

T es el intervalo de tiempo en el que ocurren los n fallos y este dato se expresa en años.

- Si el suceso iniciador es originado por errores humanos, la frecuencia se puede calcular utilizando la ecuación 3.

$$f = P_{EH}f_T \quad \text{Ec. 3}$$

Dónde: P_{EH} es la probabilidad de error humano por tarea.

f_T es la frecuencia anual con que se realiza la tarea.

Los valores de frecuencia del suceso iniciador se clasifican:

- Frecuencia alta (f_A): El suceso ocurre frecuentemente.
- Frecuencia media (f_M): El suceso ocurre ocasionalmente.
- Frecuencia baja (f_B): Es poco usual que ocurra el suceso iniciador, aunque puede haber ocurrido.
- Frecuencia muy baja (f_{MB}): Es muy raro que ocurra el suceso iniciador, aunque no se tenga conocimientos de que haya ocurrido se considera que podría suceder.

3.1.2. Criterio para asignar los niveles de consecuencias

- Consecuencias muy altas, catastróficas o muy graves (C_{MA}): Estas provocan efectos deterministas severos siendo hasta mortales, aunque puede causar un daño irreparable que reduce la calidad de vida de las personas afectadas.
- Consecuencias altas (C_A): Provocan efectos deterministas, pero, no representan un peligro para la vida y no producen daños permanentes a la calidad de vida de las personas afectadas.
- Consecuencia media (C_M): Estas provocan exposiciones anómalas o no previstas como normales que están por debajo de los umbrales de los efectos deterministas sólo representan un aumento de la probabilidad de ocurrencia de efectos estocásticos. Estas consecuencias son por superar las restricciones o límites de dosis establecidos.
- Consecuencias bajas (C_B): No producen efectos sobre los trabajadores y público, pero se degradan las medidas de seguridad.

3.1.3. Criterios para asignar la probabilidad de fallo al conjunto de barreras

- Probabilidad alta (P_A): No hay ninguna barrera de seguridad.
- Probabilidad media (P_M): Hay una o dos barreras de seguridad.
- Probabilidad baja (P_B): Hay tres barreras de seguridad.
- Probabilidad muy baja (P_{MB}): Hay cuatro o más barreras de seguridad.

3.1.4. Obtención del nivel de riesgo para cada secuencia accidental

Una vez evaluadas y asignado los niveles de las variables independientes de la ecuación del riesgo (Ecuación 1) se introducen en la matriz de riesgo (Tabla 1) y se lee el resultado. Este proceso se debe realizar para cada suceso iniciador identificado. Si el riesgo inicial resulta alto o muy alto se les selecciona para un análisis de acciones correctoras. (Foro Iberoamericano de Organismos Reguladores Radiológicos y nucleares (FORO), Junio 2016, pág. 21).

El FORO, expone los criterios de la aceptabilidad del riesgo y las acciones que deben realizarse para corregir el riesgo (2016, pág. 22), se explican en la tabla 2.

Tabla 2. Criterios de aceptabilidad del riesgo y acciones correctoras		
Intervalo de riesgo	Tolerabilidad del riesgo	Acciones
R_{MA}	Inaceptable	Se requiere paralizar la práctica y que se tomen las medidas necesarias para reducir el riesgo antes del reinicio de los trabajos.
R_A	Inaceptable si las consecuencias son altas	Se requieren medidas inmediatas para reducir el riesgo o tendrá que paralizarse la práctica.
	Inaceptable tolerable temporalmente bajo determinadas condiciones si las consecuencias son medias	Se requieren medidas para reducir el riesgo en un plazo apropiado de tiempo.
R_M	Tolerable según análisis costo/beneficio	Deben introducirse las mejoras o medidas que reduzcan el riesgo lo más bajo posible considerando criterios costo/beneficio.
R_B	Despreciable	No se requerirán acciones o medidas adicionales de seguridad.

3.1.5. Análisis de resultados del cribado y acciones correctoras

El primer paso del análisis de resultados es reevaluar el nivel de riesgo de aquellas consecuencias accidentales que no cumplen con los criterios de aceptabilidad del riesgo, “Inaceptables”, y también las secuencias accidentales que tiene nivel de riesgo tolerable pero que pudieran pasar a un nivel de riesgo bajo. Para realizar este análisis se deben contestar las siguientes preguntas claves:

- a) ¿Son suficientemente robustas las barreras directas existentes como para asignar la probabilidad de fallo del conjunto de barreras un nivel de P menor que el que corresponde según el criterio establecido en la metodología?
- b) ¿Son suficientemente robustos los reductores de frecuencia y de consecuencias como para asignar un nivel de frecuencia f y consecuencias C menor que el que corresponde según el criterio establecido en la metodología?
- c) ¿Es posible introducir nuevas barreras los reductores de frecuencia y consecuencias?
- d) ¿Qué medidas deben proponerse para disminuir globalmente el riesgo?

4. Banco de calibración dosimétrico (LCD) del Laboratorio de Física de Radiaciones y Metrología (LAF-RAM)

El LAF-RAM cuenta con un bunker, patrones y fuentes de referencias para realizar calibraciones dosimétricas a equipos detectores de radiaciones ionizantes. El irradiador consta de varios sistemas que modifican le haz para realizar la calibración en dependencia del rango de los detectores.

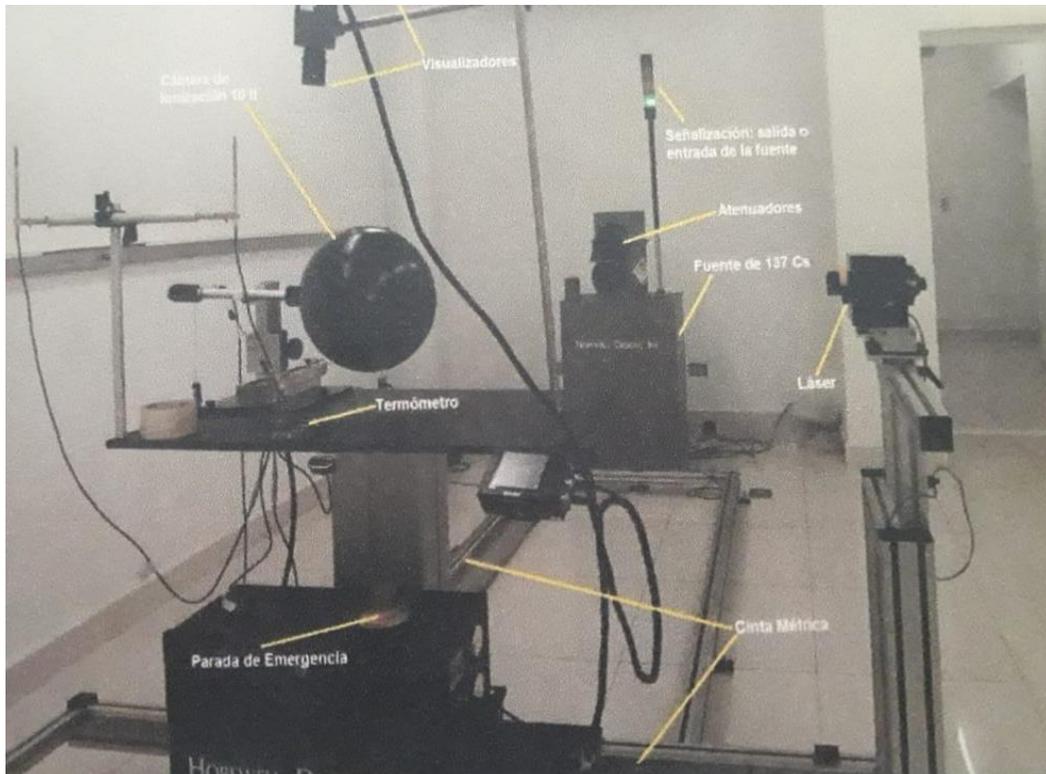


Figura 1. Banco de calibración con sus accesorios. Fuente: Díaz, 2015

La fuente del banco de calibración es de ^{137}Cs (Cesio-137), esta fuente está doblemente encapsulada, herméticamente cerrada y la cápsula está fabricada de acero inoxidable. La fuente está en una cápsula dentro de una varilla de acero inoxidable de tungsteno llamada “varilla fuente”. La fuente se mueve a la posición expuesta por un cilindro de aire. Cuando este cilindro se acciona la varilla fuente se mueve a la posición del exterior, en caso contrario el aire es desactivado y esta se vuelve a la posición de almacenamiento. En la posición de almacenamiento la fuente está protegida por todos lados por plomo y tungsteno. Además, el

cilindro posee sensores de aire que indican la posición de origen. (Díaz López, 2015, págs. 8, 9).

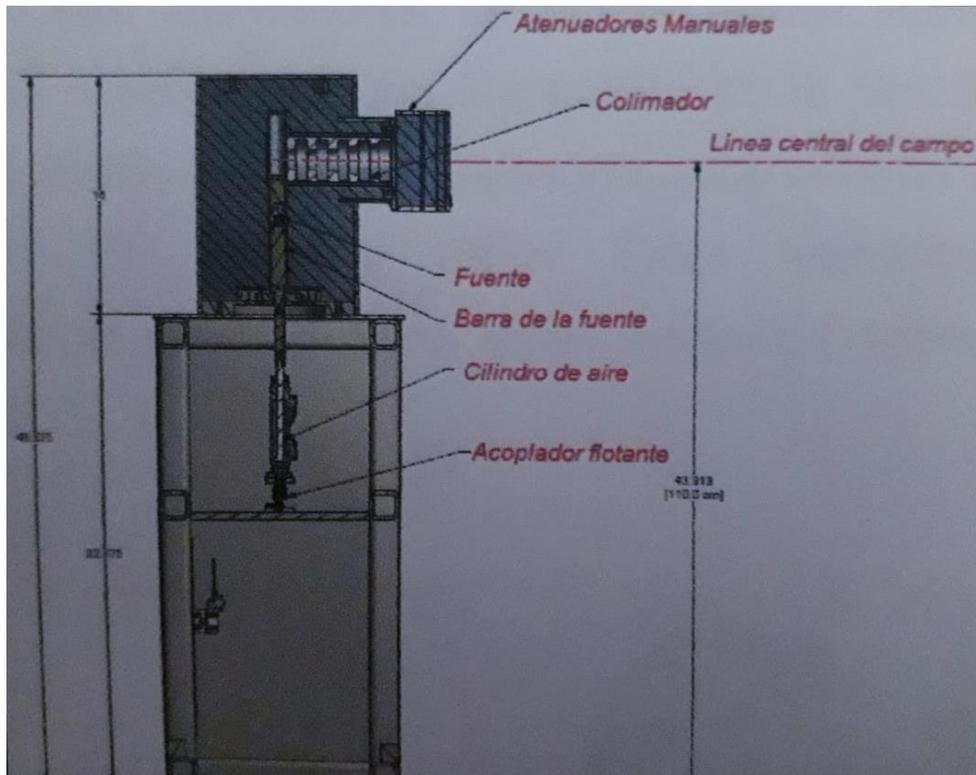


Figura 2. Fuente de ^{137}Cs y sus características principales.

Fuente: Díaz, 2015.

4.1. Sistema de enclavamiento y seguridad

El banco de calibración dosimétrico del LAF-RAM prestador de servicios cuenta con 3 sistemas de enclavamiento o botones de emergencia que al ser accionados hacen regresar a la fuente a su posición segura. En la puerta de acceso hay un sistema óptico que en caso de que alguien esté obstruyendo la puerta de acceso o una persona haya quedado dentro del bunker, la fuente no salga. La fuente no sale o se detiene cuando la puerta se abre. (Díaz López, 2015, pág. 11).

4.2. Consola de control

Esta contiene un sistema para el control de posicionamientos de la fuente y monitorea los sensores de enclavamiento. Cuando un sistema de enclavamiento está activo se enciende una luz roja y hasta que todo está en orden se enciende una luz verde para comenzar con la irradiación. La consola de control tiene incorporada sistema de mediciones que mide la presión y la temperatura dentro del bunker, además, la consola de control predice los tiempos de entrada y salida de la fuente. La consola muestra en la pantalla lo que se visualiza por 2 cámaras que están ubicadas en la parte superior en 2 esquinas del bunker, y una cámara que visualiza la escala del detector que se está monitoreando. (Díaz López, 2015, pág. 12).

Hipótesis de investigación

El Laboratorio de Física de Radiaciones y Metrología (LAF-RAM) ubicado dentro de la universidad autónoma de Nicaragua UNAN-Managua, cumple con los niveles de seguridad radiológica óptimos para este tipo de laboratorios.

Capítulo III

Diseño Metodológico

- Enfoque mixto, porque se utilizan enfoques cualitativos y cuantitativos.
- Descriptivo debido a que se describirán las variables independientes.
- Transversal porque la información de las variables se tomará una sola vez.
- Prospectivo debido que se recogerán datos de la dosis obtenida en los lugares de interés de la instalación.
- Analítico ya que se pondrá a prueba la hipótesis planteada en el documento.

1. Universo y muestra

El universo será el laboratorio prestador de servicios lo cual incluye, al personal ocupacionalmente expuesto, la ubicación (emplazamiento), las actividades que se realizan y las funciones de seguridad del laboratorio.

La muestra es no probabilística, dicha muestra será conformada por el bunker de calibración, el equipo de rayos x portátil y el cuarto de almacenamiento de fuentes de investigación. Esta muestra también incluye a todos los trabajadores implicados de forma directa e indirecta con la actividad, el emplazamiento, la fuente de radiación y las funciones de seguridad.

2. Operacionalización de las variables

Tabla 3: Operacionalización de las variables

Variable dependiente (Y)	Variables Independientes (X)	Definición conceptual	Definiciones operacionales	Indicadores
Requisitos específicos de seguridad radiológicas	Posibles riesgos radiológicos	Consecuencias radiológicas graves que podrían ocurrir en una instalación o actividad por la emisión de material radiactivo sin tener en cuenta los sistemas de seguridad o medidas de protección existentes.	Análisis de riesgo acerca de los riesgos radiológicos asociados a la instalación, estos riesgos están relacionados a los incidentes operacionales previstos y con los accidentes que pueden ocurrir en la instalación. El análisis será con enfoque cualitativo usando matrices de riesgo.	Matrices de Riesgos
	Funciones de seguridad	Son funciones que se deben llevar a cabo para prevenir o mitigar las consecuencias radiológicas derivadas del funcionamiento normal, los incidentes operacionales y las condiciones de accidentes de la instalación.	Medición de dosis en las funciones de seguridad usando el medidor de tasa de dosis Graetz X5 DE Unidad de medida desde nSv/h hasta mSv/h	Dosis equivalente ambiental H*(10)
	Defensa en profundidad y		Análisis de riesgo sobre las disposiciones adecuadas en los niveles de la defensa. Este análisis será con enfoque cualitativo usando matrices de riesgo.	Matrices de Riesgos

Requisitos específicos de seguridad radiológicas	márgenes de seguridad			
	Aspectos técnicos	Estructuras, sistemas y componentes	Análisis de riesgo con enfoque cuantitativo usando arboles de sucesos o fallos asociados a las estructuras, sistemas y componentes del diseño de la instalación, así como los posibles riesgos operacionales.	Matrices de Riesgos
	Factores humanos	Interacciones de los seres humanos con la instalación o actividad	Se valorarán las competencias del personal mediante un test sobre seguridad y protección radiológica, cultura de la seguridad y usos del bunker de calibración.	Test
	Emplazamiento	El lugar donde está ubicada la instalación o donde se realiza la actividad	Análisis de riesgo con respecto a los fenómenos naturales que pueden ocurrir en la localidad de la instalación. Este análisis tendrá un enfoque cualitativo usando matrices de riesgo.	Matrices de Riesgos
	Disposiciones de protección radiológica	Medidas para proteger a las personas y el medio ambiente de los efectos nocivos de las radiaciones ionizantes.	Medición de dosis en las funciones de seguridad usando el medidor de tasa de dosis Graetz X5 DE. Unidad mSv/h. Además, se realizará un análisis de riesgo, este abordará los incidentes operacionales previstos y las condiciones de accidentes, así como las medidas de seguridad existentes en la instalación.	Dosis equivalente ambiental H*(10) Matrices de Riesgos

	Vida útil de la instalación	Tiempo de vida útil de la instalación, este tiempo comienza en la fase de diseño de la nueva instalación	Análisis de riesgo con enfoque cualitativo usando matrices de riesgo.	Matrices de Riesgos
--	-----------------------------	--	---	---------------------

Capítulo IV

Análisis y discusiones de resultados

1. Evaluación de la cultura de la seguridad

Para determinar el nivel de cultura de seguridad de LAF – RAM, se utilizaron los criterios mostrados en el apartado I de los anexos. El tipo de medición que se utilizan para determinar estos criterios es semi-cualitativo por el cual, se evaluó cada indicador relacionado con cada uno de los 10 elementos básicos de la cultura de seguridad y el resultado se asociaba al criterio en el que correspondía. En el apartado I.1 se muestran los resultados de las encuestas que se aplicaron a los trabajadores ocupacionalmente expuesto. Estos resultados se resumen en la gráfica 1.

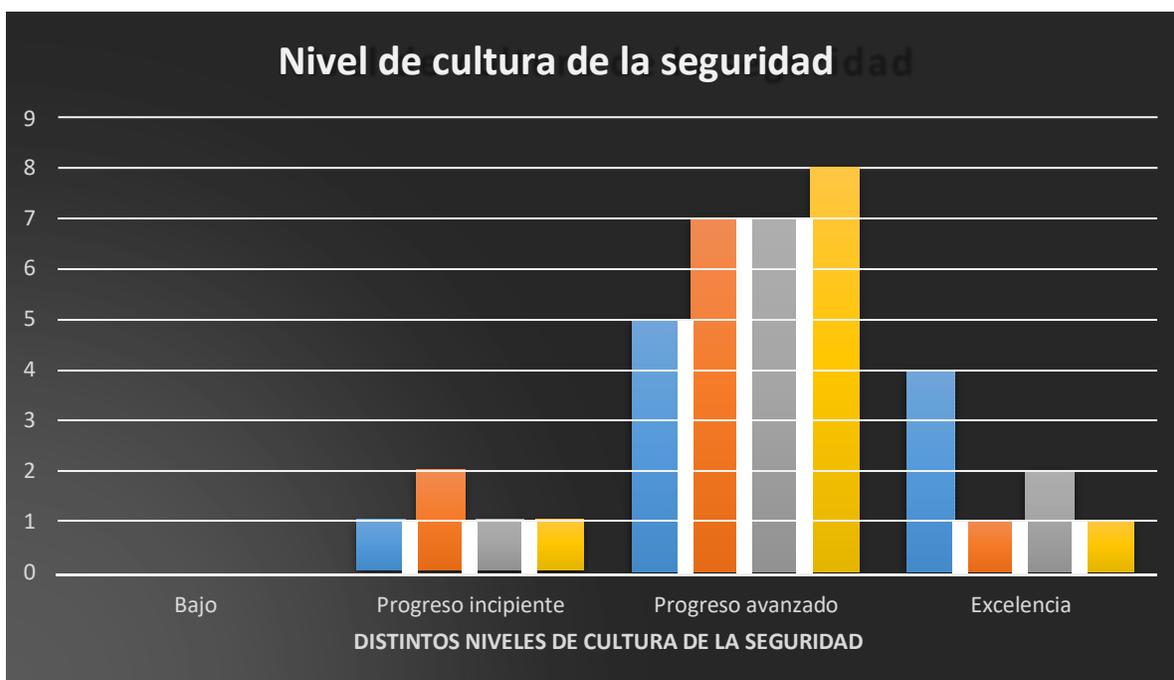


Gráfico 1. Niveles de cultura de la seguridad determinados en la encuesta.

En la gráfica se puede observar que no se ha calificado ningún elemento básico de cultura de seguridad en un nivel bajo, y que la mayoría de estos elementos se encuentran en un nivel de progreso avanzado.

Al aplicar los criterios presentados en el apartado de Anexos I, se determina que el nivel general de la cultura de seguridad del laboratorio se encuentra en un nivel de progreso avanzado. Cabe destacar que todas las encuestas realizadas llegan al mismo resultado general.

2. Resumen de la estimación de dosis en condiciones normales de explotación

En la tabla 4, se resumen los resultados de la dosis esperada en condiciones normales en las actividades que se realizan en el LAF-RAM. La obtención de estos resultados se muestra más detalladamente en los anexos en el apartado II.A. Además, en esta tabla se encuentra una comparación con las restricciones de dosis.

Tabla 4: Estimación de las dosis esperadas en condiciones normales				
	Tipo de operación o proceso	Dosis esperada en condiciones normales	Comparación con las restricciones de dosis	Criterios considerados para la estimación de la dosis. Comentarios Generales
Trabajadores ocupacionales	Banco de calibración dosimétrico	0,141 mSv en 6 meses	3 mSv en 6 meses	El TOE está posicionado en la SC1.
Miembros del público	Banco de calibración dosimétrico	0,0173 mSv en 6 meses	0,5 mSv en 6 meses	El lugar más cercano del bunker en el que el público se pueden encontrar es en el parque, en PE1.

Debido a que el estudio se ha realizado en 6 meses, de enero a junio 2019, las restricciones de dosis que se han colocado serían su equivalente en 6 meses, ósea la mitad de lo estipulado. Se puede observar que en condiciones normales las defensas son funcionales, debido a que ni el público ni el TOE reciben una dosis mayor a las restricciones de dosis en 6 meses. Esto significa que las funciones de seguridad están cumpliendo con la seguridad necesaria.

3. Resumen de la estimación de dosis potenciales para el LCD

En la tabla 5, se resumen los resultados más relevantes para los escenarios en los cuales podría ocurrir una exposición potencial para el TOE. Estos escenarios se muestran más detalladamente en los anexos en el apartado II.B. Además, se muestran una comparación con las restricciones de dosis y las relaciones de estos escenarios con las protecciones existentes.

Tabla 5: Resumen de la estimación de dosis potenciales del LCD

Denominación del escenario	Dosis potenciales estimadas (μSv)	Comparación con las restricciones de dosis	Relación de medidas de protección existentes	Comentarios Generales
Escenario 1	0,049	10 mSv/año	Al salir por la puerta el LCD hace que la fuente vuelva a su posición segura	En este escenario solo hay una reacción del TOE
Escenario 2	0,147	10 mSv/año	Presionar cualquier botón de emergencia dentro del bunker y salir por la puerta hace que el LCD mueva la fuente a su posición segura	Se ha utilizado la reacción 1 “Salir por la puerta”, debido a que esta era en la que más dosis recibía el TOE.
Escenario 3	19,4	10 mSv/año	Presionar cualquier botón de emergencia dentro del bunker y salir por la puerta hace que el LCD mueva la fuente a su posición segura	Se ha utilizado la reacción 1 “Salir por la puerta”, debido a que esta era en la que más dosis recibía el TOE.
Escenario 4	6,35	10 mSv/año	Presionar cualquier botón de emergencia dentro del bunker y salir por la puerta hace que el LCD mueva la fuente a su posición segura. Subir los colimadores atenúa la radiación que emite la fuente.	Se ha utilizado la reacción 3 “Subir los colimadores”, debido a que esta era en la que más dosis recibía el TOE.

Escenario 5	291	10 mSv/año	Presionar cualquier botón de emergencia dentro del bunker y salir por la puerta hace que el LCD mueva la fuente a su posición segura. Subir los colimadores atenúa la radiación que emite la fuente.	Se ha utilizado la reacción 3 “Subir los colimadores”, debido a que esta era en la que más dosis recibía el TOE.
-------------	-----	------------	--	--

El escenario que produce una mayor dosis potencial siendo de 291 μ Sv es el escenario 5, en este escenario el TOE está bajando los colimadores para comenzar a realizar la actividad. En este escenario recibe una mayor dosis potencial debido a que está a una distancia muy cercana a la fuente de radiación y además, la acción de subir los colimadores de vuelta es una acción en la cual se toma más tiempo en comparación con las otras acciones que se pueden realizar. Comparándola con las restricciones de dosis para el TOE, la dosis que recibirá por este escenario está muy por debajo de la restricción de dosis anual, por lo cual la consecuencia es muy baja, además hay una muy baja frecuencia para este escenario.

Estimación de la incertidumbre en los escenarios accidentales

Existen 2 tipos de incertidumbres las cuales son, incertidumbres “A” e incertidumbres “B”. Estas sólo se diferencian en la forma en las que se evalúan y no en las causas que han dado lugar a las incertidumbres.

Incertidumbre tipo A: Este tipo de incertidumbre se evalúa por métodos estadísticos. Generalmente con el cálculo de la desviación estándar y la desviación estándar de la media de un conjunto de valores experimentales.

$$\sigma(q) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (q_i - \bar{q})^2} \quad \text{Ec. 4}$$

$$u(q) = \frac{\sigma(q)}{\sqrt{n}} \quad \text{Ec.5}$$

Incertidumbre tipo B: Este tipo de incertidumbre se realiza mediante el análisis de toda la información disponible:

- Datos de medidas previas.
- Experiencia sobre las propiedades de los instrumentos.
- Especificaciones del fabricante.
- Datos proporcionados por una calibración del instrumento.

En nuestro caso usaremos los datos proporcionados por la calibración del detector. El certificado de calibración está en anexos. En el certificado de calibración también se encuentra la incertidumbre de dicho factor

Incertidumbre combinada: Una vez obtenida los 2 tipos de incertidumbre, se calculará lo que se llama como incertidumbre combinada. Esta incertidumbre se obtiene con las combinaciones de las varianzas de asignadas a los componentes de incertidumbres que se hayan identificado.

La ecuación para el cálculo de la incertidumbre combinada que se usará es:

$$u_c = \sqrt{\sum \left(\frac{\delta f}{\delta x_i}\right)^2 u^2(x_i)} \quad \text{Ec. 6}$$

Donde **u** representa las incertidumbres tanto de tipo A como de tipo B calculadas anteriormente.

Las derivadas parciales $\frac{\delta f}{\delta x_i}$ se denominan coeficientes de sensibilidad y describen la forma en que el valor estimado de “y” varia al variar “xi”.

Cálculo de la incertidumbre del equivalente de dosis ambiental en los escenarios de accidentes.

Incertidumbre tipo A.

Por cada escenario se calcula cada uno de sus desviaciones estándares y desviaciones estándares de la media con la ayuda de las ecuaciones 4 y 5 se obtuvieron:

Incertidumbre tipo A de los escenarios accidentales	
Escenarios	u lectura
Escenario 1	0,22 μ Sv/h
Escenario 2	0,42 μ Sv/h
Escenario 3	0,16 mSv/h
Escenario 4	0, 02 mSv/h
Escenario 5	2.42 mSv/h

Incertidumbre tipo B

Para la incertidumbre tipo B, solo se calculará la debida a la calibración del detector. El certificado de calibración del mismo se encuentra en los anexos. Al igual que en el anterior se calculará esta incertidumbre por cada escenario, debido a que no se usó la misma escala en todos los escenarios.

Incertidumbre tipo B de los escenarios accidentales		
Escenarios	N_k de la escala	Incertidumbre del N_k
Escenario 1	0,92	0.15
Escenario 2	0,92	0,15
Escenario 3	0,80	0,13
Escenario 4	0,80	0,13
Escenario 5	0,80	0,13

Incertidumbre combinada

Para el cálculo de la incertidumbre combinada se hará uso de la ecuación 6. En este cálculo se necesita obtener las derivadas parciales de “ $H^*(10)$ ”. Para este caso particular “ $H^*(10)$ ” sólo depende de la lectura del detector y el factor de calibración.

$$H^*(10) = (L)(N_k)$$

Donde L es la lectura del detector y N_k el factor de calibración del detector utilizado.

Entonces solo se derivará parcialmente con respecto a la lectura del detector y con respecto al factor de calibración. Entonces, sus derivadas parciales son:

$$\frac{\partial H^*(10)}{\partial L} = N_k$$

$$\frac{\partial H^*(10)}{\partial N_k} = L$$

Una vez calculadas las derivadas parciales se aplicará la ecuación 6 para el cálculo de la incertidumbre combinada de cada escenario. Se usará como lectura el valor promedio medido con el detector, por lo cual se usará la desviación típica de la media.

Incertidumbre combinada de los escenarios accidentales					
Escenarios	Lectura promedio de $H^*(10)$	N_k de la escala	u lectura	Incertidumbre del N_k	Incertidumbre combinada
Escenario 1	44,70 μ Sv/h	0,92	0,22 μ Sv/h	0,15	6,71 μ Sv/h
Escenario 2	105,17 μ Sv/h	0,92	0,42 μ Sv/h	0,15	15,78 μ Sv/h
Escenario 3	17,60 mSv/h	0,80	0,16 mSv/h	0,13	2,29 mSv/h
Escenario 4	4,53 mSv/h	0,80	0,02 mSv/h	0,13	0,59 mSv/h
Escenario 5	208,00 mSv/h	0,80	2,42 mSv/h	0,13	27,11 mSv/h

4. Estimación de Riesgo

El enfoque que se utilizó, para estimar el riesgo de que ocurra un suceso iniciador, fue un enfoque cualitativo haciendo una construcción de una matriz de riesgo. La matriz de riesgo resultante se muestra en la tabla 6.

Tabla 6: Matriz de riesgo del LAF-RAM					
No.	Suceso iniciador	Frecuencia	Probabilidad	Consecuencia	Riesgo
1	Fallas en el funcionamiento de los equipos detectores	f_B	P_M	C_M	R_M
2	Fallas en el funcionamiento del sistema de alarma de incendios	f_B	P_A	C_B	R_M
3	Fallas en el sistema eléctrico del laboratorio	f_B	P_A	C_M	R_M
4	Falla en el sistema de seguridad del ingreso	f_B	P_M	C_M	R_M
5	Equipo detectores descalibrado o mal calibrados	f_B	P_M	C_B	R_B
6	Personal no capacitado correctamente	f_{MB}	P_M	C_B	R_B
7	No hay señalizaciones de seguridad	f_B	P_M	C_B	R_B
8	No se hace uso de los dosímetros personales	f_{MB}	P_M	C_B	R_B
9	Bajo nivel de la cultura de seguridad de organización	f_B	P_M	C_B	R_B
10	Inundaciones	f_B	P_M	C_A	R_A
11	Sismos	f_M	P_M	C_A	R_A
12	Conflicto armado en el país	f_B	P_M	C_{MA}	R_A
13	Modificación de la instalación	f_{MB}	P_M	C_A	R_M
14	Robo de fuentes radiactivas	f_{MB}	P_B	C_A	R_M

15	Fuentes utilizadas para investigación puestas en un lugar no adecuado	f_{MB}	P_M	C_M	R_M
16	Fuentes utilizadas para la investigación no están resguardadas	f_{MB}	P_M	C_M	R_M
17	Intromisión de personal no autorizado en el Bunker	f_{MB}	P_{MB}	C_M	R_B
18	Falla en el sistema de enclavamiento del Bunker	f_{MB}	P_M	C_A	R_M
19	Fuente del banco de calibración está con los colimadores abiertos	f_{MB}	P_M	C_M	R_M
20	Personal ocupacionalmente expuesto está dentro del bunker cuando este comienza a irradiar	f_{MB}	P_B	C_M	R_M
21	Personal ocupacionalmente expuesto está bajando los colimadores cuando este comienza a irradiar	f_{MB}	P_B	C_M	R_M
22	Personal ocupacionalmente expuesto está posicionando el maniquí cuando este comienza a irradiar	f_{MB}	P_B	C_M	R_M
23	Falla del tubo del Rayos X portátil	f_B	P_M	C_M	R_M
24	Intromisión del personal no autorizado a la sala del rayos X portátil	f_{MB}	P_{MB}	C_M	R_B
25	Envejecimiento del tubo de Rayos X	f_{MB}	P_M	C_M	R_M
26	Robo del irradiador de mesa	f_{MB}	P_B	C_A	R_M

En esta matriz de riesgo f_{MB} , f_B , f_M y f_A significa frecuencia muy baja, frecuencia baja, frecuencia media y frecuencia alta respectivamente. P_A , P_M , P_B y P_{MB} , significan probabilidad alta, probabilidad media, probabilidad baja y probabilidad muy baja. C_{MA} , C_A , C_M y C_B significan consecuencia muy alta, consecuencia alta, consecuencia media y consecuencia baja.

El riesgo se denota con la letra R, y esta se clasifican en R_{MA} , riesgo muy alto, este riesgo es inaceptable y se tiene que detener la práctica que se realiza. R_A , riesgo alto, se requieren medidas inmediatas para reducir el riesgo. R_M , riesgo medio, tolerable. R_B , riesgo bajo, no se requieren acciones o medidas de seguridad adicionales.

Los resultados expuestos en la matriz de riesgo de frecuencia, probabilidad y consecuencia, se muestran más detalladamente en los **Anexos III.**

Para el cálculo del nivel de riesgo se hizo uso de la tabla I “Diferentes combinaciones de las variables f, P y C posibles junto con su riesgo R resultante”, que se encuentra en el marco teórico en el apartado 3 titulado “Matrices de Riesgo”. Esta tabla muestra los distintos resultados del riesgo en función de la probabilidad, frecuencia y consecuencia. Por cada frecuencia, probabilidad y consecuencia se muestra su nivel de riesgo correspondiente.

El siguiente gráfico, gráfico 1, presenta la distribución de riesgo en términos de porcentajes.

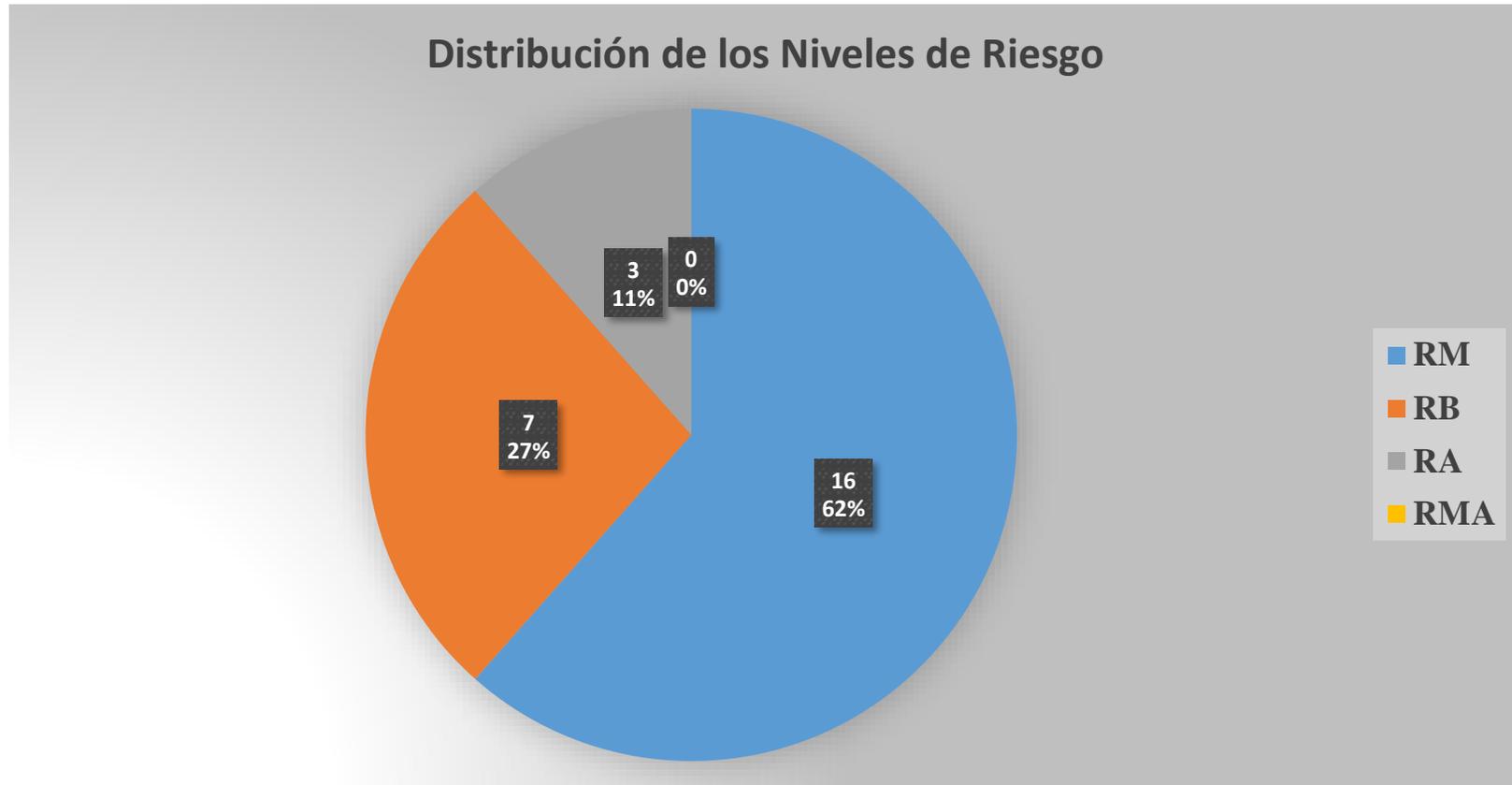


Gráfico 2. Distribución de los niveles de riesgos en porcentajes

En el gráfico de pastel se puede ver que el nivel de riesgo alto equivale solamente al 11%, lo cual es equivalente a 3 sucesos iniciadores. El otro 89% corresponde a los niveles de riesgo bajo (17%) y medio juntos (62%) juntos, estos riesgos son tolerables y los riesgos bajos

son despreciables, esto indica que la seguridad radiológica en el LAF-RAM es adecuada. Además, no hay riesgos muy altos, por lo cual no es necesario que se detengan actividades.

En los resultados de riesgo se puede visualizar que existen 3 sucesos iniciadores los cuales el riesgo es alto los cuales son, conflicto armado en el país, sismo e inundaciones. Estos 3 sucesos iniciadores la frecuencia no es algo que los trabajadores o la institución pueda manipular o reducir, lo mismo sucede con la consecuencia. Lo único que puede hacer la institución para poder disminuir el riesgo es disminuir la probabilidad de fallo de las barreras, para ello se necesita crear nuevas barreras para prevenir dichos sucesos iniciadores.

La creación de medidas de seguridad a seguir en caso de alguno de estos sucesos iniciadores podría ser una nueva barrera. Por lo cual se recomienda crear procedimientos en caso de emergencias.

Cómo el método de matrices de riesgo tiene un enfoque cualitativo no se puede hacer un cálculo exhaustivo de incertidumbre porque este método es a nivel descriptivo. Pero para obtener mejores resultados se recomienda revisar periódicamente la matriz de riesgo. Una característica de las matrices de riesgo es que las matrices de riesgo son flexibles y actualizables. Por lo cual, se recomienda que se gestione el análisis de la seguridad realizado, además que la gestión de análisis de la seguridad se haga con un colectivo de profesionales capacitados de esta forma se abarcarán más sucesos iniciadores y se podrá prevenir, controlar y mitigar riesgos radiológicos para el público, los trabajadores ocupacionalmente expuestos (TOE) y el medio ambiente.

Capítulo V

Conclusiones

Al hacer uso de los criterios, sobre cultura de seguridad, expuestos por el FORO en el año 2015 en el informe titulado “Cultura de la seguridad en las organizaciones, instalaciones y actividades con fuentes de radiaciones ionizantes”, se determinó el nivel de cultura de seguridad de LAF-RAM. El nivel de cultura de seguridad obtenido fue un nivel de progreso avanzado, este resultado demuestra que el LAF-RAM es un laboratorio en el cual la cultura de seguridad es muy importante tanto para la organización como para sus trabajadores.

Se identificaron cinco posibles escenarios de accidentes, en estos escenarios se midieron las dosis potenciales que los trabajadores ocupacionalmente expuestos (TOE) podrían recibir. La dosis más alta se encontró en el escenario número 5, siendo de $291\mu\text{Sv/año}$. Sin embargo, esta dosis es inferior al límite de dosis anual a la que un TOE tiene que estar expuesto, por lo tanto, la consecuencia no es muy grande. El nivel de riesgo de este escenario, se obtuvo mediante la construcción de la matriz de riesgo obteniendo un riesgo medio, esto significa que es un riesgo tolerable.

Haciendo uso de la metodología para la evaluación de la seguridad propuesta en la “guía de evaluación de seguridad de instalaciones y actividades asociadas a las fuentes generadoras de radiaciones ionizantes” de la Comisión nacional de energía atómica de Nicaragua (CONEA) publicada en el año 2017, se evaluaron los requisitos específicos de seguridad mediante sucesos iniciadores; los resultados alcanzados muestran que casi todos los sucesos iniciadores tienen asociado al menos una barrera de seguridad proporcionando una seguridad aceptable. Al construir la matriz de riesgo, se logró determinar el nivel de riesgo de cada suceso iniciador; de los 26 sucesos iniciadores el 89% están dentro de un rango aceptable o tolerable y solamente el 11% (equivalente a 3 sucesos iniciadores) están en un nivel alto. Al no obtener ningún riesgo muy alto, se puede continuar con las actividades que se realizan en el laboratorio.

Recomendaciones

1. Revisar los criterios de Evaluación de la cultura de la seguridad con el fin de poner en práctica lo que se menciona como una cultura de seguridad Excelente. Si el LAF-RAM cumple con todos estos requisitos de forma excelente entonces, la cultura de seguridad de la organización será excelente y un muy buen ejemplo para las demás organizaciones que trabajan con fuentes de radiaciones ionizantes en el país.
2. Con el fin de reducir el nivel de riesgo de los 3 sucesos iniciadores que tienen un nivel alto, se recomienda aumentar las barreras de seguridad. Para ello, se deben hacer una lista de procedimientos a seguir en caso de emergencia de alguno de estos sucesos iniciadores.
3. Hacer una gestión del análisis de la evaluación de seguridad, en esta gestión se puede actualizar la matriz de riesgo y, además, exponer las nuevas barreras y nuevos sucesos iniciadores que pudieran provocar un riesgo.
4. Asignar un colectivo dentro de los trabajadores del LAF-RAM que estén destinados a gestionar el análisis de la evaluación de seguridad. Estos trabajadores deben estar compuesto por algunos expertos de distintas áreas, de esta forma la gestión de la evaluación de la seguridad será más rigurosa.
5. Si en un futuro se desea un estudio más riguroso, se sugiere utilizar un método cuantitativo, como árboles de sucesos o árboles de fallos, en la obtención de los niveles de riesgo. A su vez, al ser un método cuantitativo se puede obtener una incertidumbre cuantitativa asociada.
6. Realizar una evaluación global de las situaciones de exposición. Para realizar este estudio se necesita previamente una evaluación de la seguridad radiológica. Este estudio tiene el fin de optimizar la protección radiológica en las exposiciones ocupacionales. Cómo hacer este estudio se presenta en “Optimización de la protección radiológica en el control de la exposición ocupacional” publicado por el Organismo Internacional de Energía Atómica (IAEA), la cual forma parte de su colección de informes de seguridad.

Referencias y bibliografía

- Alles Leal, A., Pérez Reyes, Y., & Duménigo González, C. (2014). Evaluación de la seguridad radiológica en la práctica de perfilaje de pozos utilizando matrices de riesgo. *Nucleus* No. 55, 24-28
- Balderas, R. (2008). *ANALISIS DE RIESGO DE INSTALACIONES RADIOLOGICAS*. México.
- Centro español de metrología. (2008). *Evaluación de datos de medición Guía para la expresión de la incertidumbre de medida*.
- Centro nacional de seguridad nuclear (CNSN). (2012). *Guía de evaluación de seguridad de prácticas y actividades asociadas al empleo de fuentes de radiaciones ionizantes*. Habana, Cuba.
- Comisión nacional de energía atómica (CONEA). (2017). *Guía de evaluación de seguridad de instalaciones y actividades asociadas a fuentes generadoras de radiaciones ionizantes*. Managua, Nicaragua.
- Consejo de seguridad nuclear (CSN). (2003). *Procedimiento para la evaluación de incertidumbres en la determinación de la radiactividad ambiental*.
- Díaz López, J. I. (2015). *Caracterización del laboratorio de calibración dosimétrico para su puesta en servicio para el área de porteción radiológica, en el laboratorio defísica de radiaciones y metrología (LAF-RAM) de la caultad de ciencias e ingenierías "UNAN-MANAGUA"*. Managua, Nicaragua.
- Fernández Pareja, M. T. (s.f.). Cálculo de incertidumbres para expresar la calidad de medida. Aplicación a la calibración de instrumentos de medida electromagnética de distancia. *Segundo congreso internacional de matemáticas en la ingeniería y arquitectura*, 231-243.
- Foro Iberoamericano de Organismos Reguladores Radiológicos y nucleares (FORO). (2015). *Cultura de Seguridad en las organizaciones, instalaciones y actividades con fuentes de radiaciones ionizantes*.
- Foro Iberoamericano de Organismos Reguladores Radiológicos y nucleares (FORO). (Junio 2016). *Aplicaciones del método de la matriz de riesgo en radiografía industrial*.
- Gadea, E. (9 de Marzo de 2006). *Estrucplan Consultora S.A. Argentina. Obtenido de <https://estrucplan.com.ar/producciones/contenido-tecnico/p-higieneindustrial/radiaciones-ionizantes-normas-de-proteccion-parte-1/>*
- González, A. (1994). Boletín del OIEA. *Seguridad radiológica: Nuevas normas internacionales*, 2-11.
- Organismo internacional de energía atómica (OIEA). (2004). *Optimización de la protección radiológica en el control de la exposición ocupacional*. Viena.

- Organismo internacional de energía atómica (OIEA). (2007). *Principios fundamentales de seguridad*. Viena.
- Organismo internacional de energía atómica (OIEA). (2011). *Proceso de concesión de licencias para establecimientos nucleares*. Viena: Organismo Internacional de Energía Atómica.
- Organismo internacional de energía atómica (OIEA). (2018). *Evaluación de la seguridad de las instalaciones y actividades*. Viena.
- Perez Hernandez, M. (2012). Estimación de incertidumbres. Guía GUM. *Revista española de metrología*, 113-130.
- Pérez Reyes, & Alfonso Pallarés. (2015). Implementación de la evaluación de seguridad en la práctica de radiografía industrial. *X congreso regional latinoamericano IRPA de Protección y Seguridad Radiológica*.
- Santisteban Salazar, N. C. (2018). Evaluación de la seguridad radiológica en un hospital de primer nivel de atención, Amazonas-2016. *Revista de investigación científica UNTRM: Ciencias de la salud*, 35-40.
- Saravia-Rivera, G. E. (2013). Protección y seguridad radiológica. *Anales de Radiología México*, 105-110.

Anexos

I. Criterios cualitativos y procedimiento semi-cuantitativo para determinar el nivel de cultura de seguridad.

En la siguiente tabla, tabla I, se muestran los criterios cualitativos utilizados para determinar el nivel de cultura de seguridad en el Laboratorio De Física De Radiaciones y Metrología (LAF-RAM). Estos criterios fueron tomados de (Foro Iberoamericano de Organismos Reguladores Radiológicos y nucleares (FORO), 2015, págs. 98-125).

Tabla I 1: Criterios e indicadores cualitativos de los elementos básicos de cultura de seguridad

Elemento básico 1: Prioridad de la seguridad

No.	Sub-elemento	Bajo	Progreso Incipiente	Progreso Avanzado	Excelencia
SE.1	Visibilidad de la prioridad de la seguridad en la documentación de la Organización.	No hay reconocimiento explícito de la prioridad por la seguridad o está reflejado ambiguamente en la documentación de la Organización. Poca o nula presencia de vallas, carteles, mensajes y anuncios al respecto.	La prioridad por la seguridad está incorporada solo en algunos documentos de máxima jerarquía* de la Organización. Presencia de algunas vallas, carteles, mensajes y/o anuncios al respecto. *Los evaluadores, de conjunto con la Organización definen los documentos que considera de máxima jerarquía.	La prioridad por la seguridad está incorporada en todos los documentos de máxima jerarquía de la Organización y en algunos de sus documentos y procedimientos internos de trabajo. Presencia de numerosas vallas, carteles, mensajes y anuncios al respecto.	La prioridad por la seguridad es un concepto incorporado en todos los documentos de máxima jerarquía y procedimientos y documentos internos de la Organización. Presencia de numerosos carteles, mensajes y anuncios, así como el uso de la informática y otros mecanismos internos (Web, correo electrónico, videos, etc.) con mensajes al respecto.

SE.2	Visibilidad de la prioridad en la actuación de la Organización.	Con frecuencia la seguridad se subordina a otros intereses de la Organización no relacionados con la seguridad.	La Organización busca asegurar la prioridad de la seguridad, pero aún no es muy evidente en todas las acciones de la Organización.	La seguridad es priorizada en la Organización, de forma evidente en la mayoría de las situaciones y acciones.	La seguridad es priorizada en todas las acciones y situaciones de la Organización, de forma evidente.
SE.3	Conflictos de prioridad con respecto a la seguridad.	No hay intención de manejo de conflictos.	El manejo de conflictos se realiza sin procedimientos ni entrenamiento de la Organización.	La Organización tiene políticas/procedimientos para el manejo de conflictos con la seguridad, pero aún resulta complejo aplicarlos.	La Organización reconoce la posibilidad de conflictos entre la seguridad y otros intereses, pero está entrenada para manejarlos siempre a favor de la seguridad.
SE.4	Detención de trabajos.	No hay políticas al respecto o ningún trabajador está autorizado a detener una tarea o actividad aunque sospeche que pueden existir problemas de seguridad, solo debe limitarse a comunicarlo a sus superiores.	La Organización promueve y apoya que sus trabajadores detengan, previa consulta, algunas tareas o actividades, cuando sospechen que pueden existir problemas de seguridad.	La Organización promueve y apoya que sus trabajadores detengan, previa consulta, cualquier tarea o actividad, cuando sospechen que pueden existir problemas de seguridad.	La Organización promueve y apoya que sus trabajadores detengan, sin consulta, cualquier actividad cuando sospechen que pueden existir problemas de seguridad.
SE.5	Carrera y promoción de directivos.	La formación/desempeño en seguridad no es un factor importante para puestos directivos, en ocasiones omitido.	La formación/desempeño en seguridad es considerada sólo en algunos puestos directivos.	La formación/desempeño en seguridad es considerada una condición en la mayoría de los puestos directivos claves de la Organización.	La formación/desempeño en seguridad es una condición para los puestos directivos.

SE.6	Oficial de Protección Radiológica (OPR).	La Organización no considera importante contar con un OPR bien calificado para ese puesto.	La Organización se apoya considerablemente en la asesoría del OPR por lo que asegura una buena calificación y le ofrece facilidades.	Los puestos de OPR son ocupados por personal bien calificado, aunque su reconocimiento como asesores debería ser mayor.	Los puestos de OPR son ocupados por personal bien calificado y gozan de un elevado reconocimiento como asesores en la Organización.
SE.7	Subordinación administrativa del OPR/Dependencia de Protección Radiológica.	El OPR o la Dependencia de Protección Radiológica comparten otras funciones en la Organización. No tienen líneas de subordinación relacionadas con la Alta Dirección.	El OPR o la Dependencia de Protección Radiológica se dedican fundamentalmente a su función. Su línea de subordinación a la Alta Dirección no es clara en el organigrama de la Organización.	El OPR o la Dependencia de Protección Radiológica se dedican fundamentalmente a su función. Su línea de subordinación a la Alta Dirección no es directa en el organigrama de la Organización.	El OPR o la Dependencia de Protección Radiológica tienen una importante función de asesoría, con subordinación directa a la Alta Dirección de la Organización.
SE.8	Seguridad en la contratación de servicios, empresas y personal técnicos.	La seguridad no es, por lo general, un criterio en los procesos de contratación de servicios, empresas y personal técnicos por parte de la Organización.	La seguridad ha sido incluida en los procedimientos de contratación de servicios, empresas y personal técnicos por parte de la Organización, aunque no siempre es cumplido.	La seguridad está incluida en los procedimientos de contratación de servicios, empresas y personal técnicos por parte de la Organización, que son respetados en la mayoría de los casos.	La competencia en seguridad es una condición para la contratación de empresas, servicios y personal técnicos por parte de la Organización. En el caso de las empresas y servicios, sus políticas de prioridad y su Cultura de Seguridad también son elementos considerados en los procesos de contratación.

SE.9	Gestión de la Seguridad	Pobre o nula gestión de la seguridad por un fuerte enfoque reactivo en el manejo de la seguridad. No hay un Sistema de Gestión de la Seguridad establecido en la Organización.	Prevalece aún el enfoque reactivo en el manejo de la seguridad, pero hay algunos elementos de gestión aunque no establecidos como sistema.	La seguridad se gestiona fundamentalmente a partir de un Sistema de Gestión de la Seguridad establecido, aunque se percibe cierto formalismo en algunos de sus elementos.	Existe un Sistema de Gestión de la Seguridad bien establecido y funcional, que complementa los enfoques proactivos de la Organización con respecto a la Seguridad.
SE.10	Seguridad física de fuentes integrada en la prioridad de la seguridad en la Organización.	Los aspectos de la seguridad física de fuentes son pobremente atendidos en la Organización.	Se aprecia cierta atención a los problemas de seguridad física, pero aún como responsabilidad de las agencias o servicios de seguridad solamente.	Hay mayor conciencia de la interrelación entre la protección y seguridad radiológica y la seguridad física de fuentes, pero hay conflictos y divisiones.	Hay una integración entre los aspectos de protección y seguridad radiológica y la seguridad física de fuentes como un enfoque único de seguridad contra los riesgos asociados a la radiación, y reciben igual atención prioritaria.

Elemento básico 2: Liderazgo y compromiso visible de la alta dirección con la seguridad

No.	Sub-elemento	Bajo	Progreso Incipiente	Progreso Avanzado	Excelencia
SE.1	Compromiso de la Alta Dirección con la seguridad.	Muy bajo compromiso.	Hay declaraciones de compromiso, aunque en la práctica no se demuestra.	Se reconoce y demuestra el compromiso en una medida considerable.	Se observa un compromiso genuino con la seguridad en las decisiones y acciones de la Alta Dirección.

SE.2	Liderazgo de los directivos en seguridad.	Los directivos no son líderes en seguridad, delegando esa responsabilidad. Consideran que la seguridad es un problema “de los de abajo”. No demuestran ninguno o solo alguno de los 6 rasgos distintivos de liderazgo en seguridad. No hay acciones previstas para desarrollar habilidades de liderazgo.	Solo algunos directivos demuestran varios de los rasgos distintivos de liderazgo en seguridad. Pocas acciones planificadas para desarrollar y adquirir habilidades de liderazgo.	La mayoría de los directivos muestran un número importante de los 6 rasgos distintivos de liderazgo en seguridad. Hay algunos planes de preparación y entrenamiento en técnicas de liderazgo.	Todos los directivos de la Organización son auténticos líderes de seguridad, mostrando los 6 rasgos de liderazgo en seguridad. El entrenamiento en técnicas de liderazgo es permanente en la preparación de los directivos.
SE.3	Visibilidad del liderazgo y del compromiso de la Alta Dirección con la seguridad.	Casi nulo.	El liderazgo y compromiso de los directivos se muestra en una parte importante de la toma de decisiones pero no hay otras evidencias.	El liderazgo y compromiso de los directivos se muestra en una parte importante de la toma de decisiones y algunos contactos directos con el personal de la Organización.	Los directivos de la Organización demuestran su liderazgo y compromiso con la seguridad de múltiples formas: en la toma de decisiones, los contactos directos con el personal, los recorridos frecuentes por las áreas de trabajo, la conducción de reuniones y actividades técnicas, el involucramiento activo, etc.

SE.4	Asignación de recursos para la seguridad.	Hay serios problemas de seguridad por falta de recursos, asignados solamente tras la ocurrencia de un problema o evento de seguridad.	Hay asignación de recursos para las actividades relacionadas con la seguridad, pero algunas tareas se realizan sin todos los medios o el personal requeridos.	Los recursos para la seguridad son relativamente altos en los presupuestos de la Organización y se garantizan. Son mínimas las actividades que se realizan sin todos los medios o el personal requeridos.	Los recursos para la seguridad se planifican, priorizan y garantizan dentro de la Organización, con una respuesta ágil a situaciones imprevistas. No se hace ningún trabajo si no están garantizados todos los medios y el personal requeridos.
SE.5	Evaluación del estado de la seguridad en las reuniones de la Alta Dirección de la Organización.	No hay sistematicidad, solo análisis puntuales tras algún problema o evento de seguridad ocurrido en la Organización.	El estado de la seguridad es analizado en las reuniones de la Alta Dirección de la Organización de acuerdo a un cronograma, pero la frecuencia de estos análisis aún es baja.	El estado de la seguridad en la Organización es tema frecuente en las reuniones de la Alta Dirección, con un enfoque proactivo donde se analizan errores y fallos recurrentes, se promueven debates del personal para identificar situaciones o condiciones propensas a error humano y apoyar su eliminación y se analizan posibles escenarios de fallo.	El estado de la seguridad es un tema permanente y proactivo en las reuniones de la Alta Dirección, que además se monitorea y evalúa diariamente.

SE.6	Visión del Factor Humano.	Los directivos conceden poca o nula importancia a este tema. Existen numerosas evidencias de situaciones propensas a errores humanos, debilidades de diseño y organizacionales y pocas defensas en este campo. Alta tasa de errores humanos en la Organización.	Los directivos reconocen la importancia del factor humano pero hay pocas acciones prácticas de implementación de la ingeniería de Factores Humanos en el diseño, puestos de trabajo y funcionamiento de la Organización; enfocando los esfuerzos fundamentalmente a la capacitación del personal.	Los directivos reconocen la importancia del factor humano con acciones prácticas y concretas de ingeniería de Factores Humanos para reducir las situaciones propensas a error humano.	Los directivos reconocen y basan su actuación en el reconocimiento del rol del factor humano en la seguridad. Se consideran criterios de ingeniería de Factores Humanos durante las etapas tempranas de la Organización y durante toda su vida operacional, basados en la mejora continua y el involucramiento del propio personal en ello, la contratación de expertos y la evaluación periódica de estos temas.
SE.7	Visión socio-técnica de los procesos de la Organización.	Poca visión e intención de los directivos en el manejo de factores organizacionales y la interacción ITO para mejorar la seguridad.	Los directivos reconocen la importancia de los factores organizacionales y la interacción ITO, pero hay pocas acciones prácticas.	Los directivos reconocen la importancia de los factores organizacionales y la interacción ITO. Hay algunas acciones prácticas pero aún con énfasis centrado, fundamentalmente, en los sistemas de gestión.	Los directivos reconocen que los factores organizacionales tales como: plantillas incompletas, sobrecarga, equipamiento inadecuado, interfaces Hombre-Máquina inadecuadas, etc. afectan la actuación humana. Reconocen que estos factores son más fáciles de manejar que los factores psicológicos como el olvido, la distracción y la atención. Actúan en correspondencia.

SE.8	Visión de la Cultura de Seguridad.	No hay comprensión del papel de la Cultura de Seguridad. No hay esfuerzos en este tema.	Los directivos comienzan a interesarse en la Cultura de Seguridad y en su fomento. Se organizan algunos esfuerzos o acciones en este tema.	Mayor conciencia en los directivos sobre el impacto de la Cultura de Seguridad en la seguridad de la Organización, con programas y esfuerzos concretos para su fomento y desarrollo.	Hay reconocimiento absoluto en los directivos sobre la conveniencia de mantener elevados niveles de Cultura de Seguridad y ello es considerado en la toma de decisiones, con un número importante de acciones y programas para su mejora continua.
SE.9	Liderazgo y compromiso de la Alta Dirección con la seguridad física de fuentes.	No hay compromiso evidente de los directivos con la seguridad física, existiendo problemas al respecto.	Hay cierta preocupación de los directivos con respecto a la seguridad física, reflejada en algunas decisiones y acciones en este campo y denotando cierto compromiso.	Mayor compromiso de los directivos con la seguridad física, reflejado en la implantación de un mejor sistema de medidas de seguridad física.	Integración total de la seguridad física en las acciones de liderazgo y compromiso de los directivos con la seguridad en la Organización.

Elemento básico 3: Identificación y solución oportuna de los problemas de seguridad

No.	Sub-elemento	Bajo	Progreso Incipiente	Progreso Avanzado	Excelencia
SE.1	<p>Mecanismos de identificación oportuna* de los problemas de seguridad.</p> <p>*Los evaluadores de conjunto con la Organización definen previamente qué considerará como OPORTUNO de acuerdo a regulaciones, gravedad, etc.</p>	<p>La identificación de los problemas de seguridad es casual o por su elevada repercusión. No hay políticas ni mecanismos para la identificación oportuna de esos problemas.</p>	<p>Hay intención y políticas en la Organización para lograr la detección oportuna, pero aún sin mucha efectividad.</p>	<p>La Organización tiene implementados mecanismos, políticas y recursos para la identificación oportuna de los problemas de seguridad, que funcionan relativamente bien.</p>	<p>La Organización cuenta con políticas, procedimientos y mecanismos que le permiten detectar, casi inmediatamente, cualquier problema de seguridad.</p>
SE.2	<p>Anticipación a los problemas de seguridad.</p>	<p>La Organización no se anticipa a los problemas de seguridad, reacciona a cada uno según ocurren.</p>	<p>La Organización se mantiene reactiva con respecto a los problemas de seguridad, aunque con cierta anticipación a los problemas potenciales o significativos.</p>	<p>La Organización es proactiva con respecto a los problemas de seguridad, buscando anticiparse y planificar, lo que logra en alto grado.</p>	<p>La Organización logra anticiparse a casi todos los problemas de seguridad y los maneja antes de que ocurran.</p>
SE.3	<p>Alerta y vigilancia en la Organización con respecto a la seguridad.</p>	<p>Bajo nivel de vigilancia y alerta organizacional e individual con respecto a la seguridad. La ausencia de eventos es considerada erróneamente un elevado nivel de seguridad.</p>	<p>La vigilancia y el alerta organizacional e individual con respecto a la seguridad son promovidas en la Organización, aunque poco desarrolladas aún, basadas en un bajo nivel de incidentes o sucesos radiológicos.</p>	<p>Alto nivel de vigilancia y alerta organizacional e individual con respecto a la seguridad, pero no generalizadas en la Organización.</p>	<p>La vigilancia organizacional e individual con respecto a la seguridad es una forma permanente de actuación en la Organización, independientemente del comportamiento positivo de los indicadores de seguridad.</p>

SE.4	Evaluación y solución oportuna de los problemas detectados.	Por lo general, solo se atienden oportunamente los problemas graves o de alta repercusión para la Organización.	La Organización se esfuerza por evaluar y atender los problemas de seguridad, lo más pronto posible, lo que no siempre se logra por factores organizativos, recursos, planificación, etc.	La Organización evalúa y atiende relativamente rápido la mayoría de los problemas de seguridad que identifica.	La Organización asegura una inmediatez en la evaluación y solución de los problemas según su importancia.
SE.5	Rasgos de Organización Altamente Fiable.	No hay presencia de ninguno de los rasgos de la Organización Altamente Fiable.	Presencia de algún rasgo de la Organización Altamente Fiable pero en estado incipiente.	Presencia de varios de los rasgos de la Organización Altamente Fiable, algunos con cierta madurez.	La Organización muestra todos o la mayoría de los rasgos de la Organización Altamente Fiable.
SE.6	Integración de la seguridad física en los mecanismos de identificación y solución oportuna de problemas de seguridad en la Organización.	Ausencia de mecanismos para la identificación y solución oportuna de problemas de la seguridad física de fuentes.	Los problemas de la seguridad física de fuentes son raramente considerados en los mecanismos para la identificación y solución oportuna de problemas de seguridad.	Con frecuencias, los problemas de la seguridad física de fuentes son identificados y resueltos por los mecanismos para la identificación y solución oportuna de problemas de seguridad.	Los mecanismo para la identificación y solución oportuna de problemas de seguridad integran los aspectos de la seguridad física de fuentes de forma efectiva.

Elemento Básico 4: ENFOQUE PERMANENTE EN LA SEGURIDAD

No.	Sub-elemento	Bajo	Progreso Incipiente	Progreso Avanzado	Excelencia
SE.1	Visión de la Organización sobre el carácter de la seguridad.	La seguridad es considerada una cuestión estática, dada por hecho gracias a la tecnología y al entrenamiento del personal con que cuenta la Organización.	Hay aún poca conciencia de que la seguridad es una cuestión dinámica.	Hay mayor claridad de que la seguridad es una cuestión dinámica. Esto se refleja en ciertas acciones y criterios dentro de la Organización.	La seguridad es considerada una cuestión dinámica, que debe alcanzarse cada día.
SE.2	Visión de la Organización sobre el logro de la seguridad.	La Organización considera que la seguridad depende esencialmente de cumplir con las normas y regulaciones establecidas por el Organismo Regulador u otras instancias externas (cultura de cumplimiento, “seguridad generada desde afuera”).	La Organización considera que la seguridad es más que cumplir con las normas y regulaciones externas y define objetivos y metas propios de seguridad, aun cuando no estén establecidos externamente. Hay poca conciencia del papel del comportamiento individual o institucional en la seguridad. Es dominante aún la cultura de cumplimiento con presencia solo de alguno de los elementos del enfoque de la “seguridad generada desde dentro de la Organización”.	La Organización considera que la seguridad es más que cumplir con las normas y regulaciones externas y define objetivos y metas propios de seguridad, aun cuando no estén establecidos externamente. Estos objetivos y metas se insertan en los Sistemas de Gestión de la Seguridad con una mayor conciencia del papel de la conducta y de los comportamientos en la seguridad. Hay numerosos elementos del enfoque de la “seguridad generada desde dentro de la Organización”.	La Organización tiene una alta comprensión del papel de los comportamientos y las actitudes en el logro de la seguridad por lo que su enfoque se basa en la búsqueda de la mejora continua, más allá del cumplimiento con las normas y regulaciones externas que se considera una cuestión básica pero insuficiente. Domina el enfoque de la “seguridad generada desde dentro de la Organización”.

SE.3	Consideración permanente de la seguridad.	La seguridad es tomada en cuenta, y de forma aislada, en ciertos procesos y decisiones de la Organización.	La Organización tiene establecido que se tomen en cuenta los aspectos de seguridad en todas sus actividades, pero falla en la práctica real	La Organización tiene establecido que se tomen en cuenta los aspectos de seguridad en todas sus actividades, y por lo general se logra en la práctica real.	La Organización demuestra que tanto su gestión administrativa (planes, presupuestos, contratos, etc.), tecnológica y de su personal toman en cuenta, en todo momento, los aspectos de seguridad.
SE.4	Gestión de cambios.	Bajo nivel de la gestión de cambios, con muy poca consideración del impacto sobre la seguridad.	Funciona la gestión de cambios, que considera el impacto sobre la seguridad pero limitado, fundamentalmente, a los cambios o modificaciones de la tecnología o de algún otro aspecto único.	Funciona la gestión de cambios, que considera el impacto sobre la seguridad, aunque no hay evidencias de que se aplique en todo tipo de cambio.	La Organización ha desarrollado una cultura de gestión de cambios, que garantiza la evaluación del impacto sobre la seguridad de cualquier modificación tecnológica, de proceso, organizativa(movimientos de personal, restructuración, crecimiento/reducción, ajustes, crisis, etc.).
SE.5	Contactos sobre Seguridad con las Partes Interesadas (Stakeholders).	Poco o nulo interés en ese tipo de contacto, o ausencia de mecanismos, para sostener intercambios regulares con las Partes Interesadas (Stakeholders) sobre el estado de la seguridad.	Se han establecido mecanismos o procedimientos en la Organización para promover intercambios regulares con las Partes Interesadas (Stakeholders) sobre el estado de la seguridad, pero en la práctica no se realizan o son muy poco frecuentes.	Se han establecido mecanismos o procedimientos en la Organización para promover intercambios regulares con las Partes Interesadas (Stakeholders) sobre el estado de la seguridad, pero aún con irregularidades en su realización.	La Organización ha establecido mecanismos o procedimientos para promover intercambios regulares con las Partes Interesadas (Stakeholders) sobre el estado de la seguridad y los mantiene de forma sistemática.

SE.6	Integración de la seguridad física de fuentes en el enfoque permanente en la seguridad dentro de la Organización.	Los aspectos de la seguridad física de fuentes raramente son atendidos de forma permanente en la Organización.	Los aspectos de la seguridad física de fuentes son tomados en cuenta con mayor frecuencia como parte del enfoque permanente en la seguridad que tiene la Organización.	Los aspectos de la seguridad física de fuentes son tomados en cuenta como parte del enfoque permanente en la seguridad que prevalece en la Organización, pero aún en menor grado que los aspectos de protección y seguridad radiológica.	Los aspectos de la seguridad física de fuentes son tomados en cuenta como parte del enfoque permanente en la seguridad dentro de la Organización, al mismo nivel e integradamente con los aspectos de protección y seguridad radiológica.
Elemento básico.5: responsabilidad, involucramiento y comportamiento individual con respecto a la seguridad					
	Sub-elemento	Bajo	Progreso Incipiente	Progreso Avanzado	Excelencia
SE.1	Visión individual sobre la responsabilidad por la seguridad.	La seguridad es considerada por los trabajadores como una responsabilidad de determinadas instancias de la Organización: directivos u Oficial de Protección Radiológica/Dependencia de Protección Radiológica.	Aunque todavía la seguridad es considerada por los trabajadores como una responsabilidad de determinadas instancias de la Organización, se observa un creciente énfasis en la responsabilidad individual de cada trabajador por su propia protección radiológica.	Cada trabajador se siente responsable por su propia protección radiológica y se aprecia además preocupación de la mayoría de los trabajadores por la protección radiológica de sus colegas.	Cada trabajador se siente responsable por su propia protección radiológica, preocupándose por la protección radiológica de sus colegas así como de otros individuos dentro y fuera de la Organización, incluyendo a pacientes, clientes, y otros.
SE.2	Base de los comportamientos individuales.	Los comportamientos individuales en la Organización están basados en una fuerte presión coercitiva y disciplinaria.	La Organización desarrolla algunas campañas, medios y condiciones para favorecer los comportamientos individuales que favorezcan la prioridad por la seguridad.	La Organización tiene políticas, procedimientos y condiciones que favorecen los comportamientos individuales que priorizan la seguridad a través de la actitud cuestionadora, el enfoque riguroso y prudente así como de la vigilancia y el alerta.	El personal, a todos los niveles de la Organización, ha desarrollado comportamientos que denotan una alta prioridad por la seguridad en la Organización como forma natural de actuar.

SE.3	Involucramiento en los asuntos de seguridad de la Organización.	Baja motivación por las actividades de la Organización sobre seguridad.	Interés creciente por participar e involucrarse en los asuntos de seguridad de la Organización.	Alta participación e involucramiento de los trabajadores en los asuntos de seguridad de la Organización.	Todos los trabajadores se sienten altamente motivados y comprometidos con apoyar y contribuir en cualquier asunto de seguridad de la Organización.
SE.4	Reconocimiento interno del personal por el involucramiento activo en los asuntos de seguridad.	No hay reconocimiento y se debe al bajo involucramiento del personal en los asuntos de seguridad.	El involucramiento en los temas de seguridad es visto por algunos como una forma de simpatizar con la Alta Dirección, lo que desalienta a quienes tratan de involucrarse.	El involucramiento activo en los asuntos de seguridad tiene buen reconocimiento entre el personal de la Organización.	Las personas son respetadas y valoradas por su contribución e involucramiento activo en los asuntos de seguridad.
SE.5	Sistemas de premiación.	Los sistemas de premiación y estimulación están poco enfocados a los aportes del personal a la seguridad en la Organización.	Los sistemas de premiación y estimulación han incorporado criterios referidos a los aportes del personal a la seguridad en la Organización.	Los sistemas de premiación y estimulación están ya muy enfocados en el aporte del personal a la seguridad en la Organización.	Los sistemas de premiación y estimulación priorizan la consideración del aporte del personal a la seguridad en la Organización.
SE.6	Tendencias de la premiación por seguridad.	-	Tendencia a premiar resultados (reconocimiento por desempeño) fundamentalmente asociados a solución de problemas y el cumplimiento de metas sin mucha valoración del impacto a largo plazo.	Tendencia a premiar por mejorar procesos y por resultados.	Tendencia a premiar comportamientos deseados (reconocimientos por comportamiento) que conducirán a desempeños mejores.

SE.7	Visión sobre el papel de la capacitación y el entrenamiento.	Se considera que el comportamiento individual con respecto a la seguridad depende únicamente de la capacitación y del entrenamiento técnico del personal.	Se considera que el comportamiento individual con respecto a la seguridad depende de la capacitación y del entrenamiento técnico del personal, además de otras habilidades mentales, aunque se hace poco para desarrollarlas.	Se considera que el comportamiento individual con respecto a la seguridad depende de la capacitación y del entrenamiento técnico del personal, además de otras habilidades mentales para actuar de forma proactiva, prudente y rigurosa que son desarrolladas mediante acciones específicas para ello.	Se considera que el comportamiento individual con respecto a la seguridad depende tanto de la capacitación y del entrenamiento técnico del personal como de otras habilidades mentales (alerta, rigor, prudencia, enfoque proactivo, etc.) que han sido desarrolladas considerablemente en el personal.
SE.8	Actitud cuestionadora y enfoque riguroso y prudente en el comportamiento individual de los trabajadores.	Pobre actitud cuestionadora y enfoque riguroso y prudente en el comportamiento de los trabajadores, caracterizado por frecuentes errores humanos.	Aún insuficiente actitud cuestionadora y enfoque riguroso y prudente en el comportamiento de los trabajadores, pero menor incidencia de los errores.	Mayor actitud cuestionadora y enfoque riguroso y prudente en el comportamiento de los trabajadores, aún con errores humanos frecuentes del tipo desliz o lapsus, pero reducción significativa de errores más serios.	La fuerte actitud cuestionadora y el enfoque prudente de los trabajadores se refleja en la reducción del número de errores humanos por desliz o lapsus y ausencia de otros errores más serios.
SE.9	Consideración de la seguridad física de fuentes como responsabilidad individual del personal e involucramiento del personal en su mejora.	El personal se mantiene distante de las cuestiones de seguridad física de fuentes.	El personal se involucra ocasionalmente en temas de seguridad física de fuentes por no considerarlo un asunto de su responsabilidad individual.	Hay mayor involucramiento y conciencia de responsabilidad individual por la seguridad física de fuentes en una parte importante del personal, reflejado en sus acciones y contribuciones.	El personal considera la seguridad física de fuentes y la protección y seguridad radiológica como un todo, por el cual se siente responsable y se interesa e involucra en su mejora.

Elemento básico 6: comunicación efectiva sobre seguridad

	Sub-elemento	Bajo	Progreso Incipiente	Progreso Avanzado	Excelencia
SE.1	Visión de la comunicación sobre seguridad.	No se considera justificado dedicar recursos y tiempo a la comunicación interna o solo se informa la ocurrencia de un suceso o incidente en la Organización o la adopción de alguna medida, generalmente de tipo coercitivo.	Hay interés en favorecer la comunicación interna pero, fundamentalmente, en forma de reuniones, aún con un enfoque muy reactivo.	La comunicación se considera importante en todas las variantes y formas en las áreas de la Organización.	La comunicación es considerada esencial para apoyar la conciencia sobre seguridad y la situación de la Organización en todo momento, así como para mantener informado al personal y estimular su involucramiento.
SE.2	Comunicaciones internas sobre seguridad.	Fundamentalmente de arriba hacia abajo, casi nula entre departamentos y áreas de la Organización.	La Alta Dirección alienta las comunicaciones interdepartamentales y en todas direcciones, pero aún no funcionan al nivel requerido.	Existe una buena comunicación entre los diferentes niveles de la Organización y sus departamentos.	Existe una elevada cultura de comunicación dentro de la Organización, con la utilización de variedad de métodos y formas, muy abiertas, transparentes y colaborativas.
SE.3	Mecanismos y canales de comunicación interna sobre seguridad más frecuentemente utilizados dentro de la Organización.	Solo informaciones desde niveles superiores de la Organización.	Fundamentalmente a través de las reuniones y de algún otro mecanismo.	Una gran variedad de canales de comunicación dentro de la Organización: personal (cara a cara), minutas, boletines, alertas, reuniones, etc., pero aún se requiere impulsar su uso.	Amplio y extensivo uso de diferentes mecanismos y canales de comunicación, sin necesidad de impulsar su uso por constituir una práctica habitual en la Organización.

SE.4	Interés del personal por la comunicación sobre seguridad.	Bajo.	Solo interés en determinados temas de la seguridad de la Organización.	Interés creciente en mantenerse informado e informar sobre seguridad en la Organización.	El personal considera como una forma necesaria y natural de trabajo de la Organización que le informen, mantenerse informado e informar sobre temas de seguridad en la Organización. Amplia participación del personal en el diseño y la preparación de algunos mecanismos y medios de comunicación.
SE.5	Comunicaciones al exterior de la Organización sobre asuntos de seguridad derivados de sus actividades.	Nulo.	Son escasos o existen sólo algunas políticas o documentos de la Organización para la información a pacientes, visitantes y organizaciones o sectores que deben estar informados sobre cuestiones de seguridad derivadas del trabajo de la Organización. Son todavía escasas las acciones prácticas al respecto.	Existen políticas o documentos de la Organización para la información a pacientes, visitantes y organizaciones o sectores que deben estar informados sobre cuestiones de seguridad derivadas del trabajo de la Organización. Mayor sistematicidad en las acciones prácticas.	Existe una cultura en la Organización respaldada por documentos y acciones prácticas sistemáticas de comunicación y actualización a pacientes, visitantes, clientes y organizaciones o sectores sobre cuestiones de seguridad derivadas del trabajo de la Organización.
SE.6	Integración de la seguridad física de fuentes en la cultura de comunicación de la Organización.	La seguridad física de fuentes no está considerada dentro de la cultura de comunicación de la Organización.	Algunos elementos de seguridad física de fuentes son insertados en las informaciones que fluyen dentro de la Organización como parte de su cultura de comunicación.	Mayor presencia de elementos de seguridad física de fuentes en las informaciones que fluyen dentro de la Organización como parte de su cultura de comunicación.	Los aspectos de la seguridad física de fuentes están integrados con igual importancia que los aspectos de la protección y seguridad radiológica dentro de las comunicaciones que forman parte de la cultura de comunicación de la Organización.

Elemento básico 7: reporte libre sobre seguridad

No.	Sub-elemento	Bajo	Progreso Incipiente	Progreso Avanzado	Excelencia
SE.1	Grado en que se estimula el reporte libre sobre problemas o preocupaciones relacionados con la seguridad en la Organización.	No se estimula este tipo de reporte, solo son mandatorios en la Organización aquellos que deben ser notificados a las Autoridades por Ley.	Se estimula este tipo de reporte, aunque los mecanismos no están bien implementados.	Se estimula este tipo de reporte, con variedad de mecanismos bien establecidos.	No es necesario estimular este tipo de reporte, ya que es una forma de actuar dentro de la Organización que ha alcanzado un alto nivel de su cultura de reportar.
SE.2	Valor conferido en la Organización al reporte por parte de los trabajadores.	No hay interés significativo.	Existe cierto interés aunque no se tiene claro siempre el propósito. Eventos revelados demuestran que se ocultan los problemas.	Se le confiere un alto interés como forma de mejorar.	La recogida y análisis de reportes se considera un hábito de la Organización, parte de su fiabilidad organizacional. No se oculta ningún problema al considerarse una oportunidad de aprendizaje, lo que será valorado por la Alta Dirección.

SE.3	Respaldo de la Alta Dirección al reporte por parte de los trabajadores.	-	No están suficientemente claros los mecanismos de respaldo de la Alta Dirección con respecto al reporte sobre cuestiones de seguridad para evitar intimidaciones o represalias.	El respaldo de la Alta Dirección con respecto al reporte sobre cuestiones de seguridad está presente en las regulaciones internas y reflejado en algunas de sus acciones, que aseguran la protección del personal ante posibles intimidaciones o represalias, pero la credibilidad entre el personal aún es insuficiente.	La Alta Dirección respalda el reporte sobre cuestiones de seguridad, tanto por acciones visibles como por regulaciones internas que tienen una alta credibilidad entre el personal.
SE.4	Mecanismos establecidos en la Organización para el reporte por parte de los trabajadores.	No existen. Solo formulario oficial de reporte sobre sucesos radiológicos.	Se ha implementado algún mecanismo interno en la Organización.	Se han implementado varios mecanismos internos en la Organización.	La Organización cuenta con una variedad de mecanismos basados en las mejores prácticas en este tema.
SE.5	Cantidad de reportes realizados por los trabajadores.	Solo reportes de sucesos radiológicos.	Cierta nivel de reporte, aún reservado.	Mayor nivel de reporte, pero no extensivo.	No se deja de reportar ningún evento, situación o condición relacionada con la seguridad. Se reconoce la importancia de los fallos menores o cuasi accidentes (near-misses). Masiva participación.

SE.6	Motivación del personal de la Organización por reportar sobre asuntos de seguridad.	-	Baja motivación aún, por diversas razones. El mecanismo de reporte es complicado, falla la retroalimentación o el uso de sus potencialidades. No es un aspecto considerado en las políticas de premiación y estimulación del personal. Cierta reserva por percepción de posibles represalias.	Motivación creciente. El mecanismo para reportar está bien estructurado en todos sus elementos, limitando su uso solo la percepción personal o ciertos temores que subsisten a pesar de las políticas y declaraciones de la Alta Dirección. Es un aspecto considerado en las políticas de premiación y estimulación del personal.	Alta motivación. El mecanismo para reportar está bien estructurado en todos sus elementos, es buena la retroalimentación y es altamente visible su utilidad. Es un aspecto considerado en las políticas de premiación y estimulación del personal.
SE.7	Visión del reporte por el resto del personal.	-	No es bien visto por algunos, cierto temor, descrédito.	Hay una visión más positiva, aunque no es general.	Reportar problemas de seguridad es altamente valorado y reconocido por el personal.
SE.8	Tipo de información reportada.	Solo sucesos radiológicos mandatorios.	Fundamentalmente fallos de equipos o de personas/organizaciones externas.	Mayor reporte de errores humanos y cuasi-accidentes propios.	Todo tipo de evento, situación o condición relacionada con la seguridad, propio del que reporta, interno de la Organización o derivado de factores externos a la Organización.
SE.9	Mecanismos preferentes de reporte libre.	-	Funcionan mejor los mecanismos anónimos.	Funcionan en igual grado los mecanismos anónimos y públicos (no anónimos).	Los mecanismos públicos (no anónimos) son mayormente utilizados con un uso bajo o nulo de los mecanismos anónimos o confidenciales.

SE.10	Integración de los aspectos relacionados con la seguridad física de fuentes dentro de la cultura de reportar de la Organización.	Ausencia de reportes sobre cuestiones de seguridad física de fuentes al no existir una cultura o interés en este tema.	Solo en raras ocasiones se realizan reportes sobre cuestiones de seguridad física de fuentes debido a una pobre conciencia sobre el tema.	Se realizan reportes sobre cuestiones de seguridad física de fuentes pero aún se necesita una mayor comprensión de su importancia y la necesidad de involucrarse.	El personal confiere igual importancia a reportar cuestiones de seguridad física como de protección y seguridad radiológica, dada la responsabilidad y el interés que siente por ambos temas.
Elemento básico.8: tratamiento justo de los comportamientos individuales sobre seguridad					
No.	Sub-elemento	Bajo	Progreso Incipiente	Progreso Avanzado	Excelencia
SE.1	Visión de los errores en la Organización.	Los errores son vistos como actos irresponsables de los trabajadores, que deben ser castigados.	Los errores son vistos, fundamentalmente, como fallos de entrenamiento y la respuesta por lo tanto se orienta fundamentalmente a acciones de capacitación. Hay cierta inmunidad.	Los errores son vistos como oportunidades de aprendizaje, siendo intolerables las violaciones de lo establecido.	Los errores, incluyendo las violaciones de lo establecido, son vistos en términos de fallos de las defensas organizacionales y como oportunidades de aprendizaje y mejoras, siendo sancionable solo los comportamientos inaceptables.
SE.2	Enfoque de la Alta Dirección hacia los incidentes o sucesos radiológicos o de seguridad física de fuentes.	Identificar culpables.	Identificar las causas directas y otros posibles fallos subyacentes.	Identificar causas directas y raíces en mayor profundidad, para mejorar la prevención en la Organización.	Identificar las causas raíces a través de los fallos de las defensas o barreras del sistema y la Organización, para mejorarlas.

SE.3	Manejo de comportamientos individuales.	La actuación sobre los comportamientos de los trabajadores en la Organización está orientada exclusivamente a aplicar medidas disciplinarias a los actos inseguros e incumplimientos. No hay diferenciación entre comportamientos aceptables y no aceptables. Toda acción errónea es inaceptable.	Hay poco entrenamiento de los directivos en el manejo y tratamiento de comportamientos seguros y no seguros de los trabajadores. No hay diferenciación entre comportamientos aceptables y no aceptables, aunque la Organización analiza cada error o acción en busca de alternativas que no sólo sean disciplinarias. No obstante prevalece aún el enfoque disciplinario.	Hay mayor dominio y entrenamiento de los directivos en la identificación y tratamiento de los comportamientos seguros y no seguros de los trabajadores, pero no se aplican de forma habitual. Sin embargo se percibe que la Organización tiende a no culpabilizar, excepto las violaciones de lo establecido.	Los directivos están fuertemente entrenados en la identificación de comportamientos seguros y no seguros del personal y su tratamiento correspondiente, lo que es una práctica habitual de los estilos de dirección. Hay una clara definición en la Organización sobre lo que constituye un comportamiento inaceptable, establecida y comunicada con antelación y compartida por todo el personal. Hay políticas de manejo de las violaciones de lo establecido.
SE.4	Políticas disciplinarias de la Organización.	Son consideradas esenciales para la prevención de accidentes.	Aunque comienzan a no ser la base de la respuesta a los actos inseguros, errores y violaciones de lo establecido tienen todavía un peso importante en la Organización.	No son la base de la respuesta a los errores, solo para violaciones de lo establecido.	No son la base de la filosofía de la Organización en el tratamiento de los errores y las violaciones de lo establecido, sino que se reservan para aplicar racionalmente según la motivación que generó el error o la violación (por ej. asumir riesgos innecesarios deliberadamente) y no por el tipo de acción, sea un error o una violación en sí mismos.

SE.5	Evidencias de enfoque centrado en la búsqueda culpables.	En toda investigación de problemas de seguridad, incidentes o accidentes ocurridos en la Organización, siempre se busca culpables.	Domina aún el enfoque centrado en la búsqueda de culpables, pero hay esfuerzos por establecer políticas y procedimientos para el tratamiento justode comportamientos individuales.	Domina el enfoque centrado en la búsqueda de fallos de las barreras organizacionales y otras causas raíces de los problemas de seguridad, incidentes o accidentes que ocurren en la Organización, pero hay evidencias de sanciones a personal, responsable directo de lo sucedido, sin tratamiento del tipo de comportamiento (aceptable o no).	La Organización ha desarrollado una habilidad para investigar los problemas de seguridad, incidentes y accidentes que ocurren centrándose en los fallos de barreras/controles de la Organización, sancionando solo los comportamientos evidentemente inaceptables de acuerdo a lo establecido internamente.
-------------	---	--	--	---	---

Elemento básico 9: aprendizaje organizacional continuo

No.	Sub-elemento	Bajo	Progreso Incipiente	Progreso Avanzado	Excelencia
SE.1	Análisis de sucesos radiológicos o de seguridad física	Nulo.	Hay cierto análisis aunque limitado a factores más superficiales cercanos a la causa directa.	Los análisis son más profundos en cuanto a factores y causas subyacentes, acercándose a las causas raíces, que no siempre se logra (no hay sistematicidad).	Análisis profundo y amplio de cada suceso enfocado a las causas de los fallos de las barreras asociadas a factores del sistema, la Organización y su cultura.

SE.2	Investigación de sucesos radiológicos o de seguridad física (¿qué pasó?).	Se limita a la búsqueda de los datos necesarios para determinar las causas. Una vez identificados los culpables se cierra la investigación. El proceso de investigación es llevado a cabo por el OPR o Dependencia de Seguridad.	Se busca que la investigación de estos sucesos permita el análisis posterior para extraer las lecciones a aprender, pero ello no está bien estructurado en los procedimientos de investigación y el personal no está entrenado. El proceso de investigación es llevado a cabo por el OPR o Dependencia de Seguridad.	Buenos procedimientos para garantizar que la investigación de estos sucesos favorezca el análisis posterior y extraer las lecciones a aprender. El personal está entrenado. El proceso de investigación es llevado a cabo por el OPR o Dependencia de Seguridad, con involucramiento ocasional de algún otro trabajador o directivo.	Los procedimientos de investigación de estos sucesos incluyen la preservación y recogida de datos relevantes para un análisis posterior del evento y extraer las lecciones a aprender. El personal está entrenado en la investigación de sucesos con esta perspectiva. Hay involucramiento directo de directivos en la investigación, liderando la misma.
SE.3	Participación de la Alta Dirección.	Solo se interesa en conocer las causas directas del suceso, con énfasis en los culpables.	La Alta Dirección no se involucra directamente en el análisis de los sucesos de seguridad que ocurren encomendándolo al OPR, requiriendo una información detallada de lo ocurrido.	La Alta Dirección participa en un número importante de análisis de los sucesos de seguridad que ocurren, liderando algunos.	El análisis de todos los sucesos de seguridad es liderado por un miembro de la Alta Dirección.
SE.4	Aprendizaje a partir de lo sucedido a otros.	No se busca ni se toma en cuenta lo sucedido a otros. Por lo general, la Organización adopta una posición defensiva cuando es criticada.	La Organización tiene la voluntad de aprender de grupos externos, especialmente nuevas técnicas y mejores prácticas, pero no está bien estructurado el proceso de aprendizaje.	La Organización tiene mecanismos para aprender de otros, aunque falla en la sistematicidad.	La Organización ha desarrollado una cultura por aprender que se refleja en los mecanismos que ha establecido y las acciones que realiza para buscar y aprender de cualquier experiencia propia, nacional o internacional, incluidas las buenas prácticas.

SE.5	Análisis de causa raíz para determinar causas subyacentes de tipo sistémica u organizacional.	Nulo. No se hacen, ni hay interés en el análisis de causas más profundas de los problemas o sucesos ocurridos o reportados, que puedan apuntar a factores organizacionales que vinculan a la Alta Dirección.	El análisis de las causas raíces se reserva sólo para casos de accidentes de amplia repercusión.	El análisis de las causas raíces se limita sólo a incidentes o accidentes.	El análisis de las causas raíces se aplica a todo incidente, accidente, cuasi-accidente y cualquier situación o problema que se reporte relacionado con la seguridad. La Organización le confiere una alta importancia a extraer las lecciones de cada situación para mejorar internamente su seguridad.
SE.6	Análisis organizacional proactivo.	No se realiza este tipo de análisis.	Hay elementos de análisis organizacional proactivo, en cierto grado.	Se comprende que las causas de un futuro suceso pueden estar ya presentes (incubándose) en la Organización y es necesario identificarlas y resolverlas, pero no hay suficiente habilidad.	La Organización ha desarrollado la habilidad de anticiparse a los eventos, a través de este tipo de análisis, apoyado en una cultura de reportar, que permite notificar tempranamente cualquier anomalía o sospecha.
SE.7	Implementación de las lecciones aprendidas de los sucesos que ocurren.	-	El aprendizaje se limita a conocer lo ocurrido con baja o nula adopción de medidas y modificaciones internas, por lo general, reparaciones locales y menores, debido a la poca flexibilidad de la Organización.	El aprendizaje incluye modificaciones internas, cuando procede, aunque no siempre se concluye su implementación por falta de flexibilidad de la Organización.	Las lecciones aprendidas del análisis de cada evento son implementadas en profundidad, a través de modificaciones globales del sistema o de la Organización, cuando corresponde. La Organización es altamente flexible.

SE.8	Efectividad de las mejoras por lecciones aprendidas.	-	Considerable re-ocurrencia de problemas de seguridad e incidentes.	Reducción significativa de la re-ocurrencia de problemas de seguridad e incidentes, demostrando la efectividad de las mejoras introducidas.	La Organización no experimenta re-ocurrencia de problemas de seguridad e incidentes debido a un buen análisis de las causas raíces y la implementación de las medidas requeridas. La organización cuenta con un procedimiento para el manejo de eventos repetitivo, en caso de suceder.
SE.9	Compartir experiencias con otras Organizaciones.	Nulo.	Baja frecuencia.	Frecuencia relativamente alta.	La Organización comparte activamente sus lecciones aprendidas con otras Organizaciones y Partes Interesadas (Stakeholders) pertinentes de forma transparente, a través del intercambio de experiencias y la comparación con sus pares en materia de seguridad como vía de aprendizaje y mejoramiento en este campo.
SE.10	Retroalimentación.	Nulo.	Está previsto en los procedimientos pero no se evidencia sistematicidad.	Hay una alta retroalimentación y disseminación en la Organización de los resultados del análisis de problemas de seguridad, incidentes y accidentes y de las lecciones aprendidas.	Los resultados de todos los análisis y de las lecciones aprendidas son disseminados dentro de la Organización de forma extensiva.

SE.11	Reclamos externos (clientes, pacientes, familiares, etc.).	Frecuentes reclamos externos a la Organización debido a impactos negativos de su funcionamiento. No hay retroalimentación a los reclamantes.	Se aprecia reducción del número de reclamos externos a la Organización debido a impactos negativos de su funcionamiento. Hay algunos mecanismos informales de respuesta a los reclamantes, pero aún de forma irregular.	Reducción considerable del número de reclamos externos a la Organización debido a impactos negativos de su funcionamiento. Hay políticas y procedimientos para retroalimentar al reclamante.	La Organización ha reducido prácticamente a cero el número de reclamos externos a la Organización debido a impactos negativos de su funcionamiento, con políticas de retroalimentación a los reclamantes que funcionan con la celeridad necesaria.
SE.12	Reconocimiento organizacional de errores.	La Organización está poco preparada para reconocer errores y aceptar críticas, y no ha previsto destinar recursos para compensar por los daños que provoque, si correspondiera.	La Organización reconoce la importancia de reconocer sus errores, con baja preparación y recursos destinados a compensar por los daños que provoque, si correspondiera.	La Organización reconoce la importancia de reconocer sus errores, con preparación y recursos destinados a compensar por los daños que provoque, si correspondiera.	La Organización tiene la voluntad y los recursos para reconocer sus errores, compensar por los daños que provoque, si correspondiera, disculparse y tomar el compromiso de evitar su repetición.
SE.13	Nivel de aprendizaje continuo sobre seguridad física de fuentes.	Nulo.	Algunas acciones de aprendizaje incluyen aspectos de la seguridad física de fuentes.	Alta consideración de los aspectos de la seguridad física de fuentes en las acciones de aprendizaje de la Organización.	La Organización ha desarrollado una cultura por aprender y se presta igual atención a la información y oportunidades para ello tanto en protección y seguridad radiológica como en seguridad física de fuentes.

Elemento básico 10: Ambiente de confianza y colaboración en seguridad

No.	Sub-elemento	Bajo	Progreso Incipiente	Progreso Avanzado	Excelencia
SE.1	Colaboración.	Pobre o nula colaboración en la Organización.	La colaboración y toma de decisiones compartidas está limitada.	Mayor trabajo en equipo.	Alta colaboración entre departamentos, áreas y personal dentro de la Organización. Ausencia de “groupthink”.

SE.2	Premiación.	Los elementos de trabajo en equipo no están considerados en los sistemas de premiación.	Los sistemas de premiación todavía se centran en el reconocimiento a los logros individuales.	Los sistemas de premiación incorporan elementos que estimulan la capacidad y los resultados para el trabajo en equipo, aunque aún prevalece el reconocimiento individual.	Los sistemas de premiación tienen un fuerte componente enfocado al trabajo colectivo, superior o igual al desempeño individual.
SE.3	Confianza.	Desconfianza generalizada.	La Organización busca crear entornos de confianza en la Organización, pero aún es incipiente.	El ambiente en la Organización promueve la confianza aunque aún no es generalizada.	Hay un ambiente general de confianza permanente en la Organización, que se refleja en la libertad de reportar, el tratamiento justo de los errores, el trabajo en equipo y las buenas relaciones con la Alta Dirección.
SE.4	Rol de la Alta Dirección.	Autoritario. Su rol es hacer cumplir las normas y regulaciones de seguridad.	Asegurar que se alcancen las metas y normas de seguridad, que el personal tenga claros los objetivos y se involucre en su propia protección.	Liderar al personal de la Organización en el logro de las metas y normas, que garanticen altos niveles de seguridad dentro de la Organización.	Aglutinar al personal para mejorar el desempeño colectivo y el involucramiento con respecto a la seguridad dentro y fuera de la Organización.
SE.5	Relación Alta Dirección-trabajadores.	Adversaria.	Todavía adversaria, aunque pueden haber mayores oportunidades para discutir objetivos o metas comunes.	Relación más cooperativa, de apoyo.	Relación de apoyo mutuo.
SE.6	Sentido de pertenencia y apego del personal a la Organización.	Nula.	Se aprecia una mayor preocupación del personal por la Organización, pero hay inestabilidad en el personal.	Se aprecia una mayor estabilidad y compromiso del personal con la Organización.	La Organización ha logrado una elevada estabilidad de su personal por el alto sentido de pertenencia y de apego a la misma.

SE.7	Seguridad como estilo de vida fuera del entorno laboral.	No hay políticas de la Organización para promover que la seguridad sea un estilo de vida del personal, aun fuera del entorno laboral.	Hay interés en este aspecto pero pocas acciones prácticas de la Organización.	Hay algunas acciones de la Organización para promover la seguridad como estilo de vida del personal.	La Organización ha implementado programas y acciones para desarrollar una cultura de seguridad en su personal como estilo de vida y ello se aprecia en la baja tasa de accidentes y lesiones fuera del entorno laboral.
SE.8	Habilidades mentales (no-técnicas) del personal (anticiparse a errores, ensayar recuperaciones, mantenerse alerta, conciencia de situación).	No se comprende su importancia.	El énfasis de la Alta Dirección se mantiene en las habilidades técnicas del personal, buscando desarrollar habilidades mentales pero solo por campañas o consignas.	Hay mayor comprensión de la Alta Dirección sobre la importancia de las habilidades mentales del personal, pero hay todavía desarrollo insuficiente.	La Alta Dirección estimula al personal a adquirir habilidades mentales además de las técnicas, logrando importantes avances en este campo.
SE.9	Colaboración del personal de la Organización a favor de la seguridad física de fuentes.	Escasa o nula colaboración.	Hay cierta colaboración con el personal encargado de la seguridad física*, pero poca colaboración entre el propio personal de la Organización en estos temas *cuando son organizaciones independientes, atendiendo a la práctica de cada Organización o país.	Mayor colaboración con el personal encargado de la seguridad física y entre el propio personal de la Organización. Comienza a tenerse en cuenta en las evaluaciones de grupos y áreas de la Organización su colaboración y apoyo a las medidas del sistema de seguridad física.	Total colaboración con el personal encargado de la seguridad física y entre todo el personal, con el mismo interés y espíritu de colaboración que en los asuntos de protección y seguridad radiológica. La colaboración y el ambiente a favor de la seguridad física en la Organización están incorporados en los sistemas de evaluación de grupos y áreas de trabajo de la Organización así como en los sistemas de premiación.

Para determinar el nivel general de cultura de seguridad, primero se debe determinar el nivel de cada elemento básico de la cultura de seguridad. El método semi-cuantitativo para poder determinar dicho nivel se muestra en la siguiente figura. El cual se realiza a partir del número de elementos básicos en cada nivel de la cultura de seguridad.



Imagen I: Método semi-cuantitativo para determinar el nivel general de cultura de seguridad. Fuente: Foro, 2015 pág. 126

I.1. Resultados de las encuestas

La encuesta se realizó a 4 trabajadores ocupacionalmente expuesto del LAF-RAM, los resultados obtenidos por cada encuesta fueron los que se muestran la tabla I.1. Estos resultados fueron obtenidos mediante las respuestas de la encuesta y los criterios expuesto en el apartado anterior.

Tabla I.1: Resultados de las encuestas					
Resultados de la encuesta 1					
Elemento básico	Bajo	Progreso incipiente	Progreso avanzado	Excelencia	Nivel General
Prioridad de la seguridad	0	0	3	7	Excelencia
Liderazgo y compromiso visibles de la alta dirección con la seguridad	0	0	4	5	Progreso Avanzado
Identificación y solución oportuna de los problemas de seguridad	0	1	2	3	Progreso Avanzado
Enfoque permanente en la seguridad	0	1	1	4	Progreso Avanzado
Responsabilidad, involucramiento y comportamiento individual con respecto a la seguridad	0	0	3	6	Excelencia
Comunicación efectiva sobre seguridad	0	1	0	5	Progreso Avanzado
Reporte libre sobre seguridad	0	0	6	4	Progreso Avanzado

Tratamiento justo de los comportamientos individuales sobre seguridad	1	1	2	1	Progreso incipiente
Aprendizaje organizacional continuo sobre seguridad	0	0	5	8	Excelencia
Ambiente de confianza y colaboración en seguridad	0	0	2	7	Excelencia
Resultado de la encuesta 2					
Elemento básico	Bajo	Progreso incipiente	Progreso avanzado	Excelencia	Nivel General
Prioridad de la seguridad	0	2	3	5	Progreso Avanzado
Liderazgo y compromiso visibles de la alta dirección con la seguridad	0	0	6	3	Progreso Avanzado
Identificación y solución oportuna de los problemas de seguridad	0	3	1	3	Progreso Avanzado
Enfoque permanente en la seguridad	0	2	3	1	Progreso Avanzado
Responsabilidad, involucramiento y comportamiento individual con respecto a la seguridad	0	0	3	6	Excelencia
Comunicación efectiva sobre seguridad	0	1	0	5	Progreso Avanzado
Reporte libre sobre seguridad	0	6	2	2	Progreso Incipiente
Tratamiento justo de los comportamientos individuales sobre seguridad	0	1	1	3	Progreso Avanzado

Aprendizaje organizacional continuo sobre seguridad	0	5	4	4	Progreso Incipiente
Ambiente de confianza y colaboración en seguridad	0	3	4	2	Progreso Avanzado
Resultados de la encuesta 3					
Elemento básico	Bajo	Progreso incipiente	Progreso avanzado	Excelencia	Nivel General
Prioridad de la seguridad	0	2	2	6	Progreso Avanzado
Liderazgo y compromiso visibles de la alta dirección con la seguridad	0	0	6	3	Progreso Avanzado
Identificación y solución oportuna de los problemas de seguridad	0	4	1	1	Progreso Incipiente
Enfoque permanente en la seguridad	0	2	3	1	Progreso Avanzado
Responsabilidad, involucramiento y comportamiento individual con respecto a la seguridad	0	3	0	6	Progreso Avanzado
Comunicación efectiva sobre seguridad	0	0	0	6	Excelencia
Reporte libre sobre seguridad	0	0	6	4	Progreso Avanzado
Tratamiento justo de los comportamientos individuales sobre seguridad	0	0	0	5	Excelencia
Aprendizaje organizacional continuo sobre seguridad	0	6	2	5	Progreso Avanzado

Ambiente de confianza y colaboración en seguridad	0	4	4	1	Progreso Avanzado
Resultados de la encuesta 4					
Elemento básico	Bajo	Progreso incipiente	Progreso avanzado	Excelencia	Nivel General
Prioridad de la seguridad	0	2	2	6	Progreso Avanzado
Liderazgo y compromiso visibles de la alta dirección con la seguridad	0	0	6	3	Progreso Avanzado
Identificación y solución oportuna de los problemas de seguridad	0	6	0	0	Progreso incipiente
Enfoque permanente en la seguridad	0	2	3	1	Progreso Avanzado
Responsabilidad, involucramiento y comportamiento individual con respecto a la seguridad	0	0	1	8	Excelencia
Comunicación efectiva sobre seguridad	0	4	0	2	Progreso Avanzado
Reporte libre sobre seguridad	0	2	2	6	Progreso Avanzado
Tratamiento justo de los comportamientos individuales sobre seguridad	0	1	1	3	Progreso Avanzado
Aprendizaje organizacional continuo sobre seguridad	0	3	6	4	Progreso Avanzado
Ambiente de confianza y colaboración en seguridad	0	2	5	2	Progreso Avanzado

A los resultados de la encuesta se le aplicaron los criterios de cultura de seguridad para poder determina el nivel de la cultura de seguridad del LAF-RAM. Los resultados alcanzados son los mostrados en la tabla I.2.

Tabla I.2: Nivel de la cultura de la seguridad					
Número de encuesta	Bajo	Progreso incipiente	Progreso avanzado	Excelencia	Nivel Total
Encuesta 1	0	1	5	4	Progreso Avanzado
Encuesta 2	0	2	7	1	Progreso Avanzado
Encuesta 3	0	1	7	2	Progreso Avanzado
Encuesta 4	0	1	8	1	Progreso Avanzado

Por medio de los resultados de la encuesta se pueden observar que el nivel de cultura de seguridad del LAF-RAM es el de un progreso avanzado, debido a que todas las encuestas muestran ese mismo resultado.

II. Estimaciones de dosis

a. Banco de calibración dosimétrico (LCD)

- Estimación de las dosis esperadas en condiciones normales

Con el fin de obtener la dosis que se espera en condiciones normales de explotación se ha realizado monitoreos semanales por los meses de enero hasta el mes de junio 2019. Se midió equivalente de tasa de dosis ambiental “ $H^*(10)$ ”, los datos medidos están organizados en orden ascendente por fecha de realización. Las medidas obtenidas se registran en la siguiente tabla, tabla II.AI.

Tabla II.AI 1: Datos del monitoreo semanal del LCD desde enero hasta junio del 2019							
Enero							
Fecha: 2019-01-04							
Fondo [$\mu\text{Sv/h}$]	F1 [$\mu\text{Sv/h}$]	F2 [$\mu\text{Sv/h}$]	F3 [$\mu\text{Sv/h}$]	F4 [$\mu\text{Sv/h}$]	sc1 [$\mu\text{Sv/h}$]	sc2 [$\mu\text{Sv/h}$]	sc3 [$\mu\text{Sv/h}$]
0,077	2,170	5,630	5,650	5,600	0,161	0,214	0,280
0,084	2,220	5,880	5,540	5,720	0,140	0,301	0,307
0,097	2,370	6,100	5,740	5,890	0,104	0,288	0,256
0,074	2,470	6,030	6,030	5,770	0,125	0,242	0,280
0,056	2,550	5,900	2,230	5,920	0,145	0,217	0,306
0,045	2,490	5,670	6,530	6,310	0,153	0,230	0,327
0,054	2,630	5,920	6,540	6,250	0,150	0,276	0,309
0,044	2,680	6,000	6,280	5,940	0,131	0,282	0,291
0,063	2,750	5,810	6,230	5,880	0,105	0,274	0,303

0,079	2,640	6,140	6,570	6,070	0,118	0,314	0,294
PROMEDIO							
0,067	2,497	5,908	5,734	5,935	0,133		

Fecha: 2019-01-11

Fondo [μSv/h]	F1[μSv/h]	F2[μSv/h]	F3[μSv/h]	F4[μSv/h]	sc1[μSv/h]	sc2[μSv/h]	sc3[μSv/h]
0,074	2,100	5,180	6,06	4,120	0,256	0,234	0,327
0,073	2,220	5,240	6,24	4,490	0,240	0,293	0,292
0,085	2,370	5,200	6,26	4,820	0,212	0,261	0,277
0,098	2,290	5,090	6,54	4,920	0,192	0,249	0,263
0,093	2,340	4,870	6,35	3,240	0,199	0,224	0,250
0,072	2,340	4,900	6,23	3,450	0,260	0,221	0,275
0,079	2,310	4,870	5,99	3,680	0,263	0,212	0,246
0,072	2,260	4,820	6,28	4,000	0,247	0,205	0,235
0,065	2,160	4,920	6,31	4,250	0,218	0,288	0,240
0,087	2,100	4,810	6,52	4,640	0,202	0,310	0,300
PROMEDIO							
0,087	2,1	4,81	6,52	4,64	0,202	0,31	0,3

Fecha: 2019-01-18

Fondo [μSv/h]	F1[μSv/h]	F2[μSv/h]	F3[μSv/h]	F4[μSv/h]	sc1[μSv/h]	sc2[μSv/h]	sc3[μSv/h]
0,051	2,050	5,180	6,590	6,020	0,132	0,254	0,301
0,059	2,240	5,250	6,550	5,980	0,135	0,289	0,335
0,061	2,080	5,430	6,470	6,060	0,117	0,361	0,351
0,061	1,870	5,370	6,490	6,190	0,144	0,307	0,330
0,057	1,840	5,750	6,440	6,390	0,125	0,291	0,364
0,071	1,770	5,910	6,240	6,510	0,137	0,257	0,381
0,059	1,880	6,020	6,040	6,540	0,127	0,246	0,375

0,043	2,120	6,040	6,140	6,300	0,120	0,238	0,490
0,034	2,030	5,920	6,290	6,190	0,122	0,247	0,345
0,038	2,090	5,860	6,190	6,100	0,126	0,254	0,341
PROMEDIO							
0,0534	1,997	5,673	6,344	6,228	0,1285	0,2744	0,3613

Fecha: 2019-01-23

Fondo [μSv/h]	F1[μSv/h]	F2[μSv/h]	F3[μSv/h]	F4[μSv/h]	sc1[μSv/h]	sc2[μSv/h]	sc3[μSv/h]	pe1[μSv/h]	pe2[μSv/h]	pe3[μSv/h]
0,091	2,030	5,740	5,640	6,230	0,181	0,253	0,307	0,864	0,262	0,211
0,098	2,350	5,810	5,450	6,380	0,193	0,243	0,274	0,848	0,265	0,242
0,087	2,620	5,700	5,410	6,300	0,199	0,232	0,295	0,821	0,249	0,246
0,092	2,720	5,870	5,720	6,360	0,192	0,205	0,297	0,852	0,252	0,268
0,078	3,190	5,960	5,850	6,080	0,180	0,215	0,374	0,837	0,237	0,252
0,065	2,170	5,820	5,830	6,020	0,158	0,224	0,350	0,787	0,241	0,237
0,072	2,370	5,030	5,840	5,930	0,146	0,216	0,370	0,745	0,226	0,222
0,096	2,380	5,200	5,720	5,900	0,143	0,209	0,393	0,705	0,230	0,209
0,092	2,290	5,180	5,700	5,810	0,124	0,220	0,400	0,649	0,350	0,196
0,099	2,280	5,210	5,940	5,790	0,143	0,252	0,373	0,635	0,294	0,250
PROMEDIO										
0,087	2,440	5,552	5,710	6,080	0,166	0,227	0,343	0,774	0,261	0,233

Febrero

Fecha: 2019-02-01

Fondo [μSv/h]	F1[μSv/h]	F2[μSv/h]	F3[μSv/h]	F4[μSv/h]	sc1[μSv/h]	sc2[μSv/h]	sc3[μSv/h]
0,087	2,670	5,760	6,080	6,580	0,139	0,296	0,301
0,091	2,520	5,730	6,210	6,470	0,148	0,285	0,246
0,103	2,500	5,900	6,130	6,510	0,136	0,275	0,233
0,095	2,510	5,710	6,020	6,540	0,109	0,262	0,218

0,091	2,540	5,780	5,880	6,470	0,101	0,238	0,240
0,084	2,560	5,800	6,050	6,610	0,114	0,231	0,315
0,067	2,560	5,850	6,080	6,590	0,127	0,214	0,297
0,059	2,490	5,900	5,920	6,380	0,119	0,305	0,266
0,061	2,440	5,990	6,100	6,370	0,131	0,271	0,273
0,072	2,310	5,780	6,180	6,290	0,137	0,263	0,311
PROMEDIO							
0,081	2,510	5,820	6,065	6,481	0,126	0,264	0,270
Fecha: 2019-02-08							
Fondo [μSv/h]	F1[μSv/h]	F2[μSv/h]	F3[μSv/h]	F4[μSv/h]	sc1[μSv/h]	sc2[μSv/h]	sc3[μSv/h]
0,107	2,140	5,070	6,14	6,270	0,186	0,188	0,275
0,102	2,190	4,980	6,22	6,380	0,181	0,201	0,278
0,087	2,260	4,960	6,33	6,380	0,176	0,228	0,281
0,073	2,240	5,150	6,31	6,300	0,172	0,235	0,285
0,071	2,350	5,180	6,09	6,260	0,161	0,239	0,274
0,102	2,570	5,260	5,96	6,380	0,150	0,224	0,279
0,112	2,340	5,200	5,86	6,390	0,148	0,255	0,282
0,114	2,260	5,170	5,89	6,290	0,138	0,295	0,270
0,116	2,060	5,230	5,98	6,240	0,145	0,279	0,274
0,107	1,920	5,220	6,02	6,310	0,139	0,262	0,177
PROMEDIO							
0,099	2,23	5,14	6,08	6,32	0,160	0,241	0,268
Fecha: 2019-02-14							
Fondo [μSv/h]	F1[μSv/h]	F2[μSv/h]	F3[μSv/h]	F4[μSv/h]	sc1[μSv/h]	sc2[μSv/h]	sc3[μSv/h]
0,089	2,170	6,050	6,480	6,610	0,149	0,249	0,370
0,092	2,070	6,130	6,310	6,560	0,175	0,211	0,343

0,085	2,150	6,100	6,170	6,610	0,176	0,221	0,386
0,118	2,040	6,150	6,420	6,470	0,180	0,219	0,396
0,101	1,950	6,090	6,410	6,430	0,193	0,225	0,385
0,104	1,940	6,080	6,260	6,370	0,158	0,246	0,421
0,117	1,820	5,840	6,040	6,480	0,128	0,223	0,401
0,108	2,020	6,010	5,960	6,200	0,146	0,236	0,376
0,092	2,070	6,090	5,680	6,350	0,171	0,218	0,446
0,094	2,130	6,060	5,460	6,490	0,168	0,225	0,402
PROMEDIO							
0,100	2,04	6,06	6,12	6,46	0,164	0,227	0,393

Fecha: 2019-02-21

Fondo [μSv/h]	F1[μSv/h]	F2[μSv/h]	F3[μSv/h]	F4[μSv/h]	sc1[μSv/h]	sc2[μSv/h]	sc3[μSv/h]	pe1[μSv/h]	pe2[μSv/h]	pe3[μSv/h]
0,109	2,580	5,180	5,080	5,210	0,198	0,209	0,383	0,314	0,110	0,156
0,084	2,490	4,950	5,350	5,290	0,174	0,251	0,356	0,350	0,123	0,154
0,088	2,390	4,810	5,370	5,310	0,196	0,243	0,314	0,330	0,098	0,125
0,104	2,530	4,990	5,510	5,120	0,195	0,259	0,279	0,347	0,112	0,175
0,116	2,760	4,970	5,660	5,020	0,139	0,243	0,287	0,379	0,152	0,121
0,093	3,000	5,040	5,740	5,070	0,157	0,218	0,291	0,358	0,140	0,131
0,084	2,950	4,950	5,690	4,960	0,136	0,235	0,348	0,355	0,139	0,159
0,070	2,790	5,030	5,630	4,710	0,145	0,238	0,326	0,315	0,139	0,183
0,095	2,560	4,930	5,730	4,630	0,127	0,274	0,324	0,371	0,120	0,177
0,110	2,590	4,050	5,750	4,750	0,128	0,281	0,289	0,365	0,150	0,184
PROMEDIO										
0,095	2,664	4,890	5,551	5,007	0,160	0,245	0,320	0,348	0,128	0,157

Marzo

Fecha: 2019-03-01

Fondo [$\mu\text{Sv/h}$]	F1[$\mu\text{Sv/h}$]	F2[$\mu\text{Sv/h}$]	F3[$\mu\text{Sv/h}$]	F4[$\mu\text{Sv/h}$]	sc1[$\mu\text{Sv/h}$]	sc2[$\mu\text{Sv/h}$]	sc3[$\mu\text{Sv/h}$]
0,070	2,330	5,710	5,030	6,090	0,202	0,260	0,294
0,076	2,340	6,610	5,080	5,880	0,239	0,244	0,301
0,085	2,380	6,490	5,100	5,930	0,213	0,236	0,253
0,072	2,430	6,330	5,250	5,800	0,192	0,222	0,244
0,060	2,330	6,360	5,200	5,880	0,179	0,213	0,256
0,067	2,300	6,080	5,150	5,720	0,157	0,219	0,234
0,061	2,240	5,890	5,030	5,410	0,145	0,232	0,245
0,050	2,280	5,610	4,970	4,990	0,126	0,222	0,253
0,077	2,200	5,600	4,960	4,440	0,135	0,212	0,235
0,071	2,240	5,550	4,990	4,600	0,154	0,223	0,220
PROMEDIO							
0,069	2,307	6,023	5,076	5,474	0,174	0,228	0,254
Fecha: 2019-03-08							
Fondo [$\mu\text{Sv/h}$]	F1[$\mu\text{Sv/h}$]	F2[$\mu\text{Sv/h}$]	F3[$\mu\text{Sv/h}$]	F4[$\mu\text{Sv/h}$]	sc1[$\mu\text{Sv/h}$]	sc2[$\mu\text{Sv/h}$]	sc3[$\mu\text{Sv/h}$]
0,094	2,540	4,990	5,77	4,290	0,285	0,220	0,371
0,096	2,480	5,050	5,42	4,310	0,222	0,260	0,382
0,118	2,400	5,320	5,63	4,290	0,214	0,267	0,391
0,111	2,240	5,280	5,73	4,380	0,247	0,272	0,380
0,114	2,230	5,150	5,64	4,480	0,238	0,312	0,359
0,108	2,240	5,110	5,78	4,680	0,210	0,296	0,361
0,094	2,230	5,050	5,65	4,550	0,203	0,330	0,336
0,098	2,190	4,910	5,57	4,430	0,258	0,292	0,321
0,112	2,240	4,850	5,38	4,850	0,243	0,297	0,359
0,097	2,360	4,810	5,64	4,720	0,228	0,307	0,335
PROMEDIO							

0,104	2,32	5,05	5,62	4,50	0,235	0,285	0,360
Fecha: 2019-03-13							
Fondo [μSv/h]	F1[μSv/h]	F2[μSv/h]	F3[μSv/h]	F4[μSv/h]	sc1[μSv/h]	sc2[μSv/h]	sc3[μSv/h]
0,081	3,180	5,720	5,170	4,480	0,130	0,265	0,340
0,068	2,960	5,600	5,100	4,600	0,141	0,256	0,318
0,063	2,950	5,520	5,240	4,970	0,131	0,246	0,323
0,089	3,030	5,540	5,170	5,010	0,132	0,262	0,390
0,086	2,940	5,380	5,090	5,270	0,123	0,251	0,327
0,092	2,890	5,470	4,900	5,230	0,141	0,261	0,273
0,096	2,840	5,540	4,870	5,270	0,122	0,255	0,280
0,085	3,100	5,420	4,750	5,190	0,129	0,262	0,232
0,084	3,110	5,180	4,730	5,120	0,137	0,269	0,249
0,064	3,150	5,100	4,780	5,130	0,128	0,255	0,330
PROMEDIO							
0,081	3,02	5,45	4,98	5,03	0,131	0,258	0,306

Fecha: 2019-03-20										
Fondo [μSv/h]	F1[μSv/h]	F2[μSv/h]	F3[μSv/h]	F4[μSv/h]	sc1[μSv/h]	sc2[μSv/h]	sc3[μSv/h]	pe1[μSv/h]	pe2[μSv/h]	pe3[μSv/h]
0,096	2,070	4,740	3,580	4,780	0,145	0,313	0,252	1,396	0,178	0,076
0,071	2,180	4,670	3,610	4,650	0,136	0,328	0,226	1,362	0,179	0,064
0,054	2,390	4,680	3,970	4,460	0,172	0,330	0,249	1,494	0,181	0,052
0,075	2,580	4,760	3,870	4,430	0,159	0,275	0,224	1,488	0,177	0,062
0,057	2,700	4,810	4,060	4,600	0,166	0,266	0,252	1,485	0,165	0,093
0,047	2,500	4,950	4,300	4,710	0,145	0,275	0,255	1,459	0,173	0,086
0,050	2,430	5,060	4,350	4,620	0,155	0,278	0,260	1,476	0,151	0,127
0,075	2,490	5,200	4,240	4,820	0,144	0,217	0,230	1,466	0,132	0,118
0,067	2,410	5,260	4,270	4,920	0,135	0,360	0,216	1,923	0,130	0,109

0,064	2,500	5,250	4,070	4,830	0,146	0,338	0,225	1,857	0,128	0,129
PROMEDIO										
0,066	2,425	4,938	4,032	4,682	0,150	0,298	0,239	1,541	0,159	0,092

Abril

Fecha: 2019-03-29

Fondo [μSv/h]	F1[μSv/h]	F2[μSv/h]	F3[μSv/h]	F4[μSv/h]	sc1[μSv/h]	sc2[μSv/h]	sc3[μSv/h]
0,085	3,780	3,030	4,710	2,200	0,121	0,254	0,279
0,083	3,950	3,050	4,760	2,380	0,141	0,265	0,265
0,089	3,990	2,910	5,180	2,470	0,132	0,269	0,252
0,088	3,850	2,870	5,160	2,410	0,131	0,293	0,248
0,081	3,910	3,110	5,250	2,270	0,132	0,294	0,236
0,051	3,940	3,020	5,160	2,390	0,150	0,296	0,226
0,060	4,070	2,090	5,320	2,660	0,149	0,282	0,251
0,078	3,870	2,150	4,990	2,530	0,120	0,340	0,268
0,065	3,750	2,550	5,040	2,370	0,158	0,302	0,292
0,066	4,040	2,480	4,780	2,430	0,138	0,305	0,332
PROMEDIO							
0,075	3,915	2,726	5,035	2,411	0,137	0,290	0,265

Fecha: 2019-04-05

Fondo [μSv/h]	F1[μSv/h]	F2[μSv/h]	F3[μSv/h]	F4[μSv/h]	sc1[μSv/h]	sc2[μSv/h]	sc3[μSv/h]
0,017	3,840	1,686	1,616	1,331	0,186	0,243	0,409
0,013	3,910	1,741	1,571	1,336	0,195	0,291	0,397
0,043	9,980	1,745	1,395	1,214	0,185	0,294	0,353
0,020	3,820	1,659	1,369	1,269	0,158	0,297	0,313
0,089	3,670	1,897	1,295	1,177	0,156	0,283	0,384
0,078	3,630	1,942	1,218	1,130	0,165	0,295	0,372

0,022	3,670	1,949	1,087	1,108	0,191	0,305	0,333
0,064	3,690	1,942	1,086	1,067	0,185	0,306	0,367
0,075	3,700	1,870	1,018	1,090	0,162	0,272	0,353
0,030	3,680	1,921	1,905	1,104	0,148	0,255	0,383
PROMEDIO							
0,045	4,36	1,84	1,36	1,18	0,173	0,284	0,366

Fecha: 2019-04-12

Fondo [μSv/h]	F1[μSv/h]	F2[μSv/h]	F3[μSv/h]	F4[μSv/h]	sc1[μSv/h]	sc2[μSv/h]	sc3[μSv/h]
0,067	1,970	5,000	4,440	4,450	0,195	0,304	0,300
0,073	1,740	5,010	4,210	4,240	0,196	0,288	0,310
0,080	1,670	4,980	4,300	4,080	0,184	0,244	0,313
0,073	1,690	4,880	4,410	4,010	0,174	0,269	0,333
0,085	1,940	4,840	4,610	4,240	0,209	0,242	0,334
0,078	2,070	4,850	4,650	3,980	0,189	0,249	0,330
0,084	2,140	4,820	4,690	3,960	0,174	0,273	0,335
0,089	2,200	4,840	4,630	4,200	0,187	0,276	0,334
0,085	2,260	4,880	4,560	4,190	0,186	0,298	0,351
0,083	2,150	4,920	4,600	4,270	0,181	0,266	0,312
PROMEDIO							
0,080	1,98	4,90	4,51	4,16	0,188	0,271	0,325

Fecha: 2019-04-26

Fondo [μSv/h]	F1[μSv/h]	F2[μSv/h]	F3[μSv/h]	F4[μSv/h]	sc1[μSv/h]	sc2[μSv/h]	sc3[μSv/h]	pe1[μSv/h]	pe2[μSv/h]	pe3[μSv/h]
0,098	3,360	5,440	2,510	3,980	0,250	0,288	0,316	2,140	0,125	0,153
0,093	3,430	5,410	2,610	4,070	0,235	0,351	0,297	2,080	0,117	0,169
0,085	4,810	5,390	2,700	4,980	0,220	0,347	0,317	1,849	0,127	0,158
0,072	3,970	5,400	2,830	4,190	0,207	0,401	0,299	1,753	0,155	0,147

0,065	4,150	5,430	2,720	4,340	0,194	0,397	0,216	1,703	0,144	0,137
0,091	4,120	5,340	2,850	4,530	0,200	0,497	0,336	1,671	0,134	0,146
0,139	4,110	5,210	2,930	5,030	0,280	0,420	0,348	1,622	0,125	0,136
0,134	4,150	5,050	2,930	4,930	0,282	0,396	0,363	1,549	0,116	0,127
0,131	4,250	4,910	2,830	5,010	0,302	0,411	0,371	1,488	0,126	0,118
0,113	4,400	4,820	2,260	4,920	0,303	0,406	0,366	1,463	0,117	0,109
PROMEDIO										
0,102	4,075	5,240	2,717	4,598	0,247	0,391	0,323	1,732	0,129	0,140
Mayo										
Fecha: 2019-05-03										
Fondo [μSv/h]	F1[μSv/h]	F2[μSv/h]	F3[μSv/h]	F4[μSv/h]	sc1[μSv/h]	sc2[μSv/h]	sc3[μSv/h]			
0,092	3,070	4,320	4,430	4,670	0,187	0,320	0,356			
0,085	3,110	4,150	4,340	5,230	0,172	0,303	0,334			
0,090	3,200	4,050	4,250	5,640	0,185	0,318	0,351			
0,113	2,030	4,000	4,450	5,740	0,173	0,391	0,348			
0,108	2,050	4,330	4,560	5,790	0,188	0,384	0,327			
0,092	2,300	4,360	4,620	5,730	0,176	0,362	0,325			
0,085	2,340	4,460	4,640	5,670	0,173	0,339	0,306			
0,071	2,630	4,350	4,780	5,700	0,162	0,357	0,303			
0,084	2,840	4,450	4,640	5,990	0,158	0,305	0,306			
0,091	2,830	4,500	4,600	5,890	0,148	0,352	0,307			
PROMEDIO										
0,091	2,640	4,297	4,531	5,605	0,172	0,343	0,326			
Fecha: 2019-05-09										
Fondo [μSv/h]	F1[μSv/h]	F2[μSv/h]	F3[μSv/h]	F4[μSv/h]	sc1[μSv/h]	sc2[μSv/h]	sc3[μSv/h]			
0,086	3,970	3,830	3,780	4,520	0,136	0,307	0,388			

0,099	3,790	3,650	3,700	4,930	0,153	0,378	0,397
0,110	3,760	3,790	3,920	5,360	0,150	0,350	0,384
0,097	3,190	3,830	3,900	5,560	0,167	0,353	0,350
0,083	3,270	3,810	3,840	5,830	0,193	0,350	0,330
0,113	3,070	3,630	3,730	5,670	0,169	0,310	0,333
0,115	2,840	3,730	3,790	5,550	0,165	0,276	0,349
0,116	2,870	3,630	3,860	5,510	0,154	0,247	0,365
0,119	2,980	3,710	3,840	5,650	0,134	0,250	0,373
0,111	2,870	3,750	3,810	5,500	0,155	0,258	0,368
PROMEDIO							
0,105	3,26	3,74	3,82	5,41	0,158	0,308	0,364

Fecha: 2019-05-16

Fondo [μSv/h]	F1[μSv/h]	F2[μSv/h]	F3[μSv/h]	F4[μSv/h]	sc1[μSv/h]	sc2[μSv/h]	sc3[μSv/h]
0,097	2,590	4,310	4,440	4,810	0,140	0,256	0,320
0,086	2,640	4,280	4,480	4,870	0,131	0,240	0,321
0,097	2,570	4,330	4,360	4,640	0,132	0,239	0,339
0,090	2,660	4,490	4,490	4,710	0,136	0,220	0,320
0,083	2,650	4,400	4,350	4,690	0,127	0,267	0,301
0,071	2,500	4,510	4,380	4,820	0,151	0,242	0,305
0,097	2,450	4,650	4,290	4,750	0,156	0,238	0,291
0,090	2,430	4,560	4,460	4,950	0,149	0,287	0,336
0,083	2,400	4,480	4,410	5,130	0,139	0,292	0,317
0,099	2,490	4,570	4,490	5,100	0,130	0,277	0,317
PROMEDIO							
0,089	2,54	4,46	4,42	4,85	0,139	0,256	0,317

Fecha: 2019-05-24

Fondo [$\mu\text{Sv/h}$]	F1 [$\mu\text{Sv/h}$]	F2 [$\mu\text{Sv/h}$]	F3 [$\mu\text{Sv/h}$]	F4 [$\mu\text{Sv/h}$]	sc1 [$\mu\text{Sv/h}$]	sc2 [$\mu\text{Sv/h}$]	sc3 [$\mu\text{Sv/h}$]	pe1 [$\mu\text{Sv/h}$]	pe2 [$\mu\text{Sv/h}$]	pe3 [$\mu\text{Sv/h}$]
0,043	3,890	3,780	3,050	5,660	0,128	0,327	0,378	1,678	0,150	0,163
0,047	3,990	3,860	3,090	5,570	0,127	0,326	0,401	1,517	0,140	0,171
0,056	3,850	4,010	3,060	5,400	0,128	0,346	0,446	1,475	0,154	0,149
0,057	3,780	4,130	3,070	5,430	0,125	0,356	0,404	1,471	0,171	0,120
0,049	3,880	4,150	3,080	5,490	0,135	0,369	0,421	1,467	0,166	0,139
0,060	3,870	3,980	3,120	5,330	0,127	0,363	0,393	1,410	0,145	0,132
0,068	3,770	3,900	3,180	5,390	0,136	0,358	0,384	1,466	0,143	0,151
0,062	3,610	4,050	3,040	5,410	0,127	0,373	0,445	1,345	0,159	0,131
0,075	3,750	3,990	3,210	5,580	0,137	0,349	0,442	1,302	0,162	0,105
0,078	3,940	4,070	3,060	5,670	0,127	0,347	0,443	1,360	0,141	0,110
PROMEDIO										
0,060	3,833	3,992	3,096	5,493	0,130	0,351	0,416	1,449	0,153	0,137

Junio

Fecha: 2019-05-31

Fondo [$\mu\text{Sv/h}$]	F1 [$\mu\text{Sv/h}$]	F2 [$\mu\text{Sv/h}$]	F3 [$\mu\text{Sv/h}$]	F4 [$\mu\text{Sv/h}$]	sc1 [$\mu\text{Sv/h}$]	sc2 [$\mu\text{Sv/h}$]	sc3 [$\mu\text{Sv/h}$]
0,088	2,420	4,060	3,710	5,300	0,168	0,233	0,326
0,096	2,330	3,990	3,610	5,380	0,146	0,223	0,319
0,088	2,310	4,030	3,550	5,250	0,164	0,269	0,337
0,110	2,400	4,050	3,620	5,290	0,178	0,277	0,319
0,107	2,340	4,080	3,540	5,320	0,185	0,246	0,322
0,099	2,370	4,100	3,600	5,260	0,173	0,292	0,333
0,085	2,480	4,150	3,560	5,390	0,162	0,294	0,315
0,078	2,490	4,180	3,590	5,380	0,169	0,277	0,299
0,110	2,420	4,080	3,520	5,350	0,177	0,245	0,310
0,097	2,360	4,180	3,550	5,390	0,165	0,271	0,312

PROMEDIO							
0,096	2,392	4,090	3,585	5,331	0,169	0,263	0,319
Fecha: 2019-06-07							
Fondo [μSv/h]	F1[μSv/h]	F2[μSv/h]	F3[μSv/h]	F4[μSv/h]	sc1[μSv/h]	sc2[μSv/h]	sc3[μSv/h]
0,037	2,910	4,920	3,830	4,860	2,020	3,480	3,200
0,042	2,930	4,830	4,060	4,960	1,770	3,450	3,010
0,065	2,910	4,660	4,080	5,260	1,660	3,440	2,670
0,049	2,990	4,560	4,710	5,300	1,700	2,700	2,670
0,040	2,820	4,480	4,660	5,570	1,690	2,800	3,140
0,073	2,740	4,060	4,550	5,470	1,570	2,840	3,510
0,082	2,650	4,220	4,580	5,720	1,630	2,870	3,480
0,074	2,650	4,090	4,490	5,740	1,610	2,640	3,280
0,085	2,660	4,120	4,620	5,900	1,570	2,600	3,260
0,084	2,640	4,110	4,560	5,810	1,660	2,770	3,410
PROMEDIO							
0,063	2,79	4,41	4,41	5,46	1,688	2,959	3,163
Fecha: 2019-06-14							
Fondo [μSv/h]	F1[μSv/h]	F2[μSv/h]	F3[μSv/h]	F4[μSv/h]	sc1[μSv/h]	sc2[μSv/h]	sc3[μSv/h]
0,094	2,960	3,990	3,510	5,570	0,174	0,361	0,505
0,110	2,920	3,910	3,380	5,770	0,163	0,337	0,522
0,104	2,050	3,840	3,640	5,940	0,151	0,333	0,964
0,107	1,940	3,820	3,580	6,020	0,148	0,332	1,350
0,085	2,220	3,790	3,790	5,990	0,157	0,312	1,300
0,072	2,480	3,890	4,100	5,820	0,184	0,333	1,190
0,084	2,440	3,860	4,180	5,430	0,179	0,362	1,110
0,071	2,490	3,920	4,140	5,380	0,175	0,361	0,878

0,086	2,410	3,780	4,200	5,330	0,152	0,327	0,799
0,094	2,410	3,800	4,110	5,400	0,168	0,343	0,573
PROMEDIO							
0,091	2,43	3,86	3,86	5,67	0,165	0,340	0,919

Fecha: 2019-06-21

Fondo [$\mu\text{Sv/h}$]	F1[$\mu\text{Sv/h}$]	F2[$\mu\text{Sv/h}$]	F3[$\mu\text{Sv/h}$]	F4[$\mu\text{Sv/h}$]	sc1[$\mu\text{Sv/h}$]	sc2[$\mu\text{Sv/h}$]	sc3[$\mu\text{Sv/h}$]	pe1[$\mu\text{Sv/h}$]	pe2[$\mu\text{Sv/h}$]	pe3[$\mu\text{Sv/h}$]
0,051	2,860	4,540	5,450	5,110	0,182	0,319	0,356	1,880	0,163	0,146
0,036	2,710	4,340	5,410	4,990	0,171	0,324	0,352	1,780	0,159	0,155
0,068	2,770	4,460	5,750	5,020	0,174	0,306	0,351	1,640	0,148	0,152
0,063	2,800	4,510	4,890	5,080	0,183	0,308	0,366	1,540	0,138	0,132
0,084	2,730	4,480	4,910	5,140	0,172	0,327	0,374	1,430	0,139	0,123
0,078	2,760	4,530	4,970	5,190	0,186	0,377	0,387	1,210	0,139	0,114
0,087	2,710	4,430	5,240	5,140	0,193	0,368	0,410	1,130	0,148	0,117
0,080	2,760	4,320	5,260	5,120	0,186	0,359	0,381	1,080	0,165	0,118
0,091	2,820	4,250	5,300	5,170	0,175	0,372	0,393	1,940	0,179	0,122
0,077	2,740	4,120	5,420	5,080	0,171	0,329	0,398	1,880	0,146	0,161
PROMEDIO										
0,072	2,766	4,398	5,260	5,104	0,179	0,339	0,377	1,551	0,152	0,134

F1, F2, F3 y F4 son posiciones alrededor de la fuente; Sc1 es la sala de control donde se posiciona el trabajador ocupacionalmente expuesto para manipular el LCD; Sc2 y Sc3 son posiciones cerca de la puerta de la entrada al bunker; Pe1, Pe2 y Pe3 son posiciones detrás de las barreras (paredes) del bunker, detrás del Pe1 está en el parqueo.

En la siguiente imagen está el croquis del área del LCD y las posiciones donde se ha colocado el detector para poder obtener dichas mediciones.

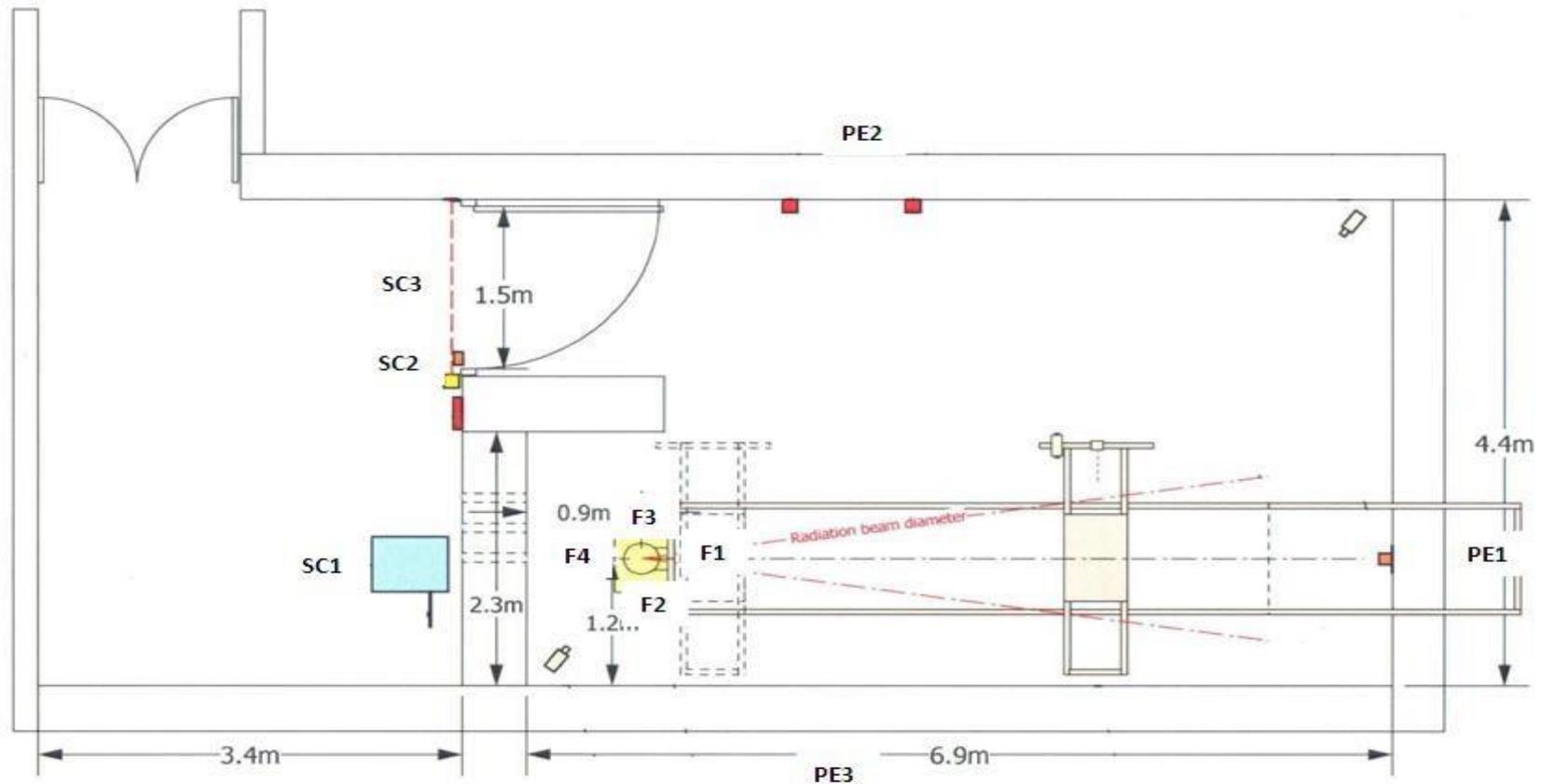


Imagen II.AI: Croquis del LCD. (Fuente: LAF-RAM)

En la tabla II.AII se muestra un resumen de la tabla II.AI, en la cual sólo se muestran los promedios de las mediciones en cada punto por cada fecha de la realización de monitoreo.

Tabla II.AII 1: Equivalente de tasa de dosis neta ambiental											
H *(10) neto [$\mu\text{Sv/h}$]											
Enero											
FECHA	Fondo	F1	F2	F3	F4	sc1	sc2	sc3	pe1	pe2	pe3
2019-01-04	0,067	2,430	5,841	5,667	5,868	0,066	0,197	0,228	-	-	-
2019-01-11	0,087	2,013	4,723	6,433	4,553	0,115	0,223	0,213	-	-	-
2019-01-18	0,053	1,944	5,620	6,291	6,175	0,075	0,221	0,308	-	-	-
2019-01-23	0,087	2,353	5,465	5,623	5,993	0,079	0,140	0,256	0,687	0,174	0,146
Febrero											
FECHA	Fondo	F1	F2	F3	F4	sc1	sc2	sc3	pe1	pe2	pe3
2019-02-01	0,081	2,429	5,739	5,984	6,400	0,045	0,183	0,189	-	-	-
2019-02-08	0,099	2,134	5,043	5,981	6,221	0,061	0,142	0,168	-	-	-
2019-02-14	0,100	1,936	5,960	6,019	6,357	0,064	0,127	0,293	-	-	-
2019-02-21	0,095	2,569	4,795	5,456	4,912	0,064	0,150	0,224	0,253	0,033	0,061
Marzo											
FECHA	Fondo	F1	F2	F3	F4	sc1	sc2	sc3	pe1	pe2	pe3
2019-03-01	0,069	2,238	5,954	5,007	5,405	0,105	0,159	0,185	-	-	-
2019-02-08	0,104	2,211	4,948	5,517	4,394	0,131	0,181	0,255	-	-	-
2019-03-13	0,081	2,934	5,366	4,899	4,946	0,051	0,177	0,225	-	-	-
2019-03-20	0,066	2,359	4,872	3,966	4,616	0,085	0,232	0,173	1,475	0,094	0,026

Abril											
FECHA	Fondo	F1	F2	F3	F4	sc1	sc2	sc3	pe1	pe2	pe3
2019-03-29	0,075	3,840	2,651	4,960	2,336	0,063	0,215	0,190	-	-	-
2019-02-08	0,045	4,314	1,790	1,311	1,138	0,128	0,239	0,321	-	-	-
2019-04-12	0,080	1,903	4,822	4,430	4,082	0,108	0,191	0,246	-	-	-
2019-04-26	0,102	3,973	5,138	2,615	4,496	0,145	0,289	0,221	1,630	0,027	0,038
Mayo											
FECHA	Fondo	F1	F2	F3	F4	sc1	sc2	sc3	pe1	pe2	pe3
2019-05-03	0,091	2,549	4,206	4,440	5,514	0,081	0,252	0,235	-	-	-
2019-05-09	0,105	3,156	3,631	3,712	5,303	0,053	0,203	0,259	-	-	-
2019-05-16	0,089	2,449	4,369	4,326	4,758	0,050	0,167	0,227	-	-	-
2019-05-24	0,060	3,774	3,933	3,037	5,434	0,070	0,292	0,356	1,390	0,094	0,078
Junio											
FECHA	Fondo	F1	F2	F3	F4	sc1	sc2	sc3	pe1	pe2	pe3
2019-05-31	0,096	2,296	3,994	3,489	5,235	0,073	0,167	0,223	-	-	-
2019-06-07	0,063	2,727	4,342	4,351	5,396	1,625	2,896	3,100	-	-	-
2019-06-14	0,091	2,341	3,769	3,772	5,574	0,074	0,249	0,828	-	-	-
2019-06-21	0,072	2,695	4,327	5,189	5,033	0,108	0,267	0,305	1,480	0,081	0,063

Además de ser un resumen, en esta tabla se muestra el equivalente de la tasa de dosis ambiental neto, este se ha calculado mediante la sustracción de la radiación de fondo. Como se muestra en la siguiente ecuación:

$$H^*(10)_{neto} = H^*(10) - Fondo \quad \text{Ec. 7}$$

Debido a que la tasa de dosis se encuentra en unidades de $\mu\text{Sv/h}$, y para poder hacer una comparación con las restricciones de dosis se

tienen que convertir el equivalente de tasa de dosis ambiental que está en horas a equivalente de dosis ambiental por semana.

Para poder realizar esta conversión se ha utilizado la siguiente ecuación:

$$H^*(10)_{\text{neto}} \left[\frac{\text{mSv}}{\text{semana}} \right] = H^*(10)_{\text{neto}} \left[\frac{\mu\text{Sv}}{\text{h}} \right] * \left[\frac{1\text{mSv}}{1000\mu\text{Sv}} \right] * 40 \left[\frac{\text{h}}{\text{semana}} \right] * T \quad \text{Ec. 8}$$

Los términos que están entre corchetes corresponden a las unidades de medidas. La variable T, es el factor de ocupación del lugar donde se realizaron las mediciones. El factor de ocupación de F1, F2, F3, F4, Sc1, Sc2 y Sc3 utilizado es de 1 mientras que en pe1, pe2 y pe3 es de 1/16 (0,0625). El número 40 son las horas que se mantiene el personal ocupacionalmente expuesto semanalmente o en otras las horas que trabaja semanalmente, siendo de 8 horas de lunes a viernes.

Los resultados de estos cálculos se encuentran en la tabla II. AIII.

Tabla II. AIII 1: Equivalente de tasa de dosis neta ambiental recibido en la semana											
$H^*(10)$ semanal [mSv/ semana]											
Enero											
FECHA	Fondo	F1	F2	F3	F4	sc1	sc2	sc3	pe1	pe2	pe3
2019-01-04	0,01126	0,097	0,234	0,227	0,235	0,003	0,008	0,009	-	-	-
2019-01-11	0,01462	0,081	0,189	0,257	0,182	0,005	0,009	0,009	-	-	-
2019-01-18	0,00897	0,078	0,225	0,252	0,247	0,003	0,009	0,012	-	-	-

2019-01-23	0,01454	0,094	0,219	0,225	0,240	0,003	0,006	0,010	0,0017	0,0004	0,0004
Febrero											
FECHA	Fondo	F1	F2	F3	F4	sc1	sc2	sc3	pe1	pe2	pe3
2019-02-01	0,01361	0,097	0,230	0,239	0,256	0,002	0,007	0,008	-	-	-
2019-02-08	0,01665	0,085	0,202	0,239	0,249	0,002	0,006	0,007	-	-	-
2019-02-14	0,01680	0,077	0,238	0,241	0,254	0,003	0,005	0,012	-	-	-
2019-02-21	0,01601	0,103	0,192	0,218	0,196	0,003	0,006	0,009	0,0006	0,0001	0,0002
Marzo											
FECHA	Fondo	F1	F2	F3	F4	sc1	sc2	sc3	pe1	pe2	pe3
2019-03-01	0,01158	0,090	0,238	0,200	0,216	0,004	0,006	0,007	-	-	-
2019-02-08	0,01751	0,088	0,198	0,221	0,176	0,005	0,007	0,010	-	-	-
2019-03-13	0,01357	0,117	0,215	0,196	0,198	0,002	0,007	0,009	-	-	-
2019-03-20	0,01102	0,094	0,195	0,159	0,185	0,003	0,009	0,007	0,0037	0,0002	0,0001
Abril											
FECHA	Fondo	F1	F2	F3	F4	sc1	sc2	sc3	pe1	pe2	pe3
2019-03-29	0,01253	0,154	0,106	0,198	0,093	0,003	0,009	0,008	-	-	-
2019-02-08	0,00758	0,173	0,072	0,052	0,046	0,005	0,010	0,013	-	-	-
2019-04-12	0,01339	0,076	0,193	0,177	0,163	0,004	0,008	0,010	-	-	-
2019-04-26	0,01715	0,159	0,206	0,105	0,180	0,006	0,012	0,009	0,0041	0,0001	0,0001
Mayo											
FECHA	Fondo	F1	F2	F3	F4	sc1	sc2	sc3	pe1	pe2	pe3

2019-05-03	0,01530	0,102	0,168	0,178	0,221	0,003	0,010	0,009	-	-	-
2019-05-09	0,01762	0,126	0,145	0,148	0,212	0,002	0,008	0,010	-	-	-
2019-05-16	0,01500	0,098	0,175	0,173	0,190	0,002	0,007	0,009	-	-	-
2019-05-24	0,01000	0,151	0,157	0,121	0,217	0,003	0,012	0,014	0,0035	0,0002	0,0002
Junio											
FECHA	Fondo	F1	F2	F3	F4	sc1	sc2	sc3	pe1	pe2	pe3
2019-05-31	0,01609	0,092	0,160	0,140	0,209	0,003	0,007	0,009	-	-	-
2019-06-07	0,01060	0,109	0,174	0,174	0,216	0,065	0,116	0,124	-	-	-
2019-06-14	0,01524	0,094	0,151	0,151	0,223	0,003	0,010	0,033	-	-	-
2019-06-21	0,01201	0,108	0,173	0,208	0,201	0,004	0,011	0,012	0,0037	0,0002	0,0002

La tabla II. AIV, muestra el equivalente de dosis ambiental recibido durante los 6 meses en los cuales se ha realizado el monitoreo, los 6 meses en los cuales se realiza este estudio. Para la obtención de estos resultados se han sumado el equivalente de tasa de dosis semanal en todas las posiciones en las que se han realizado las mediciones, obteniendo lo siguiente:

Tabla II. AIV 1: Tabla resumen del monitoreo										
H *(10) [mSv/mes]										
Mes	F1	F2	F3	F4	SC1	SC2	SC3	PE1	PE2	PE3
Enero	0,350	0,866	0,961	0,904	0,013	0,031	0,040	0,0017	0,0004	0,0004
Febrero	0,363	0,861	0,938	0,956	0,009	0,024	0,035	0,0006	0,0001	0,0002
Marzo	0,390	0,846	0,776	0,774	0,015	0,030	0,034	0,0037	0,0002	0,0001

Abril	0,561	0,576	0,533	0,482	0,018	0,037	0,039	0,0041	0,0001	0,0001
Mayo	0,477	0,646	0,621	0,840	0,010	0,037	0,043	0,0035	0,0002	0,0002
Junio	0,402	0,657	0,672	0,850	0,075	0,143	0,178	0,0037	0,0002	0,0002
Sumatoria	2,543	4,452	4,499	4,806	0,141	0,302	0,369	0,0173	0,0012	0,0012

- **Estimación de dosis potenciales bunker**

Al fin de obtener datos más realistas y de esta forma realizar la evaluación de las consecuencias en algunos escenarios, se han simulado dichos escenarios mediante montajes experimentales; mostrados en las imágenes de este apartado; así como se han descritos las posibles reacciones y la situación a la que se está expuesta.

Escenario 1: El LCD comenzó a irradiar y el personal ocupacionalmente expuesto (TOE) está dentro de la sala. Él está a 4s para poder abrir la puerta y salir, la distancia de la fuente y la fuente de radiación es de 1,4m. En la tabla II. BI, se muestran los datos medidos del equivalente de tasa de dosis medidas con el Graetz X5 DE.

Tabla II. BI 1: Escenario 1				
Escenario: TOE dentro del bunker al momento que se está utilizando el LCD				
Tiempo de reacción y salir por la puerta: t = 4s				
Distancia desde la fuente a la puerta: d = 1,7 m				
No.	$H^*(10)$ medido ($\mu\text{Sv/h}$)	$H^*(10)$ de fondo ($\mu\text{Sv/h}$)	$H^*(10)$ neto ($\mu\text{Sv/h}$)	$H^*(10)$ en el escenario (μSv)
1	45,2	0,188	45,0	0,049
2	45,1	0,149	45,0	0,049
3	44,9	0,137	44,8	0,049
4	44,7	0,119	44,6	0,049
5	45,3	0,158	45,1	0,050
6	45,2	0,128	45,1	0,050
7	45,3	0,121	45,2	0,050
8	45,4	0,131	45,3	0,050
9	43,2	0,127	43,1	0,047
10	44,0	0,135	43,9	0,048
Promedio	44,8	0,139	44,7	0,049
Desv. Esándar	0,7	0,021	0,7	0,0008
U(medido)	0,223	0,007	0,221	0,0002

Para obtener las mediciones del equivalente de tasa de dosis ambiental, se colocó el detector Graetz X5 DE a la distancia donde ocurriría el escenario y con una cámara que graba las medidas del detector y se observaban en la sala de control del LCD el cual es un lugar seguro. En la imagen II.1 se mostrará el montaje de las mediciones para este escenario.

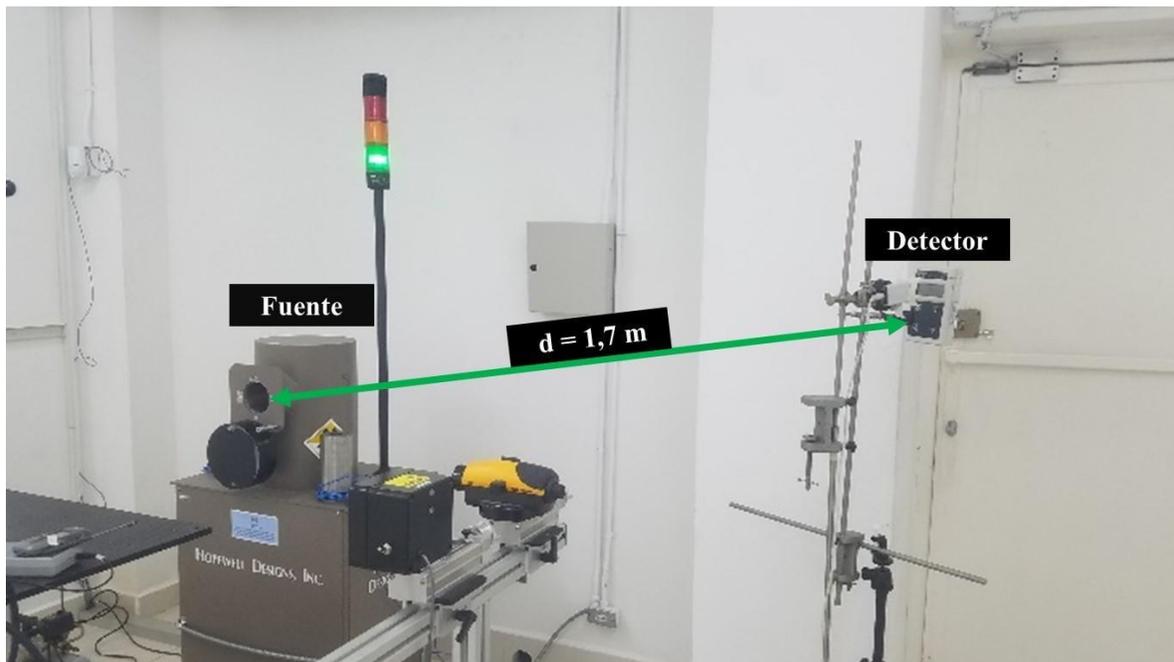


Imagen II.1. Montaje de las mediciones para el escenario 1. Fuente: Propia

Escenario 2: El TOE está adentro del bunker cuando el LCD comenzó a funcionar. Él está situado a una distancia de 1,55 m de la fuente. Hay 2 posibles acciones que él puede tomar: Salir por la puerta; esto le tomará aproximadamente 5s; o presionar el botón de emergencia más cercano; puede tomarse aproximadamente 2s en realizar esta acción. En la tabla siguiente, tabla II.2, se muestran las mediciones de equivalente de tasa de dosis ambiental a esa distancia de la fuente.

Tabla II. BII: 1: Escenario 2

Escenario: TOE dentro del bunker al momento que se está utilizando el LCD

Tiempo de reacción y salir por la puerta: $t = 5s$

Tiempo de reacción y presionar el botón de emergencia más cercano: $t = 2s$

Distancia desde la fuente a la posición del TOE: $d = 1,55 \text{ m}$

No.	$H^*(10)$ medido ($\mu\text{Sv/h}$)	$H^*(10)$ de fondo ($\mu\text{Sv/h}$)	$H^*(10)$ neto ($\mu\text{Sv/h}$)	$H^*(10)$ reacción 1 (μSv)	$H^*(10)$ reacción 2 (μSv)
1	103,0	0,149	102,8	0,144	0,062
2	104,9	0,157	104,7	0,147	0,063
3	103,7	0,137	103,6	0,145	0,062
4	105,5	0,136	105,4	0,148	0,063
5	105,1	0,127	105,0	0,147	0,063
6	106,2	0,135	106,1	0,148	0,064
7	106,4	0,125	106,3	0,149	0,064
8	106,3	0,135	106,2	0,149	0,064
9	104,7	0,154	104,5	0,146	0,063
10	107,3	0,137	107,2	0,150	0,064
Promedio	105,3	0,139	105,2	0,147	0,063
Desv. Esándar	1,31	0,011	1,32	0,002	0,001
U(medido)	0,415	0,003	0,416	0,001	0,0002

El TOE está expuesto a una dosis mayor cuando abre la puerta debido a que el tiempo expuesto a la irradiación es mayor. El detector Graetz se ha colocado a una distancia de cómo se puede observar en la siguiente imagen. También se puede observar la posición del botón de emergencia a presionar si realiza la acción 2. La imagen II.2 muestra la simulación del escenario.

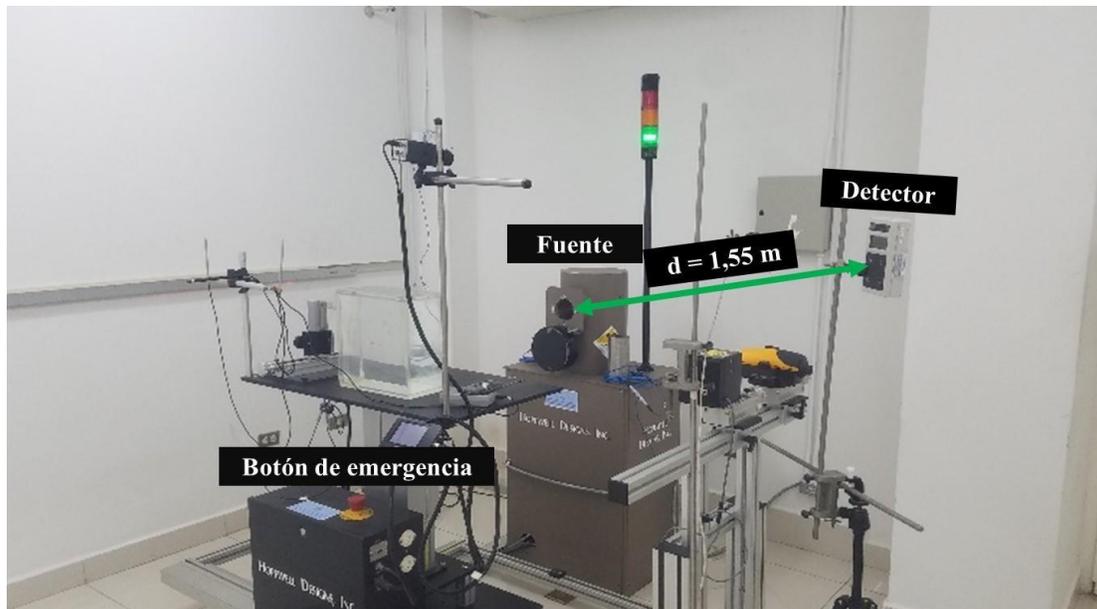


Imagen II.2. Montaje de las mediciones para el escenario 2. Fuente: Propia

Escenario 3: En este escenario el TOE se encuentra terminando de posicionar el maniquí cuando el LCD comienza a irradiar. El TOE se encuentra a una distancia de la fuente de 1,55 m. Bajo estas circunstancias el TOE puede salir por la puerta, lo que le tomará 4s, o presionar el botón de emergencia más cercanos en el cual se tomará aproximadamente 1,5s en presionarlo. En la tabla mostrada a continuación, tabla II.BIII, se reflejan los datos del equivalente de tasa de dosis ambiental que el TOE obtendrá en esa posición, así como la dosis recibida en las 2 reacciones.

Tabla II. BIII 1: Escenario 3				
Escenario: TOE terminando de posicionar el maniquí				
Tiempo de reacción y salir por la puerta: t = 4s				
Tiempo de reacción y presionar el botón de emergencia más cercano: t = 1,5s				
Distancia desde la fuente a la posición del TOE: d = 1,55 m				
No.	H*(10) medido (mSv/h)	H*(10) Tasa de dosis de fondo (µSv/h)	H*(10) reacción 1 (µSv)	H*(10) reacción 2 (µSv)
1	16,8	0,241	18,3	6,72
2	17,9	0,217	19,7	7,16
3	17,5	0,202	19,2	7,00
4	18,4	0,116	20,2	7,36
5	17,9	0,233	19,7	7,16
6	17,7	0,217	19,5	7,08
7	18,1	0,392	19,9	7,24
8	17,8	0,333	19,6	7,12
9	17,4	0,242	19,1	6,96
10	16,8	0,388	18,3	6,72
Promedio	17,6	0,3	19,4	7,05
Desv. Esándar	0,521	0,087	0,6	0,2
U(medido)	0,165	0,028	0,2	0,1

Los cálculos de las dosis recibidas de cada reacción se hicieron con la dosis medida, ya que el fondo medido es muy pequeño comparado con el equivalente de dosis ambiental en ese punto. De entre las 2 posibles reacciones del TOE en la que recibe una mayor dosis es en la acción 1, salir por la puerta, con un valor de $19,4 \mu\text{Sv}$. La dosis es mayor ya que hacer la acción de salir por la puerta toma más tiempo que presionar el botón de emergencia. La posición del detector utilizado para este escenario se encuentra en la imagen II.3.

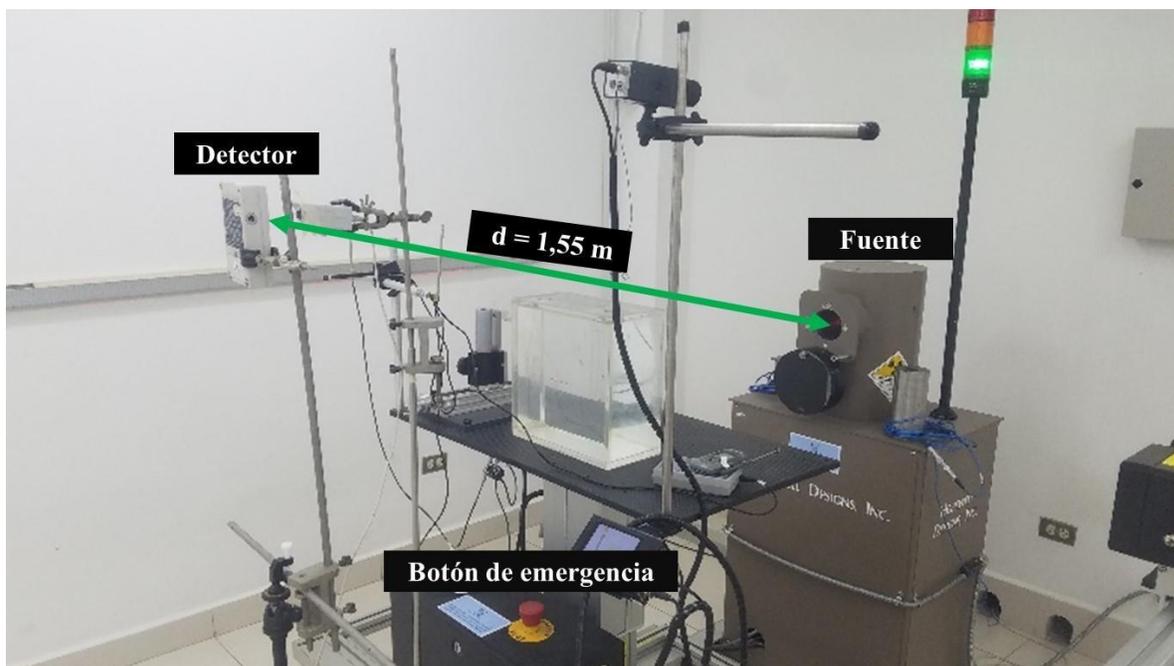


Imagen II.3. Montaje de las mediciones para el escenario 3. Fuente: Propia

Escenario 4: Este escenario es similar al escenario 3, con la única variante que en este escenario el maniquí está atenuando parte de la radiación que emite la fuente. Los datos correspondientes para este escenario se observan en la tabla II.BIV.

Tabla II. BIV 1: Escenario 4

Escenario: TOE posicionando el maniquí y es atenuado por el maniquí

Tiempo de reacción y salir por la puerta: $t = 4s$

Tiempo de reacción y presionar el botón de emergencia más cercano: $t = 1,5s$

Tiempo de reacción y subir los colimadores: $t = 5s$

Distancia desde la fuente a la posición del TOE: $d = 1,55 m$

Altura hasta el pecho del TOE: $h = 1,10 m$

No.	$H^*(10)$ medido (mSv/h)	$H^*(10)$ de fondo (μ Sv/h)	Dosis recibida reacción 1 (μ Sv)	$H^*(10)$ reacción 2 (μ Sv)	$H^*(10)$ reacción 3 (μ Sv)
1	4,51	0,251	4,96	1,80	6,31
2	4,52	0,241	4,97	1,81	6,33
3	4,51	0,264	4,96	1,80	6,31
4	4,62	0,276	5,08	1,83	6,47
5	4,58	0,244	5,04	1,83	6,41
6	4,44	0,221	4,88	1,78	6,22
7	4,51	0,189	4,96	1,80	6,31
8	4,6	0,191	5,06	1,84	6,44
9	4,52	0,211	4,97	1,81	6,33
10	4,52	0,201	4,97	1,81	6,33
Promedio	4,53	0,229	4,99	1,81	6,35
Desv. Esándar	0,05	0,03	0,06	0,02	0,07
U(medido)	0,017	0,010	0,019	0,006	0,023

En esta tabla no se calculan el equivalente de tasa de dosis neto debido a que el fondo es muy pequeño en comparación con el equivalente de dosis medido. El detector para la simulación de este escenario se ha colocado a una distancia de 1,55 m y a una altura de 1,10 m, aproximadamente la altura del pecho de una persona promedio. En este escenario el TOE puede recurrir a tres acciones, siendo en la que recibe una mayor dosis en la reacción 3; subir los colimadores. El montaje experimental de la simulación de este escenario se muestra en la siguiente imagen, imagen II.4.

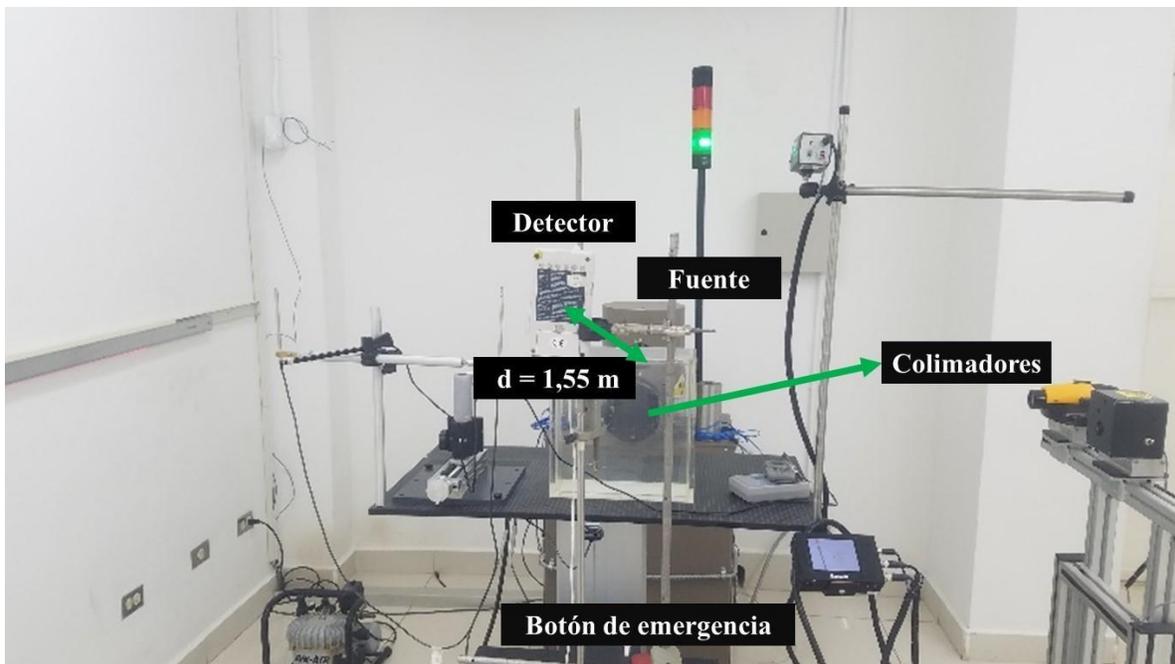


Imagen II.4. Montaje de las mediciones para el escenario 4. Fuente: Propia

Escenario 5: En este escenario el TOE se encuentra bajando los colimadores y una vez abajo el LCD comienza a realizar su actividad. En este escenario el TOE puede realizar 3 acciones: Salir por la puerta, esto le puede tomar unos 4s; presionar el botón de emergencia situado en la pared, esta acción le puede tomar unos 3,5s; o subir de nuevo los colimadores, esta acción podría tomarle 5s aproximadamente. El TOE en esa posición se encuentra a 0,30 m de la fuente, esto implica que, en comparación con los escenarios anteriores en este punto, como está más cerca de la fuente, el equivalente de tasa de dosis ambiental será mucho mayor que en los escenarios anteriores. Al realizar las mediciones simulando este escenario, se obtuvieron los datos ordenados en la tabla II.BV.

Tabla II. BV: 1: Escenario 5

Escenario: TOE bajando los colimadores cuando el LCD comienza a irradiar

Tiempo de reacción y salir por la puerta: $t = 4s$

Tiempo de reacción y presionar el botón de emergencia situado en la pared: $t = 3,5s$

Tiempo de reacción y subir los colimadores: $t = 5s$

Distancia desde la fuente a la posición del TOE: $d = 0,30\text{ m}$

Altura hasta el pecho del TOE: $h = 1,10\text{ m}$

No.	$H^*(10)$ medido (mSv/h)	$H^*(10)$ de fondo ($\mu\text{Sv/h}$)	$H^*(10)$ reacción 1 (mSv)	$H^*(10)$ reacción 2 (mSv)	$H^*(10)$ reacción 3 (mSv)
1	208	10,20	0,229	0,208	0,291
2	209	12,20	0,230	0,209	0,293
3	215	11,40	0,236	0,215	0,301
4	216	11,30	0,238	0,216	0,302
5	219	10,70	0,241	0,219	0,307
6	214	12,10	0,235	0,214	0,230
7	201	12,00	0,221	0,201	0,281
8	196	11,30	0,216	0,196	0,274
9	201	10,70	0,221	0,201	0,281
10	204	11,00	0,224	0,204	0,286
Promedio	208	11,29	0,229	0,208	0,291
Desv. Esándar	7,66	0,66	0,008	0,008	0,011
U(medido)	2,42	0,21	0,003	0,002	0,003

En esa posición el fondo es muy pequeño, por lo cual no se utilizará el equivalente de tasa de dosis neta para los cálculos de dosis para cada reacción sino, se utilizarán los datos medidos con el detector. En este escenario subir los colimadores es la acción en la cual el TOE estará más expuesto, obteniendo una dosis promedio de 0,291 mSv. En la imagen II.5, se muestra el montaje para la simulación de este escenario, así como también se muestra la ubicación de los colimadores.

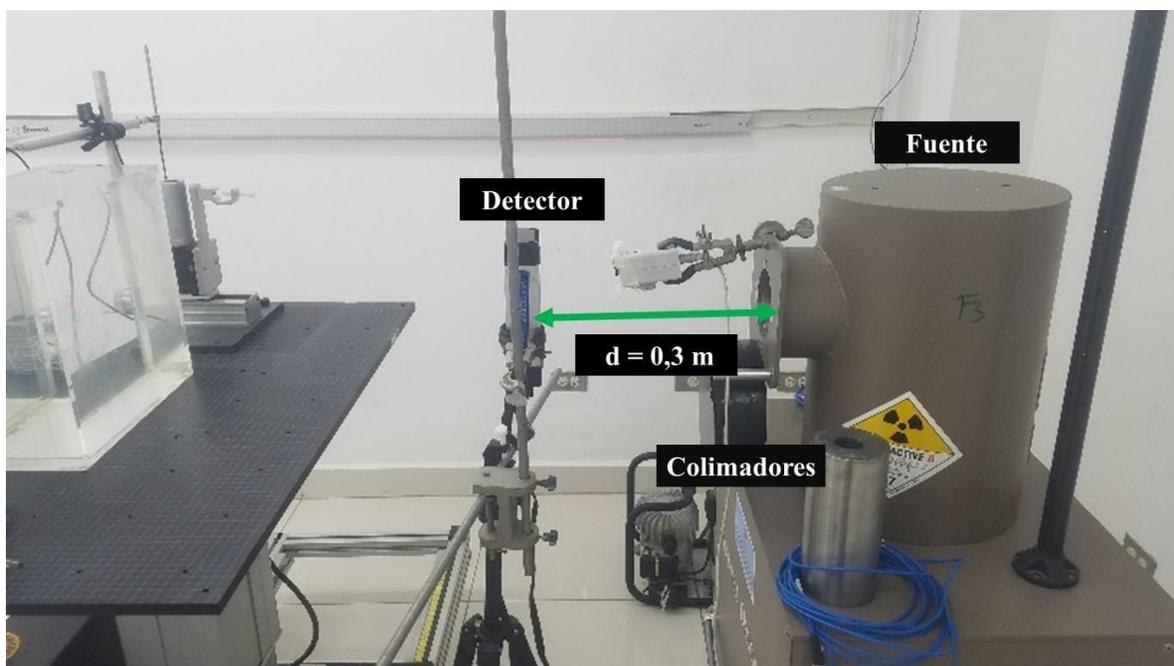


Imagen II.5. Montaje de las mediciones para el escenario 5. Fuente: propia

III. Sucesos iniciadores

Para definir y hacer un listado de los sucesos iniciadores se han utilizado la estrategia de análisis y efectos de fallo (FMEA), sucesos iniciadores genéricos y algunos se han utilizados encontrado en otros trabajos de evaluación de la seguridad. Los sucesos iniciadores para la instalación se encuentran enumerados en la tabla III. 1.

Tabla III. 1: sucesos iniciadores		
No.	Denominación del suceso iniciador de accidentes	Definición
1	Fallas en el funcionamiento de los equipos detectores	Los equipos detectores proporcionan datos erróneos
2	Fallas en el funcionamiento del sistema de alarma de incendios	No se tomarán las medidas correspondientes ante este accidente
3	Fallas en el sistema eléctrico del laboratorio	Si se está utilizando algún equipo la fuente puede quedar atascada
4	Falla en el sistema de seguridad del ingreso	El público puede entrar a los lugares donde se realiza alguna actividad y puede recibir dosis no debida
5	Equipo detectores descalibrado o mal calibrados	No dan la dosis apropiada al utilizarlos para medir
6	Personal no capacitado correctamente	No saben los conocimientos de cómo realizar las actividades del laboratorio y no tiene conocimiento de cultura de la seguridad
7	No hay señalizaciones de seguridad	Al no haber señalizaciones no se conoce del riesgo que puede suceder en el lugar donde se realiza la actividad
8	No se hace uso de los dosímetros personales	El personal ocupacionalmente expuesto no utiliza sus dosímetros personales, esto ocasiona una mala estimación de la dosis que recibida
9	Bajo nivel de la cultura de seguridad de organización	Escasa preocupación por la seguridad, esto ocasiona que hayan más accidentes debidos al TOE

10	Inundaciones	Dstrucción de la infraestructura de la instalación
11	Sismos	Dstrucción de la infraestructura de la instalación
12	Conflicto armado en el país	Robo en la instalación, daño en la infraestructura de la instalación
13	Modificación de la instalación	Cambio no adecuado de la estructura de la instalación
14	Robo de fuentes radiactivas	Puede ocasionar exposiciones indebidas
15	Fuentes utilizadas para investigación puestas en un lugar no adecuado	Esto ocasiona exposiciones potenciales indeseadas
16	Fuentes utilizadas para la investigación no están resguardadas	Esto ocasiona exposiciones potenciales indeseadas
17	Intromisión de personal no autorizado en el Bunker	Dosis recibida a personas del público
18	Falla en el sistema de enclavamiento del Bunker	Cuando se accione no hacen que la fuente vuelva a su posición segura
19	Fuente del banco de calibración está con los colimadores abiertos	Exposición potencial indeseada
20	Personal ocupacionalmente expuesto está dentro del bunker cuando este comienza a irradiar	Exposición potencial indeseada
21	Personal ocupacionalmente expuesto está bajando los colimadores cuando este comienza a irradiar	Exposición potencial indeseada
22	Personal ocupacionalmente expuesto está posicionando el maniquí cuando este comienza a irradiar	Exposición potencial indeseada
23	Falla del tubo del Rayos X portátil	Al no funcionar correctamente puede ocasionar que se produzcan kVp y mAs, erróneos
24	Intromisión del personal no autorizado a la sala del rayos X portátil	Dosis recibida a personas del público
25	Envejecimiento del tubo de Rayos X	Los tubos de rayos X tienen una vida útil limitada y, el envejecimiento ocasiona que el generador de rayos X no funcione satisfactoriamente
26	Robo del irradiador de mesa	Ocasiona exposiciones indebidas y contaminación ambiental

Severidad de las consecuencias potenciales asociadas a los sucesos iniciadores de accidentes

Los criterios para evaluar las consecuencias potenciales se encuentran en el apartado ### del marco teórico, resumiendo son los siguientes:

Criterio para asignar los niveles de consecuencias

- Consecuencias muy altas, catastróficas o muy graves (C_{MA}): Estas provocan efectos deterministas severos siendo hasta mortales, aunque puede causar un daño irreparable que reduce la calidad de vida de las personas afectadas.
- Consecuencias altas (C_A): Provocan efectos deterministas pero, no representan un peligro para la vida y no producen daños permanentes a la calidad de vida de las personas afectadas.
- Consecuencia media (C_M): Estas provocan exposiciones anómalas o no previstas como normales que están por debajo de los umbrales de los efectos deterministas sólo representan un aumento de la probabilidad de ocurrencia de efectos estocásticos. Estas consecuencias son por superar las restricciones o límites de dosis establecidos.
- Consecuencias bajas (C_B): No producen efectos sobre los trabajadores y público, pero se degradan las medidas de seguridad.

En base a estos criterios para cada suceso iniciador de accidentes se obtuvieron los resultados mostrados en la siguiente tabla, tabla III. 2.

Tabla III. 2: Consecuencias potenciales de los sucesos iniciadores		
No.	Denominación del suceso iniciador de accidentes	Severidad de las consecuencias potenciales
1	Fallas en el funcionamiento de los equipos detectores	C_M
2	Fallas en el funcionamiento del sistema de alarma	C_B
3	Fallas en el sistema eléctrico del laboratorio	C_M
4	Falla en el sistema de seguridad del ingreso	C_M
5	Equipo detectores descalibrado o mal calibrados	C_B
6	Personal no capacitado	C_B

7	No hay señalizaciones de seguridad	C _B
8	No se hace uso de los dosímetros personales	C _B
9	Nivel bajo de la cultura de seguridad de organización	C _B
10	Inundaciones	C _A
11	Sismos	C _A
12	Conflicto armado en el país	C _{MA}
13	Modificación de la instalación	C _A
14	Robo de fuentes radiactivas	C _A
15	Fuentes utilizadas para investigación puestas en un lugar no adecuado	C _M
16	Fuentes utilizadas para la investigación no están resguardadas	C _M
17	Intromisión de personal no autorizado en el Bunker	C _M
18	Falla en el sistema de enclavamiento del Bunker	C _A
19	Fuente del banco de calibración está con los colimadores abiertos	C _M
20	Personal ocupacionalmente expuesto está dentro del bunker cuando este comienza a irradiar	C _M
21	Personal ocupacionalmente expuesto está bajando los colimadores cuando este comienza a irradiar	C _M
22	Personal ocupacionalmente expuesto está posicionando el maniquí cuando este comienza a irradiar	C _M
23	Falla del tubo del Rayos X portátil	C _M
24	Intromisión del personal no autorizado a la sala del rayos X portátil	C _M
25	Envejecimiento del tubo de Rayos X	C _M
26	Robo del irradiador de mesa	C _A

Análisis de barreras, escenarios y secuencias accidentales

Estas funciones de seguridad son funciones de seguridad genérica y fueron tomadas de la “Guía de evaluación de seguridad de instalaciones y actividades asociadas a fuentes generadoras de radiaciones ionizantes” publicado en el 2017 por la comisión nacional de energía atómica de Nicaragua (CONEA).

Tabla III. 3: Funciones de seguridad genéricas		
No.	Funciones de seguridad	Sistemas y barreras de operaciones
1	Blindaje	1: Sistemas que proporcione blindaje
		2: Enclavamiento, cierres y mecanismos de obturadores
		3: Mecanismos de encendido y apagado
		4: Embalaje

		5: Vigilancia radiológica periódica
		6: Vigilancia periódica en la infraestructura
		7: Mantenimiento de la infraestructura
2	Confinamiento	1: Encapsulamiento
		2: Contenedor/Frasco
		3: Caja (Box)
		4: Bóveda de almacenamiento
		5: Filtros
		6: Sistemas de ventilación y aire acondicionado
		8: Prueba, Vigilancia
		9: Sistema de manipulación remota
		10: Verificación periódica del inventario de materiales
		11: Etiquetas, avisos y señales de alerta
		12: Sistemas contra incendios.
3	Robustez de la fuente	1: Prueba de hermeticidad y estanqueidad
		2: Marcas y etiquetas de las fuentes
		3: Sistemas de enclavamiento y fallos de seguridad
4	Control de acceso	1: Monitoreo de alarmas de irradiación
		2: Puertas, cercas, paredes, jaulas y etc
		3: Procedimientos de control de accesos, claves o códigos de accesos
		4: Procedimientos para el uso autorizado de la fuente, registro de usuario autorizado
		5: Ubicación y ubicación de la consola de control
		6: Señalización
		7: Sistema de vigilancia
		8: Enclavamientos
		9: Límites de instalación
5	Tiempo de exposición	1: Alarmas de irradiación
		2: Tiempo de exposición
		3: Límites de exposición
		4: Procedimientos de operación normal y de emergencia

Con las funciones de seguridad y sus barreras correspondientes se procedió a evaluar qué barrera existe por cada suceso iniciador. Los resultados de dicho análisis se muestran en la tabla III. 4.

Tabla III. 4: Barreras y secuencias accidentales				
No	Suceso iniciador	Barreras o medidas de seguridad	Consecuencias	Probabilidad de fallo
1	Fallas en el funcionamiento de los equipos detectores	Barrera 1: Prueba de los detectores antes de su uso.	Los equipos detectores proporcionan datos erróneos esto ocasiona que se registre la dosis apropiada al utilizarlos para medir	P_M
2	Fallas en el funcionamiento del sistema de alarmas	No hay barreras	No se tomarán las medidas correspondientes ante este accidente	P_A
3	Fallas en el sistema eléctrico del laboratorio	No hay barreras	Si se está utilizando algún equipo la fuente puede quedar atascada	P_A
4	Falla en el sistema de seguridad de ingreso	Barrera 1: Vigilancia periódica de la intromisión de personas no autorizadas. Barrera 2: Proceso de control de acceso, claves o códigos de acceso.	El público puede entrar a los lugares donde se realiza alguna actividad y puede recibir dosis no debida	P_M
5	Equipo detectores descalibrados o mal calibrados	Barrera 1: Prueba de los detectores antes de su uso.	No registran la dosis apropiada al utilizarlos para medir	P_M
7	No hay señalización de seguridad	Barrera 1: Etiqueta, avisos y señales de emergencia. Barrera 2: Alarmas de seguridad	Al no haber señalizaciones no se conoce del riesgo que puede suceder	P_M

			en el lugar donde se realiza la actividad	
8	No se hace uso de dosímetros personales	Barrera 1: Entrenamiento y capacitación al personal.	El personal ocupacionalmente expuesto no utiliza sus dosímetros personales, esto ocasiona una mala estimación de la dosis que recibida	PM
9	Nivel bajo de la cultura de seguridad de la instalación	Barrera 1: Entrenamiento y capacitación al personal.	Escasa preocupación por la seguridad, esto ocasiona que hayan más accidentes debidos al TOE	PM
10	Inundaciones	Barrera 1: Alarmas de emergencia	Destrucción de la infraestructura de la instalación	PM
11	Sismos	Barrera 1: Alarmas de emergencia	Destrucción de la infraestructura de la instalación	PM
12	Conflicto armado en el país	Barrera 1: Sistema de vigilancia	Robo en la instalación, daño en la infraestructura de la instalación.	PM
13	Modificación de la instalación	Barrera 1: Vigilancia radiológica periódica	Cambio no adecuado de la estructura de la instalación ocasiona que las barreras no estén adecuadas para la actividad a realizar lo que a largo plazo hará que haya exposiciones indeseadas	PM
14	Robo de fuentes radiactivas	Barrera 1: Puertas, cercas, paredes, etc. Barrera 2: Alarmas de seguridad Barrera 3: Sistema de vigilancia	Exposición potencial indeseada	PB
15	Fuentes utilizadas para la investigación puestas en un lugar no adecuado	Barrera 1: Verificación periódica del inventario de materiales. Barrera 2: Monitores y alarmas de irradiación.	Esto ocasiona exposiciones potenciales indeseadas	PM
16	Fuentes utilizadas para la investigación no están resguardadas	Barrera 1: Verificación periódica del inventario de materiales.	Esto ocasiona exposiciones potenciales indeseadas	PM

		Barrera 2: Monitores y alarmas de irradiación.		
17	Intromisión del personal no autorizado en el bunker	Barrera 1: Vigilancia periódica de la intromisión de personas no autorizadas. Barrera 2: Proceso de control de acceso, claves o códigos de acceso. Barrera 3: Etiqueta, avisos y señales de emergencia. Barrera 4: Alarmas de seguridad	Dosis recibida a personas del público	P_{MB}
18	Falla en el sistema de enclavamiento del bunker	Barrera 1: Alarmas de irradiación Barrera 2: Procedimientos de operación normal y de emergencia.	Exposición potencial indeseada	P_M
19	Fuente del banco de calibración está con los colimadores abiertos	Barrera 1: Monitores y alarmas de irradiación Barrera 2: Sistema de vigilancia.	Exposición potencial indeseada	P_M
20	Personal ocupacionalmente expuesto está dentro del bunker cuando este comienza a irradiar	Barrera 1: Alarmas de irradiación Barrera 2: Enclavamientos. Barrera 3: Procedimientos de operación normal y de emergencia.	Exposición potencial indeseada	P_B

21	Personal ocupacionalmente expuesto está bajando los colimadores cuando este comienza a irradiar	Barrera 1: Alarmas de irradiación Barrera 2: Enclavamientos. Barrera 3: Procedimientos de operación normal y de emergencia.	Exposición potencial indeseada	P_B
22	Personal ocupacionalmente expuesto está posicionando el maniquí cuando este comienza a irradiar	Barrera 1: Alarmas de irradiación Barrera 2: Enclavamientos. Barrera 3: Procedimientos de operación normal y de emergencia.	Exposición potencial indeseada	P_B
23	Falla del tubo del Rayos X portátil	Barrera 1: Monitoreo y alarmas de irradiación.	Al no funcionar correctamente puede ocasionar que se produzcan kVp y mAs, erróneos	P_M
24	Intromisión del personal no autorizado a la sala del rayo X portátil	Barrera 1: Vigilancia periódica de la intromisión de personas no autorizadas. Barrera 2: Proceso de control de acceso, claves o códigos de acceso. Barrera 3: Etiqueta, avisos y señales de emergencia. Barrera 4: Alarmas de seguridad	Dosis recibida a personas del público	P_{MB}
25	Envejecimiento del tubo de Rayos X	Barrera 1: Monitoreo y alarmas de irradiación.	Los tubos de rayos X tienen una vida útil limitada y, el envejecimiento ocasiona que el generador de rayos X no funcione satisfactoriamente	P_M
26	Robo del irradiador de mesa	Barrera 1: Puertas, cercas, paredes, etc. Barrera 2: Alarmas de seguridad Barrera 3: Sistema de vigilancia	Ocasiona exposiciones indebidas y contaminación ambiental	P_B

Después de obtener las barreras existentes por cada suceso iniciador se procedió a asignar la probabilidad de fallo, esta probabilidad de fallo se realizó de acuerdo al siguiente criterio:

- Probabilidad alta (P_A): No hay ninguna barrera de seguridad.
- Probabilidad media (P_M): Hay una o dos barreras de seguridad.
- Probabilidad baja (P_B): Hay tres barreras de seguridad.
- Probabilidad muy baja (P_{MB}): Hay cuatro o más barreras de seguridad.

Se puede analizar que entre menos barreras tenga el suceso iniciador hay más probabilidades que suceda un fallo y dicho suceso iniciador ocasione algún riesgo.

Para asignar la frecuencia de ocurrencia de los sucesos iniciadores se utilizaron los siguientes criterios:

- Frecuencia alta (f_A): El suceso ocurre frecuentemente.
- Frecuencia media (f_M): El suceso ocurre ocasionalmente.
- Frecuencia baja (f_B): Es poco usual que ocurra el suceso iniciador, aunque puede haber ocurrido.
- Frecuencia muy baja (f_{MB}): Es muy raro que ocurra el suceso iniciador, aunque no se tenga conocimientos de que haya ocurrido se considera que podría suceder.

Para poder asignar correctamente los niveles de frecuencia se tuvo que hacer un análisis del pasado, revisar si alguna vez o cuantas veces, alguno de los sucesos iniciadores, ha ocurrido. Además, para los sucesos iniciadores de que son ocasionados por desastres naturales o por conflictos dentro del país, se estudió un poco la historia de Nicaragua, así de esta forma obtener resultados más reales.

Los resultados se muestran en la tabla III. 5, siendo los siguientes:

Tabla III. 5: Frecuencia de ocurrencia de los sucesos iniciadores		
No.	Suceso iniciador	Frecuencia
1	Fallas en el funcionamiento de los equipos detectores	f_B
2	Fallas en el funcionamiento del sistema de alarma de incendios	f_B
3	Fallas en el sistema eléctrico del laboratorio	f_B
4	Falla en el sistema de seguridad del ingreso	f_B
5	Equipo detectores descalibrado o mal calibrados	f_B
6	Personal no capacitado correctamente	f_{MB}
7	No hay señalizaciones de seguridad	f_B
8	No se hace uso de los dosímetros personales	f_{MB}
9	Bajo nivel de la cultura de seguridad de organización	f_B
10	Inundaciones	f_B
11	Sismos	f_M
12	Conflicto armado en el país	f_B

13	Modificación de la instalación	f_{MB}
14	Robo de fuentes radiactivas	f_{MB}
16	Fuentes utilizadas para la investigación no están resguardadas	f_{MB}
17	Intromisión de personal no autorizado en el Bunker	f_{MB}
18	Falla en el sistema de enclavamiento del Bunker	f_{MB}
19	Fuente del banco de calibración está con los colimadores abiertos	f_{MB}
20	Personal ocupacionalmente expuesto está dentro del bunker cuando este comienza a irradiar	f_{MB}
21	Personal ocupacionalmente expuesto está bajando los colimadores cuando este comienza a irradiar	f_{MB}
22	Personal ocupacionalmente expuesto está posicionando el maniquí cuando este comienza a irradiar	f_{MB}
23	Falla del tubo del Rayos X portátil	f_B
24	Intromisión del personal no autorizado a la sala del rayos X portátil	f_{MB}
25	Envejecimiento del tubo de Rayos X	f_{MB}
26	Robo del irradiador de mesa	f_{MB}

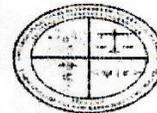
En el caso particular de la frecuencia en el suceso iniciador 9 “Bajo nivel de la cultura de seguridad de organización”, se hizo uso de los resultados del nivel de cultura de seguridad, estos resultados se exponen en el capítulo IV, en la sección de “Análisis y discusiones de resultados” primer apartado (apartado 1) “Evaluación de la cultura de seguridad”.

IV. Certificado de calibración del monitor de área Graetz X5DE 53090



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN - MANAGUA

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
LABORATORIO DE FÍSICA DE RADIACIONES Y METROLOGÍA
(LAF-RAM)



LABORATORIO DE CALIBRACIÓN
DOSIMÉTRICA
LAF-RAM

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
NIC/2019/09

LA CALIBRACIÓN DE ESTE INSTRUMENTO ES VÁLIDA EN LAS CONDICIONES
ESPECIFICADAS EN ESTE CERTIFICADO

Es prohibido cualquier tipo de copia o divulgación a terceros de este documento, solo con la autorización del laboratorio es posible reproducirlo.

ENTREGADO 16 MAY 2019

[Handwritten signature]
4/2019/05/16

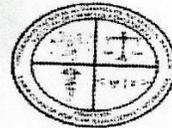
¡A la libertad por la Universidad!

Recinto Universitario "Rubén Darío" de la biblioteca central Salón de la Selva 100 metros al Oeste



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN - MANAGUA

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
LABORATORIO DE FÍSICA DE RADIACIONES Y METROLOGÍA
(LAF-RAM)



Página 2/4

LCD-LAF-RAM

1. INSTITUCIÓN

Razón Social: LAF-RAM
Dirección: Rotonda Universitaria 150m al E
Ciudad: Managua
Departamento: Managua
Fecha de recepción: 2019-03-01
Fecha de Calibración: 2019-03-22

2. ESPECIFICACIONES DEL INSTRUMENTO

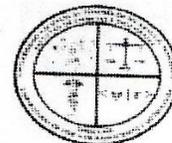
Tipo: Monitor de Area
Fabricante: Graetz
Modelo: X5DE
Serie: 53090
Orden de servicio No. LCD-MGA09-09

3. DATOS DE LA CALIBRACIÓN

Valores medidos a 16 mSv/h	Valores medidos a 10 mSv/h	Valores medidos a 4 mSv/h
15	10	4
15	10	4
15	10	4
15	10	4
15	10	4
15	10	4
15	10	5
15	10	5
15	10	5
15	10	5
15	10	5
Promedio 15	Promedio 10	Promedio 5

Valores medidos a 1 mSv/h	Valores medidos a 500 µSv/h	Valores medidos a 50 µSv/h
1,24	574	56
1,25	587	54
1,25	582	54
1,25	587	54
1,24	589	54
1,24	586	54
1,24	589	54
1,25	586	55
1,25	580	54
1,24	574	54
Promedio 1,25	Promedio 583	Promedio 54

¡A la libertad por la Universidad!



4. CONDICIONES DE CALIBRACIÓN

4.1 Condiciones ambientales

Temperatura: 18 °C a 22 °C

Presión Atmosférica: 860 mbar a 1060 mbar

Humedad relativa: 50 % a 75%

4.2 Geometría de Calibración

Eje longitudinal del detector perpendicular al haz de radiación

4.3 Punto de referencia

Centro geométrico del volumen sensible del detector.

4.4 Método de Calibración

Método de calibración en un campo conocido de radiación.

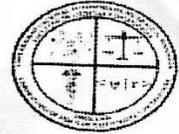
5. RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN

Los resultados de las medidas están referidos a la media aritmética de las lecturas efectuadas en cada punto después del ajuste realizado, utilizando una fuente de ¹³⁷Cs en escala automática.

Tasa de Dosis Equivalente Ambiental H*(10)	Indicación del instrumento H*(10)	Error relativo (%)	Factor de calibración N _k	Incertidumbre Expandida U (N _k) (%)
16 mSv/h	15,268 mSv/h	-5	1,05	4
10 mSv/h	10,26 mSv/h	3	0,97	4
4 mSv/h	4,51 mSv/h	13	0,89	7
1 mSv/h	1,245 mSv/h	25	0,80	13
500 μSv/h	583 μSv/h	17	0,86	14
50 μSv/h	54 μSv/h	8	0,92	15

La incertidumbre expandida de la medición aquí declarada es la incertidumbre estándar multiplicada por el factor de cobertura k, el cual para su distribución t con grados efectivos (u_{eff}) de libertad

La incertidumbre estándar fue determinada por medio de la Guía para la Expresión de las Incertidumbres en las mediciones GUM ISO 2008 (Versión del Centro Español de metrología, CEM).



6. INFORMACIÓN ADICIONAL

Página 4/4

Este detector no fue ajustado

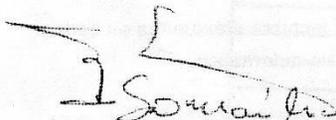
7. TRAZABILIDAD

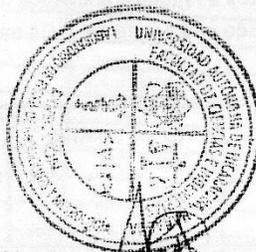
La trazabilidad de la magnitud de calibración es establecida con el uso de un sistema dosimétrico patrón secundario, para ello se utilizan dos cámaras de ionización con la siguiente descripción: Cámara de 10L, fabricante PTW FREIBURG, Modelo PTW-32003, Serie #180; Cámara de 1L, PTW-32002, Serie #512. El electrómetro es marca UNIDOS Webline, Modelo T 10022, Serie 000383. Estos instrumentos fueron calibrados por el Laboratorio de Dosimetría del OIEA en enero del 2017, Viena, Austria.

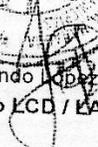
8. RECALIBRACIÓN

Se recomienda una nueva calibración cada año.

Certificado emitido lunes, 22 de abril de 2019


M.Sc. Freddy Somarriba Vanegas
Resp. de LCD / LAF-RAM




Lic. Fernando López González
Técnico LCD / LAF-RAM


M.Sc. Norma Roas Zúñiga
Directora del LAF-RAM

Última Línea

¡A la libertad por la Universidad!

Recinto Universitario "Rubén Darío", de la biblioteca central Salomón de la Selva 100 metros al Oeste.
Cod. Postal 663 - Managua, Nicaragua | Telf.: 2278 6764, 2278 6769 Ext 5175 / Telefax: 22774943 | www.unan.edu.ni