



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**ANÁLISIS DE RIESGOS PARA EL ÁREA DE MEDICINA NUCLEAR EN UN
HOSPITAL**

Trabajo de titulación previo a la obtención del

Título de Ingeniera Industrial

AUTORA: MIA RAFFAELA PÉREZ TINILLO

TUTOR: HUGO OSWALDO SALAZAR YÁNEZ

Quito – Ecuador

2026

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Mia Raffaella Pérez Tinillo con documento de identificación N° 1754242418, manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 11 de febrero del 2026

Atentamente,



Mia Raffaella Pérez Tinillo
1754242418

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Mia Raffaella Pérez Tinillo con documento de identificación N.º 1754242418, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Proyecto Técnico: "ANÁLISIS DE RIESGOS PARA EL ÁREA DE MEDICINA NUCLEAR EN UN HOSPITAL.", el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 11 de febrero del 2026

Atentamente,



Mia Raffaella Pérez Tinillo
1754242418

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

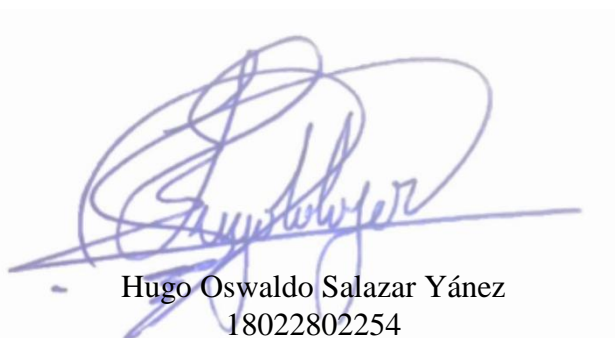
Yo, Hugo Oswaldo Salazar Yanez con documento de identificación N° , docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación:

ANÁLISIS DE RIESGOS PARA EL ÁREA DE MEDICINA NUCLEAR EN UN HOSPITAL

Realizado por Mia Raffaella Pérez Tinillo con documento de identificación N.º 1754242418, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 11 de febrero del 2026

Atentamente,



Hugo Oswaldo Salazar Yánez
18022802254

Agradecimientos

A los Ingenieros, Hugo Salazar M.Sc y Walter Gaibor M.Sc, por su paciencia, conocimientos y consejos.

Gracias por escucharme, entenderme y reírse conmigo todo este tiempo.

Dedicatoria

Dedico esta tesis a mi mamá, Yadira, Todo tu esfuerzo y tu amor me hicieron llegar hasta aquí.

Gracias por creer en mi cuando ni yo misma lo hacía.

Índice de Contenido

Lista de tablas	X
Lista de figuras	XI
Lista de Ecuaciones	XI
Resumen	XII
Abstract	XIII
Introducción	14
Antecedentes	14
Problema de estudio	14
Justificación	14
Objetivos	15
Objetivo General	15
Objetivos específicos	15
Metodología	16
Capítulo I	17
Problema de Investigación	17
1.1. Seguridad y Salud en el Trabajo (SST)	17
1.2. Alcance de la SST	17
1.3. Riesgos Laborables	18
1.1.1. Definición y Tipos de Riesgos Laborales	18
1.1.2. Severidad del Daño	18
1.1.3. Factores y Agentes de Riesgo	19
1.1.4. Riesgos Mecánicos	19
1.1.5. Riesgos Físicos	20
1.1.6. Riesgos Químicos	20
1.1.7. Riesgos Biológicos	20

1.1.8.	Riesgos Ergonómicos	21
1.4.	Guía Técnica Colombiana 45	21
1.5.	Análisis de riesgos	21
1.6.	Identificación de Riesgo	22
1.7.	Estimación de Riesgos	22
1.8.	Categorización	25
1.9.	Planificación de Acciones Preventivas	26
1.10.	Medidas de Control.	27
1.11.	Radiación Ionizante	28
Capítulo II		29
2.1.	Estimación del Riesgo Laboral por puesto de Trabajo	29
2.2.	Análisis de los puestos de trabajo del área de medicina nuclear	29
2.2.1.	Jefe de Operación - Físico Médico	29
2.2.2.	Operador de Ciclotrón	31
2.2.3.	Operador de Celdas	34
2.2.4.	Oficial de Seguridad Radiológica	36
2.3.	Resumen de Riesgos Laborales	39
Capítulo III		42
3.1.	Análisis de los resultados del método GTC 45	42
3.2.	Medidas de control para cada puesto de trabajo	42
3.2.1.	Jefe de Operación – Físico Médico	42
3.2.2.	Operador de Ciclotrón	44
3.2.3.	Operador de Celdas.	46
3.2.4.	Oficial de Seguridad Radiológica (OSR)	49
3.3.	Monitoreo Integral de Tasas de radiación en el personal.	51
3.4.	Normativas y límites de dosis	52

3.5.	Monitoreo Dosímetro	52
3.5.1.	Dosímetros Electrónicos	52
3.5.2.	Dosímetro de Termoluminiscente (TLD)	53
3.6.	Monitores de Radiación	54
3.7.	Monitores de Radiación Ambiental de chimenea	55
3.8.	Detector de contaminación para pies, manos y ropa	55
3.9.	Procedimiento de Medición y Registro de Datos	55
3.10.	Acciones Correctivas	56
3.11.	Resultados del monitoreo de dosímetro de cada puesto de trabajo.	57
3.11.1.	Jefe de Operaciones	57
3.11.2.	Bioquímico Farmacéutico	58
3.11.3.	Operador de Ciclotrón	59
3.11.4.	Oficial de Seguridad Radiológica	59
4.	Conclusiones	61
5.	Recomendaciones	61
6.	Referencias	62

Lista de tablas

Tabla 1. Factores de Riesgo.[8].....	19
Tabla 2. Determinación del nivel de deficiencia.[17].....	23
Tabla 3. Determinación del nivel de exposición.[17].....	23
Tabla 4. Determinación del nivel de probabilidad.[17].....	24
Tabla 5. Significado de los diferentes niveles de probabilidad.[17].....	24
Tabla 6. Determinación del nivel de consecuencias.[17].....	25
Tabla 7. Determinación del nivel de riesgo.[17].....	25
Tabla 8. Significado del nivel de riesgo.[17].....	26
Tabla 9. Estimación del riesgo – Jefe de Operación Físico- Médico.....	30
Tabla 10. Estimación del riesgo – Operador de Ciclotrón.....	32
Tabla 11. Estimación del riesgo – Operador de Celdas.....	35
Tabla 12. Estimación del riesgo – Oficial de Seguridad Radiológica.....	37
Tabla 13. Resumen de Riesgos Laborales identificados en el área de medicina nuclear.....	39
Tabla 14 Sumatoria de riesgos por puesto de trabajo.....	41
Tabla 15. Análisis de resultados – Jefe de Operación Físico-Médico.....	42
Tabla 16. Análisis de resultados – Operador de Ciclotrón.....	44
Tabla 17. Análisis de resultados – Operador de Celdas.....	46
Tabla 18. Análisis de resultados – OSR.....	49
Tabla 19. Límites de dosis Internacionales y límites de dosis establecidos para el Centro de Medicina Nuclear.....	52
Tabla 20. Límites de dosis de alarma y pre-alarma del dosímetro electrónico.....	53
Tabla 21. Límites de dosis para los registros del monitoreo de dosis de los dosímetros TLD.	54
Tabla 22. Límites de dosis de alarma y pre-alarma para los monitores de radiación ambiental.....	54
Tabla 23. Límites de dosis de alarma y pre-alarma para los monitores de radiación ambiental.....	55
Tabla 24. Valores de contaminación para el detector de pies, manos y ropa.....	55
Tabla 25 Límites de dosis para los detectores de Chimenea de la celda de Síntesis y el Ciclotrón.....	57

Lista de figuras

Figura 1. Jerarquía de Controles.[21]	27
Figura 2. Diagrama de flujo tipo Operario – Jefe de Operaciones.	29
Figura 3. Diagrama de flujo tipo Operario – Operador de Ciclotrón.	31
Figura 4. Diagrama de flujo tipo Operario – Operador de Celdas.	34
Figura 5. Diagrama de flujo tipo Operario – Oficial de Seguridad Radiológica	37
Figura 6 Pastel de porcentajes total de riesgos por su nivel de consecuencia.	40
Figura 7. Pastel de Estimación de riesgos.	40
Figura 8 Porcentaje por puesto de trabajo.	41

Lista de Ecuaciones

Ecuación 1. Fórmula para evaluar el nivel de riesgo.[20]	22
Ecuación 2. Fórmula para determinar el nivel de probabilidad.[20]	22

Resumen

La Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) es fundamental para proteger a los trabajadores, especialmente en entornos de alto riesgo laboral como el área de Medicina Nuclear en un hospital. Este sector presenta una exposición continua a diversos factores de riesgo, incluyendo la radiación ionizante, lo que marca la necesidad de una gestión de riesgos rigurosa para prevenir daños, enfermedades y asegurar el bienestar físico y psicológico de los empleados.

Para abordar esta problemática, se empleó la "Guía Técnica GTC Colombiana 45" (GTC 45) como marco normativo principal. Esta metodología facilitó la identificación, evaluación y estimación de los riesgos laborales presentes en los diferentes puestos del área de medicina nuclear. Se identificaron diversos tipos de riesgos, como físicos, mecánicos, químicos y ergonómicos, con varios de ellos categorizados en un nivel crítico tras la estimación.

Como resultado del análisis de riesgos y la dosimetría, se propusieron medidas de control basadas en la jerarquía de controles como administrativos, de ingeniería y EPPS. Estas medidas buscan mitigar los riesgos identificados en las actividades analizadas y, a pesar de la inevitabilidad del riesgo físico en esta área, los controles de ingeniería y administrativos han demostrado ser eficaces para controlar y reducir la incidencia de enfermedades a corto y largo plazo.

***Palabras claves:** riesgos Laborables, ciclotrón, radiación Ionizante, protección radiológica.*

Abstract

Occupational Safety and Health (OSH) is a fundamental discipline to protect workers, especially in high-risk work environments such as the Nuclear Medicine area in a hospital. This sector presents a continuous exposure to various risk factors, including ionizing radiation, which marks the need for a rigorous risk management to prevent injuries, diseases and ensure the physical and mental well-being of employees.

To address this issue, the “Colombian Technical Guide GTC 45” (GTC 45) was used as the main regulatory framework. This methodology facilitated the identification, evaluation and estimation of occupational risks present in the different positions of the nuclear medicine area. Various types of risks were identified, such as physical, mechanical, chemical and ergonomic, with several of them categorized at a critical level after estimation.

As a result of the risk analysis and dosimetry, control measures were proposed based on the hierarchy of controls such as administrative, engineering and EPPS. These measures seek to mitigate the risks identified in the activities analyzed and, despite the inevitability of physical risk in this area, engineering and administrative controls have proven to be effective in controlling and reducing the incidence of disease in the short and long term.

Keywords: *occupational risks, cyclotron, ionizing radiation, radiation protection.*

Introducción

Antecedentes

La problemática surge ante la necesidad de garantizar un entorno laboral seguro en un área hospitalaria de alta peligrosidad radiológica. La medicina nuclear implica procesos críticos como la síntesis de radiofármacos y el mantenimiento de equipos especializados, donde el error humano o la falla técnica pueden derivar en exposiciones no permitidas. Debido a que el hospital no contaba con una matriz de riesgos específica para este nuevo departamento, surge la urgencia de aplicar herramientas sistemáticas como la metodología GTC 45 para cuantificar peligros físicos, químicos, mecánicos y ergonómicos que antes no estaban mapeados en el área de medicina nuclear.

Problema de estudio

Los trabajadores del área de medicina nuclear en el hospital están expuestos a diversos riesgos los mismos que no están identificados, principalmente derivados de la manipulación de radiaciones ionizantes, materiales radiactivos y equipos especializados debido a su reciente apertura. En este contexto, surge la necesidad de identificar y evaluar los riesgos presentes en el área de medicina nuclear, con el fin de identificar los principales riesgos existentes y proponer medidas de control.

Estudios recientes han destacado la importancia de la gestión de riesgos en el entorno hospitalario, particularmente en áreas altamente peligrosas como la medicina nuclear. Por ejemplo, un estudio de Vásquez Meza, Arana Blas, y Tercero Rivera (2025) [13] subraya la variedad de riesgos laborales a los que está expuesto el personal de salud, incluyendo la exposición a radiaciones y agentes biológicos, lo cual es directamente relevante para el área de medicina nuclear. Este estudio también resalta la necesidad e importancia de implementar medidas de control efectivas para proteger a los trabajadores.

Otro estudio relevante es el de Gul (2020) [6], que mediante el uso de dos metodologías ha demostrado la importancia de utilizar métodos sistemáticos para analizar y priorizar los riesgos en un entorno que tiene una alta complejidad como lo es la medicina nuclear. Además, investigaciones como la de Proaño et al. (2017) [14] han examinado los riesgos mecánicos y su impacto en la seguridad y salud laboral, resaltando la importancia de prevenir accidentes relacionados con el uso de equipos y maquinaria en el área de medicina nuclear.

La exposición a nanomateriales en el ámbito laboral, revisada por McCormick, Niang, y Dahm (2021) [12], también presenta un paralelo importante, ya que, aunque no es el foco principal de la medicina nuclear, subraya la importancia de evaluar y controlar la exposición a sustancias potencialmente peligrosas, un principio fundamental en la seguridad radiológica. Asimismo, el estudio de Ortega Alarcón (2017) [1] sobre la importancia de la seguridad de los trabajadores en el cumplimiento de procesos y procedimientos, refuerza la idea de que la adherencia a protocolos de seguridad es esencial para minimizar los riesgos en el área de medicina nuclear.

Estos estudios proporcionan un contexto sólido para la investigación propuesta, demostrando que el análisis y la gestión de riesgos son temas críticos en el ámbito de la salud ocupacional, y particularmente en áreas que involucran tecnologías y materiales peligrosos como la medicina nuclear. La presente investigación busca construir sobre estos hallazgos, aplicando la metodología GTC 45 para identificar, evaluar y proponer medidas de control específicas para los riesgos en el área de medicina nuclear del hospital.

Justificación

Este estudio se justifica por la identificación de los riesgos laborales en el área de medicina nuclear para posteriormente realizar la evaluación de estos riesgos, lo que permitirá implementar medidas de control que intentan simplificar y prevenir tanto accidentes como enfermedades ocupacionales. Además, este estudio contribuirá a la creación de un entorno laboral más seguro y sostenible, promoviendo el bienestar y la productividad del personal en el área de medicina nuclear asegurando que sea un cambio constante y positivo para los trabajadores que se encuentran ahí.

Objetivos

Objetivo General

Analizar los Riesgos laborales para el área de Medicina Nuclear en un hospital, identificando sus posibles causas para prevenir las consecuencias de los mismos.

Objetivos específicos

- Identificar los riesgos laborales en el área de medicina nuclear mediante la metodología GTC45.

- Evaluar una metodología que permita acoplarse a los riesgos en el área de medicina nuclear.
- Proponer medidas de control para los riesgos identificados en el área de medicina nuclear.

Metodología

- **Análisis de los Puestos de Trabajo:** Identificación y descripción de las tareas específicas de los roles clave en el área de Medicina Nuclear
- **Elaboración de Diagramas de Flujo:** Diseño de flujogramas tipo operativo para visualizar la secuencia de actividades y puntos críticos de contacto con peligros en cada puesto evaluado.
- **Identificación y Estimación de Riesgos (GTC 45):** Aplicación de la Guía Técnica Colombiana 45 para cuantificar el Nivel de Riesgo (NR) mediante el cálculo del Nivel de Probabilidad (NP) y el Nivel de Consecuencia (NC).
- **Categorización de la Severidad:** Clasificación de los riesgos identificados.
- **Propuesta de Medidas de Control:** Definición de un plan de acción basado en la jerarquía de controles para mitigar los riesgos detectados en la evaluación inicial.

Adicionalmente, se realizó una inspección visual y observación directa en las áreas operativas para recabar información sobre equipos, herramientas y condiciones del lugar de trabajo, permitiendo detectar peligros físicos y ergonómicos que no siempre figuran en los manuales de procedimientos.

Capítulo I

Problema de Investigación

1.1. Seguridad y Salud en el Trabajo (SST)

La Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) se define como una disciplina que comprende el conjunto de políticas, procedimientos y prácticas diseñadas para proteger la salud y seguridad de los trabajadores en su entorno laboral [2]. Esto implica primordialmente la prevención de daños y padecimientos derivados de las circunstancias laborales, así como la identificación, evaluación y control de riesgos que pueden afectar la integridad física y mental de los empleados, mientras se resguarda y fomenta su bienestar corporal [3].

La SST requiere el compromiso de los empleadores al tener la obligación legal de proporcionar un ambiente de trabajo estable a sus trabajadores, implementando medidas de SST y cumpliendo con las normas legales. De igual manera del trabajador al tener la responsabilidad de participar activamente en la identificación de riesgos, utilizar correctamente el EPP, seguir las normas de seguridad y salud establecidas y colaborar en la implementación de las medidas preventivas.[4]

La SST de los empleados influye en la de sus familiares, colaboradores y sociedad en general, su introducción en la estrategia empresarial reporta eficiencia, optimiza recursos y genera beneficios económicos derivados tanto del ahorro de costes como de la reducción de contingencias y sanciones.[5]

1.2. Alcance de la SST

- **Prevención de Accidentes:** Implementación de medidas para evitar accidentes laborales y enfermedades profesionales.
- **Promoción de la Salud:** Fomento de un ambiente de trabajo saludable que mejore el bienestar físico y mental de los trabajadores.
- **Cumplimiento Normativo:** Asegurar que las organizaciones cumplan con las leyes y regulaciones relacionadas con la SST.
- **Mejora Continua:** Establecimiento de un sistema de gestión que permita la revisión y mejora constante de las condiciones de trabajo.

Su enfoque abarca el fomento y el cuidado del bienestar físico, psicológico y social de los empleados en todas las áreas laborales, junto con la optimización constante de las condiciones y el ambiente laboral.[1]

1.3. Riesgos Laborables

1.1.1. Definición y Tipos de Riesgos Laborales

Los riesgos laborales hacen referencia a aquellos peligros que pueden llegar a actuar sobre el individuo afectando así su salud o la seguridad del ambiente en el que se hallan los empleados. Estos riesgos se pueden hacer presentes a raíz de diversas fuentes, siendo, físicas, químicas, biológicas, ambientales, sociales y culturales.[4]

Los riesgos laborales se refieren a una mezcla de la gravedad y la probabilidad de que ocurran resultados no deseados.[6]

Los factores de riesgo son elementos que acrecientan la probabilidad de que se produzcan accidentes o enfermedades laborales.[6]

1.1.2. Severidad del Daño

Al evaluar el potencial de daño, es fundamental considerar dos aspectos principales: las partes del cuerpo que podrían soportar el impacto y la gravedad del daño, que puede oscilar entre leve y severo.

Estos factores son esenciales para una evaluación completa de los riesgos relacionados a una actividad o situación específica.

A continuación, se describe como se presenta ciertos tipos de daño leve incluyen cortes superficiales, pequeñas magulladuras y molestias como dolor de cabeza. En cuanto al daño moderado, se encuentran laceraciones, quemaduras, fracturas menores y condiciones como la dermatitis. Finalmente, el daño grave puede abarcar amputaciones, fracturas severas, intoxicaciones y enfermedades crónicas graves que pueden reducir notablemente la esperanza de vida, como el cáncer. [7]

1.1.3. Factores y Agentes de Riesgo

Los elementos y circunstancias de riesgo son componentes que se encuentran en el ambiente laboral que tienen el potencial de provocar perjuicios para la salud de los operarios. Las causas de riesgo pueden ser mecánico, físico, químico, biológico, ergonómico y psicosociales. [8]

Los agentes de riesgo comprenden sustancias, procedimientos, tareas o contextos particulares que pueden presentar una amenaza directa o indirecta para el bienestar y la protección de los operarios en su lugar de trabajo.[9]

Agregando a lo anterior, se muestra en la Tabla 1 sobre los factores de riesgo:

Tabla 1. Factores de Riesgo.[8]

Factores de riesgo	Agentes de riesgo
Riesgos Mecánicos	Máquina, Mecanismos de movimiento, Proyección de partículas, Herramientas manuales, Incendios, entre otros.
Riesgos Físicos	Ruido, Vibraciones, Radiaciones, Temperaturas extremas, Iluminación, entre otros.
Riesgos Químicos	Humo, Nieblas, Polvos, Gases, Vapores, entre otros.
Riesgos Biológicos	Virus, Bacterias, Hongos, Parásitos, entre otros.
Riesgos Ergonómicos	Fatiga física, Postura inadecuadas, Diseño del puesto de trabajo, Movimientos repetitivos, entre otros.

1.1.4. Riesgos Mecánicos

Se encuentran presentes los lugares o espacios de trabajo, los cuales pueden generar lesiones físicas debido a la presencia de equipos, herramientas o maquinaria riesgosa, las cuales pueden incurrir en: caídas, atrapamientos, cortaduras, proyecciones de partículas en los ojos, entre otros. [10]

Las lesiones resultantes pueden ser:

- Amputaciones
- Fracturas
- Laceraciones
- Contusiones
- Heridas y hematomas

1.1.5. Riesgos Físicos

Estos abarcan las circunstancias que proporciona la transferencia de energía entre el entorno y la persona, resultando en una exposición que supera la capacidad de tolerancia del organismo, entre ellos se citan a los más importantes: ruido, temperaturas extremas (calor o frío), vibraciones, radiaciones ionizantes, iluminación inapropiada, presiones inadecuadas, entre otros.[11]

1.1.6. Riesgos Químicos

Cualquier compuesto orgánico o inorgánico, de origen natural o creado artificialmente, que durante procesos de producción, manipulación, traslado, almacenamiento o utilización pueda dispersarse en el aire como partículas sólidas (polvo), emisiones gaseosas, vapores o humos. Estas sustancias poseen propiedades irritantes, corrosivas, asfixiantes o dañinas para el organismo, y cuando alcanzan concentraciones suficientes para representar un riesgo significativo, pueden comprometer la integridad física de quienes se exponen a ellas.[12]

1.1.7. Riesgos Biológicos

Los riesgos biológicos son los que están en distintos ambientes laborales los cuales al momento de ingresar al organismo del trabajador puede generar afecciones graves tales como: enfermedades infecciosas o parasitarias, reacciones alérgicas o intoxicaciones. [13]

Es común que se presenten estos riesgos en entidades que realicen actividades que tengan que ver con la ganadería, manipulación de grandes volúmenes de microorganismos presentes en animales, agricultura, hospitales, etc. Por tal razón hay dos tipos de exposición: 1) Exposición

intencional: uso o manipulación directa de agentes; 2) Exposición no intencional: derivada de actividades sin administración deliberada, pero con riesgo asociado. [14]

1.1.8. Riesgos Ergonómicos

Los riesgos ergonómicos están presentes en labores o situaciones del ambiente laboral que podrían causar una tensión física o mental al trabajador. Estos riesgos pueden surgir de tareas y movimientos repetitivos, posturas incómodas o forzadas, levantamiento de cargas pesadas, uso prolongado de equipos o herramientas mal diseñadas. [15]

Tareas que dan pie a afecciones musculoesqueléticas por la gran carga física, tales como tendinitis, síndrome del túnel carpiano, fatiga muscular, además de trastornos mentales como estrés, depresión o ansiedad.

1.4. Guía Técnica Colombiana 45

La GTC 45 de Colombia se establece como un referente normativo para la implementación de sistemas para la gestión de seguridad y salud en el trabajo en Colombia, con el fin de proporcionar un marco estructurado para la prevención de riesgos laborales. Esta guía se basa en estándares internacionales como la ISO 45001, adaptándolos a las necesidades específicas del contexto colombiano. Según Martínez, "la adopción de la GTC 45 contribuye a la mejora continua en los procesos laborales, ayudando a las organizaciones a crear entornos de trabajo más seguros y saludables". [16][17]

Además, la aplicación efectiva de esta normativa permite que las empresas puedan cumplir con todos los requisitos legales y éticos dentro de la materia de seguridad laboral, promoviendo el bienestar de los trabajadores y reduciendo los costos asociados con accidentes y enfermedades laborales.[18] La implementación de sistemas de gestión adecuados, como los recomendados por la GTC 45, ha demostrado ser esencial para fortalecer la cultura organizacional de seguridad, tal como lo indican González y Ramírez.[16]

1.5. Análisis de riesgos

Es una herramienta primordial para la correcta gestión de seguridad y salud en el trabajo. Permite reconocer, estimar, mitigar y prevenir los riesgos laborales, protegiendo la salud y seguridad de sus colaboradores, mejorando la productividad y cumpliendo con las normas legales.

1.6. Identificación de Riesgo

Es el primer paso para el análisis de riesgos, cuyo objetivo es identificar los posibles riesgos a los que se encuentran expuestos los colaboradores en sus puestos de trabajo.

Los aspectos considerados para identificar parte de recabar información sobre las actividades de los puestos de trabajo de la empresa, los equipos y herramientas empleados, los químicos presentes, las condiciones del lugar de trabajo y los datos históricos de accidentes y enfermedades laborales. [13]

La inspección visual en el lugar de trabajo es importante porque permite observar de primera mano los riesgos del contexto laboral, identificando aquellos que podrían pasar desapercibidos en otras etapas del análisis. Esto es especialmente importante para detectar peligros físicos, como maquinaria peligrosa, condiciones ergonómicas inadecuadas o instalaciones defectuosas, entre otros. [19]

1.7. Estimación de Riesgos

Corresponde a un procedimiento sistémico para calcular la frecuencia potencial de escenarios específicos y la magnitud de sus repercusiones, fundamentado en el procesamiento riguroso de información documentada. [20]

Para evaluar el nivel de riesgo (NR), se debe determinar:

$$\mathbf{NR = NP \times NC}$$

Ecuación 1. Fórmula para evaluar el nivel de riesgo.[20]

ecuación en la cual

NP = Nivel de probabilidad

NC = Nivel de consecuencia

Para poder determinar el NP se requiere:

$$\mathbf{NP = ND \times NE}$$

Ecuación 2. Fórmula para determinar el nivel de probabilidad.[20]

en donde:

ND = Nivel de deficiencia

NE = Nivel de exposición

Para determinar el ND se puede utilizar la Tabla 2, a continuación:

Tabla 2. Determinación del nivel de deficiencia.[17]

Nivel de deficiencia	Valor de ND	Significado
Muy Alto (MA)	10	Se ha(n) detectado peligro(s) que determina(n) como posible la generación de incidentes o consecuencias muy significativas, o la eficacia del conjunto de medidas preventivas existentes respecto al riesgo es nula o no existe, o ambos.
Alto (A)	6	Se ha(n) detectado algún(os) peligro(s) que pueden dar lugar a consecuencias significativa(s), o la eficacia del conjunto de medidas preventivas existentes es baja, o ambos.
Medio (M)	2	Se han detectado peligros que pueden dar lugar a consecuencias poco significativas o de menor importancia, o la eficacia del conjunto de medidas preventivas existentes es moderada, o ambos.
Bajo (B)	No se Asigna Valor	No se ha detectado consecuencia alguna, o la eficacia del conjunto de medidas preventivas existentes es alta, o ambos. El riesgo está controlado. Estos peligros se clasifican directamente en el nivel de riesgo y de intervención cuatro (IV).

La determinación del nivel de deficiencia para los peligros higiénicos (físico, químico, biológico u otro) puede hacerse en forma cualitativa o en forma cuantitativa.

Tabla 3. Determinación del nivel de exposición.[17]

Nivel de exposición	Valor de NE	Significado
Continua (EC)	4	La situación de exposición se presenta sin interrupción o varias veces con tiempo prolongado durante la jornada laboral.
Frecuente (EF)	3	La situación de exposición se presenta varias veces durante la jornada laboral por tiempos cortos.
Ocasional (EO)	2	La situación de exposición se presenta alguna vez durante la jornada laboral y por un periodo de tiempo corto.

Esporádica (EE)	1	La situación de exposición se presenta de manera eventual.
------------------------	----------	--

Para determinar el NP se combinan los resultados de las Tablas 2 y 3, en la Tabla 4.

Tabla 4. Determinación del nivel de probabilidad.[17]

Niveles de probabilidad		Nivel de exposición (NE)			
		4	3	2	1
Nivel de deficiencia (ND)	10	MA - 40	MA - 30	A - 20	A - 10
	6	MA - 24	A - 18	A - 12	M - 6
	2	MA - 8	M - 6	B - 4	B - 2

El resultado de la Tabla 4, se interpreta de acuerdo con el significado que aparece en la Tabla 5.

Tabla 5. Significado de los diferentes niveles de probabilidad.[17]

Nivel de probabilidad	Valor de NP	Significado
Muy Alto (MA)	Entre 40 y 24	Situación deficiente con exposición continua, o muy deficiente con exposición frecuente. Normalmente la materialización del riesgo ocurre con frecuencia.
Alto (A)	Entre 20 y 10	Situación deficiente con exposición frecuente u ocasional, o bien situación muy deficiente con exposición ocasional o esporádica. La materialización del riesgo es posible que suceda varias veces en la vida laboral.
Medio (M)	Entre 8 y 6	Situación deficiente con exposición esporádica, o bien situación mejorable con exposición continuada o frecuente. Es posible que suceda el daño alguna vez.
Bajo (B)	Entre 4 y 2	Situación mejorable con exposición ocasional o esporádica, o situación sin anomalía destacable con cualquier nivel de exposición. No es esperable que se materialice el riesgo, aunque puede ser concebible.

Se determina el nivel de consecuencias según los parámetros de la Tabla 6.

Tabla 6. Determinación del nivel de consecuencias.[17]

Nivel de Consecuencias	de NC	Significado
		Daños personales
Mortal o Catastrófico (M)	100	Muerte (s)
Muy grave (MG)	60	Lesiones o enfermedades graves irreparables (Incapacidad permanente parcial o invalidez).
Grave (G)	25	Lesiones o enfermedades con incapacidad laboral temporal (ILT).
Leve (L)	10	Lesiones o enfermedades que no requieren incapacidad.

1.8. Categorización

Tabla 7. Determinación del nivel de riesgo.[17]

Nivel de riesgo NR = NP x NC		Nivel de probabilidad (NP)			
		40-24	20-10	8-6	4-2
Nivel de consecuencias (NC)	100	I 4 000-2 400	I 2 000-1 200	I 800-600	II 400-200
	60	I 2 400-1 440	I 1 200-600	II 480-360	II 200 III 120
	25	I 1 000-600	II 500-250	II 200-150	III 100-50
	10	II 400-240	II 200 III 100	III 80-60	III 40 IV 20

Tabla 8. Significado del nivel de riesgo.[17]

Nivel de riesgo	Valor de NR	Significado
I	4 000 - 600	Situación crítica. Suspender actividades hasta que el riesgo esté bajo control. Intervención urgente.
II	500 - 150	Corregir y adoptar medidas de control de inmediato. Sin embargo, suspenda actividades si el nivel de riesgo está por encima o igual de 360.
III	120 - 40	Mejorar si es posible. Sería conveniente justificar la intervención y su rentabilidad.
IV	20	Mantener las medidas de control existentes, pero se deberían considerar soluciones o mejoras y se deben hacer comprobaciones periódicas para asegurar que el riesgo aún es aceptable.

1.9. Planificación de Acciones Preventivas

Si se detecta que un trabajador ha recibido una dosis superior a los límites permitidos, o si se encuentra un incremento significativo en los niveles de radiación ambiental, deben implementarse las siguientes acciones:

- **Investigación:** Se realiza una investigación para identificar la fuente y las causas del incremento de la dosis o exposición.
- **Revisión de las condiciones de trabajo:** Si es necesario, se reevalúan los procedimientos de trabajo y las prácticas de protección radiológica.
- **Capacitación:** Si se identifican deficiencias en las prácticas de seguridad, se programan sesiones de capacitación y se refuerzan los procedimientos de protección.
- **Reducción de las horas de exposición:** En situaciones extremas, se puede reducir el tiempo de exposición o cambiar las actividades del trabajador para reducir la dosis.

1.10. Medidas de Control.



Figura 1. Jerarquía de Controles.[21]

- **Eliminación:** Este control se considera el método más eficaz. Consiste en retirar o eliminar físicamente el peligro del entorno en el que plantea riesgos para las personas (por ejemplo, equipos, máquinas, herramientas o materiales peligrosos).[21]
- **Sustitución:** Este control actúa como segunda defensa. Sustituye el peligro por algo que es menos o no peligroso. Por ejemplo, sustituyendo un producto químico de limpieza por otro que no produzca gases nocivos. [21]
- **Control de Ingeniería:** Cuando un peligro no puede controlarse mediante los dos primeros controles, la siguiente mejor opción es aplicar controles de ingeniería. Esto significa, reorganizar el entorno de trabajo para aislar a las personas del peligro. Por ejemplo, la colocación de barandillas o vallas alrededor de las zonas con equipos de alta tensión, el uso de materiales que amortigüen el sonido y otras medidas. [21]
- **Control Administrativo:** Menos eficaz que las anteriores, pero mantiene la seguridad de las personas al dirigirlos hacia procedimientos de trabajo más seguros. Mediante normas y políticas, señales de advertencia, etiquetas e información. [21]

- **Equipo de Protección Personal:** Como última línea de defensa, los EPI están diseñados para dotar a las personas del equipo adecuado para combatir los peligros. Entre los EPI más comunes se encuentran los cascos o los cascos duros, las gafas, los guantes, las botas, los respiradores y la ropa de alta visibilidad. [21]

Para elegir el control más eficaz, los empresarios tendrán que basarse en los datos recogidos en una auditoría de seguridad y en la información facilitada por los trabajadores. [21]

1.11. Radiación Ionizante

Desde la perspectiva de la física radiológica, la radiación ionizante se caracteriza por su capacidad para alterar la estructura atómica mediante la emisión de partículas subatómicas y fotones energéticos. Cabe destacar que exposiciones de baja exhiben propiedades ionizantes únicamente en entornos controlados. Esta dicotomía fundamenta la adopción de un criterio convencional (≈ 10 KeV) como límite operacional entre la radiación ionizante y no ionizante. [22]

Capítulo II

2.1. Estimación del Riesgo Laboral por puesto de Trabajo

La estimación del riesgo laboral por puesto de trabajo nos ayuda a entender el nivel de peligro específico de cada rol dentro del área. Para ello, se considera las posturas, tareas y el entorno en el que se realizan las actividades de trabajo. Determinar la peligrosidad laboral por puesto facilita la comprensión de vulnerabilidades funcionales, el proceso considera la interacción entre movimientos corporales, actividades asignadas y variables del espacio operativo.

2.2. Análisis de los puestos de trabajo del área de medicina nuclear

2.2.1. Jefe de Operación - Físico Médico

Diagrama de flujo tipo Operario: En la figura 2 se puede observar el flujograma del puesto Jefe de Operaciones.

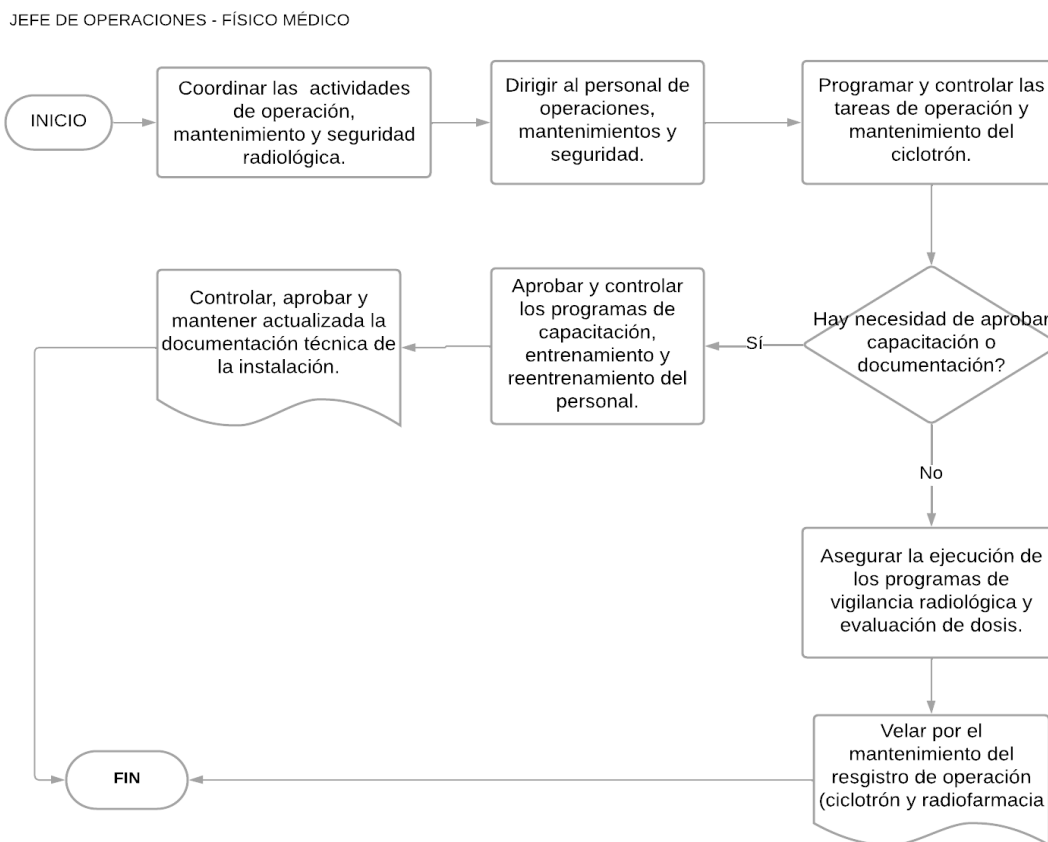


Figura 2. Diagrama de flujo tipo Operario – Jefe de Operaciones.

Estimación del riesgo: En la figura 3 se observa la valoración de la estimación de los riesgos identificados en el puesto de Jefe de operaciones – Físico Medico.

Tabla 9. Estimación del riesgo – Jefe de Operación Físico- Médico.

IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS RIESGOS							
CLASIFICACIÓN FACTORES DE RIESGO	DESCRIPCIÓN DEL RIESGO	ESTIMACIÓN DEL RIESGO					
		NIVEL DEFICIENCIA	NIVEL EXPOSICIÓN	NIVEL DE PROBABILIDAD	NIVEL DE CONSECUENCIA	NIVEL DEL RIESGO	SIGNIFICADO
FÍSICO	Radiaciones Ionizantes	6	3	18	60	1080	Situación crítica. Suspender actividades hasta que el riesgo este bajo control. Intervención urgente.
FÍSICO	Exposición a niveles de sonido no deseados y excesivo	6	1	6	60	360	Corregir y adoptar medidas de control de inmediato. Sin embargo, suspenda actividades si el nivel de consecuencia está por encima de 360.
FÍSICO	Iluminación Deficiente/Excesiva	6	3	18	60	1080	Situación crítica. Suspender actividades hasta que el riesgo este bajo control. Intervención urgente.
MECÁNICO	Contusiones, aplastamiento, fracturas en pies/manos.	2	2	4	25	100	Mejorar si es posible. Sería conveniente justificar la intervención y su rentabilidad.
MECÁNICO	Lesiones oculares, heridas punzantes.	2	1	2	25	50	Mejorar si es posible. Sería conveniente justificar la intervención y su rentabilidad.

ERGONOMICO	Posturas prolongadas/Movimientos repetitivos	2	3	6	10	60	Mejorar si es posible. Sería conveniente justificar la intervención y su rentabilidad.
------------	--	---	---	---	----	----	--

2.2.2. Operador de Ciclotrón

Diagrama de flujo tipo Operario: En la figura 4 se puede observar el flujograma del puesto Operario.

OPERADOR DE CICLOTRÓN

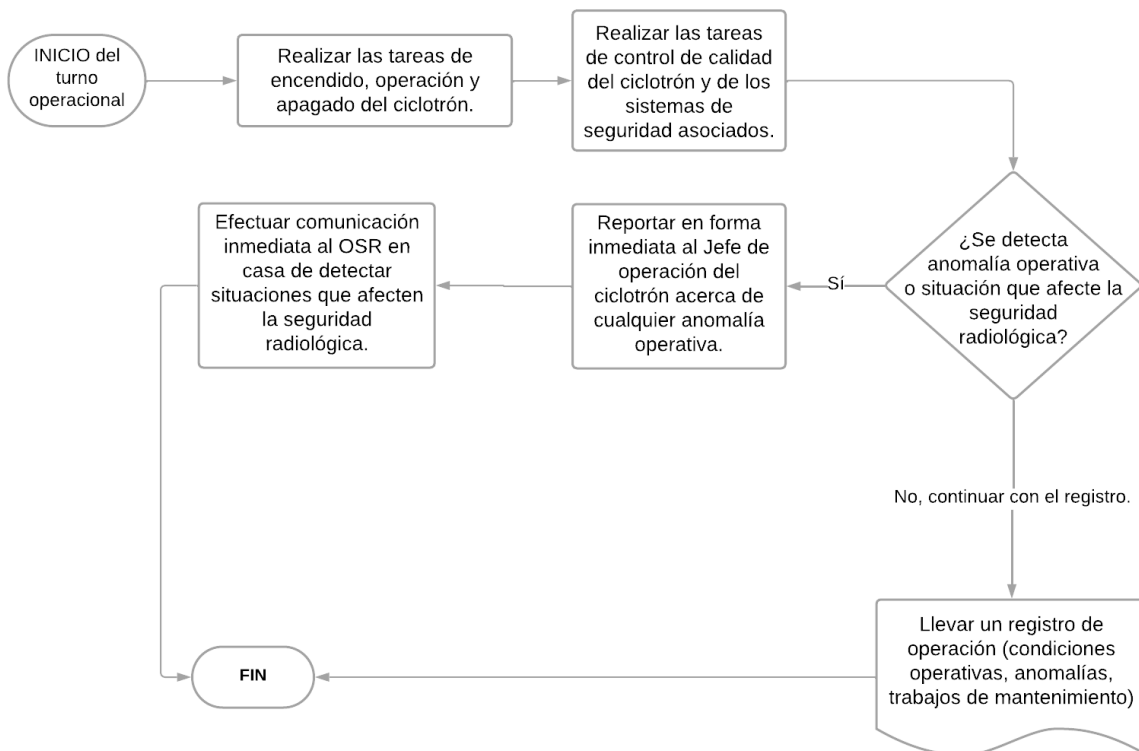


Figura 3. Diagrama de flujo tipo Operario – Operador de Ciclotrón.

Estimación del riesgo: En la figura 5 se observa la valoración de la estimación de los riesgos identificados en el puesto de Operador de ciclotrón.

Tabla 10. Estimación del riesgo – Operador de Ciclotrón

IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS RIESGOS							
CLASIFICACIÓN FACTORES DE RIESGO	DESCRIPCIÓN DEL RIESGO	ESTIMACIÓN DEL RIESGO					
		NIVEL DEFICIENCIA	NIVEL EXPOSICIÓN	NIVEL DE PROBABILIDAD	NIVEL DE CONSECUENCIA	NIVEL DEL RIESGO	SIGNIFICADO
FÍSICO	Radiaciones Ionizantes	6	3	18	60	1080	Situación crítica. Suspender actividades hasta que el riesgo esté bajo control. Intervención urgente.
FÍSICO	Exposición a niveles de sonido no deseados y excesivos	6	1	6	60	360	Corregir y adoptar medidas de control de inmediato. Sin embargo, suspenda actividades si el nivel de riesgo está por encima o igual de 360.
FÍSICO	Contactos Eléctricos Directos e Indirectos	2	1	2	10	20	Mantener las medidas de control existentes, pero se deberían considerar soluciones o mejoras y se deben hacer comprobaciones periódicas para asegurar que el riesgo aún es aceptable.
ERGONOMICO	Manipulación manual de cargas	2	3	6	10	60	Mejorar si es posible. Sería conveniente justificar la intervención

							y su rentabilidad.
MECÁNICO	Golpes por objetos o herramientas	2	3	6	25	150	Corregir y adoptar medidas de control de inmediato. Sin embargo, suspenda actividades si el nivel de riesgo está por encima o igual de 360.
MECÁNICO	Atrapamiento	6	2	12	60	720	Situación crítica. Suspender actividades hasta que el riesgo esté bajo control. Intervención urgente.
MECÁNICO	Caída de herramientas	2	2	4	25	100	Mejorar si es posible. Sería conveniente justificar la intervención y su rentabilidad.
QUÍMICO	Gases comprimidos	6	2	12	60	720	Situación crítica. Suspender actividades hasta que el riesgo esté bajo control. Intervención urgente.

2.2.3. Operador de Celdas

Diagrama de flujo tipo Operario: En la figura 6 se puede observar el flujograma del puesto Operador de Celdas.

OPERADOR DE LAS CELDAS

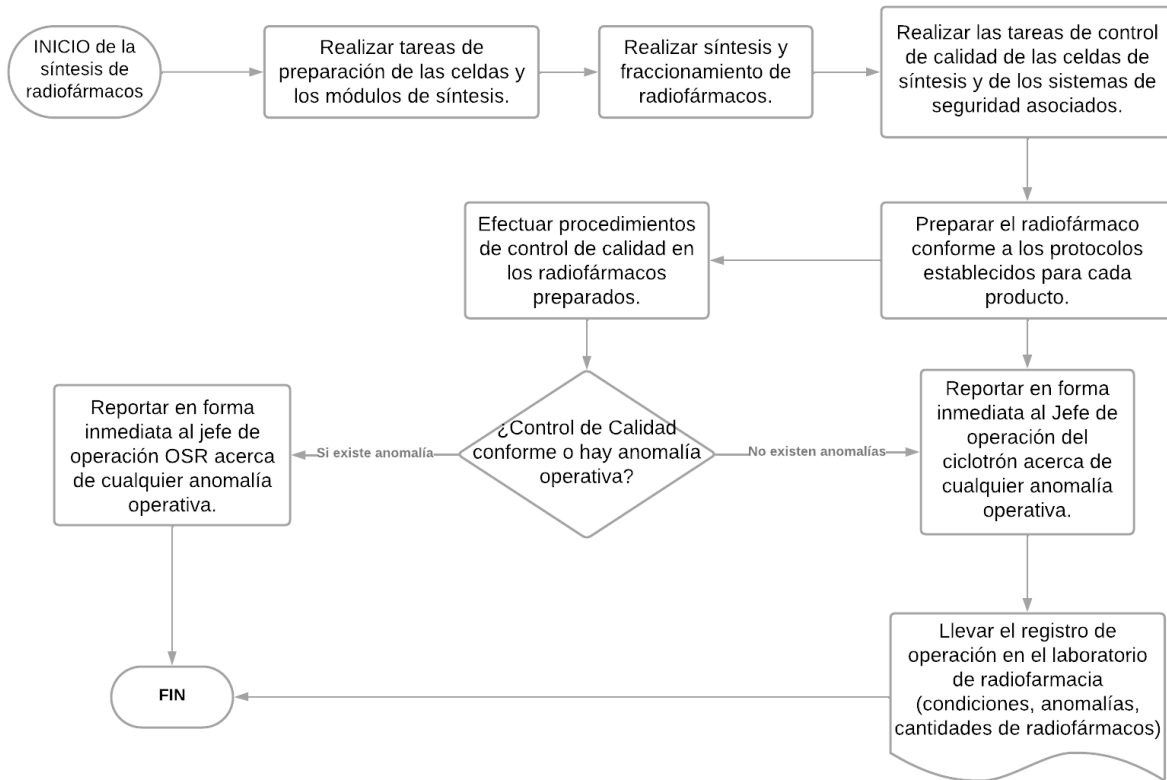


Figura 4. Diagrama de flujo tipo Operario – Operador de Celdas.

Estimación del riesgo: En la figura 7 se observa la valoración de la estimación de los riesgos identificados en el puesto de Operador de celdas.

Tabla 11. Estimación del riesgo – Operador de Celdas.

IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS RIESGOS							
CLASIFICACIÓN FACTORES DE RIESGO	DESCRIPCIÓN DEL RIESGO	ESTIMACIÓN DEL RIESGO					
		NIVEL DEFICIENCIA	NIVEL EXPOSICIÓN	NIVEL DE PROBABILIDAD	NIVEL DE CONSECUENCIA	NIVEL DEL RIESGO	SIGNIFICADO
FÍSICO	Radiaciones Ionizantes	6	3	18	60	1080	Situación crítica. Suspender actividades hasta que el riesgo este bajo control. Intervención urgente
QUÍMICO	Quemaduras o Intoxicación por contacto con químicos	6	3	18	60	1080	Situación crítica. Suspender actividades hasta que el riesgo este bajo control. Intervención urgente
FÍSICO	Iluminación Deficiente/Excesiva	2	3	6	10	60	Mejorar si es posible. Sería conveniente justificar la intervención y su rentabilidad
ERGONOMICO	Posturas prolongadas/ Movimientos repetitivos	2	3	6	10	60	Mejorar si es posible. Sería conveniente justificar la intervención y su rentabilidad
FÍSICO	Contactos Eléctricos Directos Indirectos	2	1	2	10	20	Mantener las medidas de control existentes, pero se deberían considerar soluciones o mejoras y se deben hacer comprobaciones periódicas para asegurar que el riesgo aun es tolerable

MECÁNICO	Cortes o pinchazos	2	3	6	25	150	Corregir y adoptar medidas de control de inmediato. Sin embargo, suspenda actividades si el nivel de riesgo está por encima o igual de 360.
MECÁNICO	Proyección de fluidos a presión	6	2	12	60	720	Situación crítica. Suspender actividades hasta que el riesgo esté bajo control. Intervención urgente.
QUÍMICO	Gases y Vapores	2	3	6	25	150	Corregir y adoptar medidas de control de inmediato. Sin embargo, suspenda actividades si el nivel de riesgo está por encima o igual de 360.
QUÍMICO	Líquidos (Corrosivos/Tóxicos)	2	2	4	25	100	Mejorar si es posible. Sería conveniente justificar la intervención y su rentabilidad.

2.2.4. Oficial de Seguridad Radiológica

Diagrama de flujo tipo Operario: En la figura 8 se puede observar el flujograma del puesto Oficial de Seguridad Radiológica.

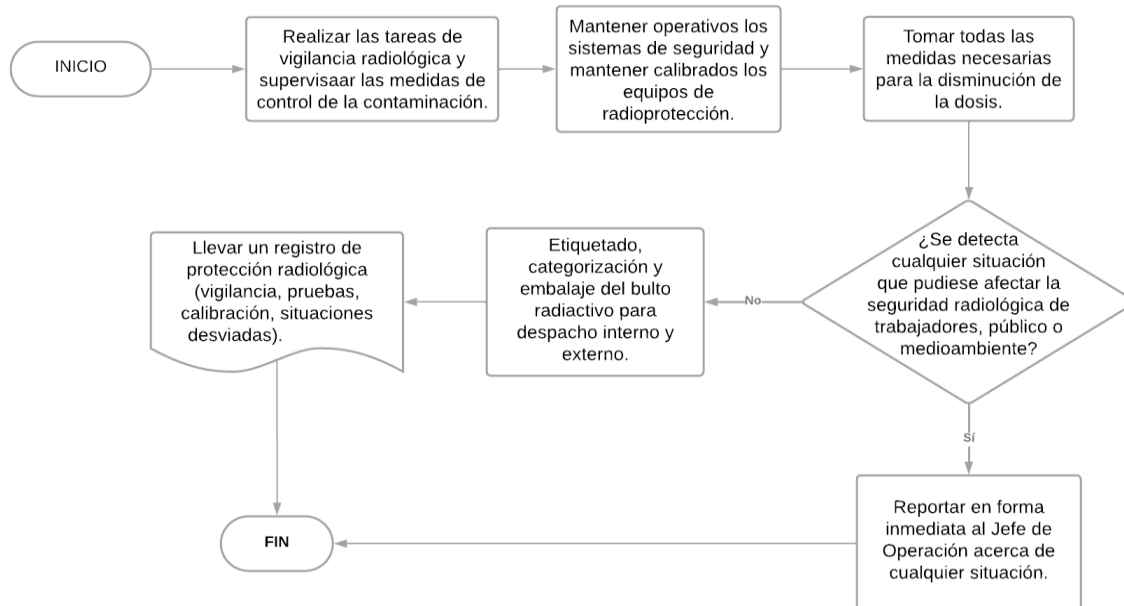


Figura 5. Diagrama de flujo tipo Operario – Oficial de Seguridad Radiológica.

Estimación del riesgo: En la figura 9 se observa la valoración de la estimación de los riesgos identificados en el puesto de Oficial de seguridad radiológica.

Tabla 12. Estimación del riesgo – Oficial de Seguridad Radiológica.

IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS RIESGOS							
CLASIFICACIÓN DE FACTORES DE RIESGO	DESCRIPCIÓN DEL RIESGO	ESTIMACIÓN DEL RIESGO					SIGNIFICADO
		NIVEL DE DEFICIENCIA	NIVEL DE EXPOSICIÓN	NIVEL DE PROBABILIDAD	NIVEL DE CONSECUENCIA	NIVEL DEL RIESGO	
FÍSICO	Radiaciones Ionizantes	6	3	18	60	1080	Situación crítica. Suspender actividades hasta que el riesgo esté bajo control. Intervención urgente.
FÍSICO	Contactos Eléctricos Directos e Indirectos	2	1	2	10	20	Mantener las medidas de control existentes, pero se deberían considerar

							soluciones o mejoras y se deben hacer comprobaciones periódicas para asegurar que el riesgo aun es tolerable
QUÍMICO	Quemaduras o Intoxicación por contacto con químicos	6	3	18	60	1080	Situación crítica. Suspender actividades hasta que el riesgo esté bajo control. Intervención urgente.
ERGONOMICO	Posturas prolongadas	2	3	6	10	60	Mejorar si es posible. Sería conveniente justificar la intervención y su rentabilidad.
MECÁNICO	Caídas de personas al mismo nivel o a distinto nivel	2	1	2	25	50	Mejorar si es posible. Sería conveniente justificar la intervención y su rentabilidad.
MECÁNICO	Golpes por objetos o herramientas / Golpes contra objetos o superficie	2	1	2	25	50	Mejorar si es posible. Sería conveniente justificar la intervención y su rentabilidad.
MECÁNICO	Atrapamiento por Vehículos	2	2	4	60	240	Corregir y adoptar medidas de control de inmediato. Sin embargo, suspenda actividades si el nivel de riesgo está por encima o igual de 360.
QUÍMICO	Sustancias de limpieza	2	2	4	10	40	Mantener las medidas de control existentes, pero se deberían

							considerar soluciones o mejoras y se deben hacer comprobaciones periódicas para asegurar que el riesgo aun es tolerable
--	--	--	--	--	--	--	---

2.3. Resumen de Riesgos Laborales

El diagnóstico de seguridad se fundamenta en la Tabla 13 y la Tabla 14, las cuales presentan un resumen consolidado de los riesgos detectados en las funciones del departamento de medicina nuclear. Cada uno de ellos ha sido analizado y categorizado bajo los lineamientos de la guía técnica GTC - 45, tomando en cuenta tanto las particularidades de las tareas efectuadas como el ambiente de trabajo documentado.

Mientras que la Tabla 13 organiza los hallazgos según su nivel de prioridad (Nivel I a IV), la Tabla 14 permite visualizar la carga de riesgos específica por cada puesto de trabajo y tipo de riesgo. Este conjunto de datos facilita una comprensión global de los hallazgos y orienta la selección de acciones preventivas prioritarias para mitigar los riesgos críticos identificados.

Tabla 13. Resumen de Riesgos Laborales identificados en el área de medicina nuclear.

RIESGOS IDENTIFICADOS	NIVEL DE RIESGOS				TOTAL DE RIESGOS
	I	II	III	IV	
RIESGO FÍSICO	5	2	1	3	11
RIESGO MECÁNICO	2	3	5	-	10
RIESGO QUÍMICO	3	1	2	-	6
RIESGO ERGONÓMICO	-	-	4	-	4
TOTAL ESTIMACIÓN DE	10	6	12	3	

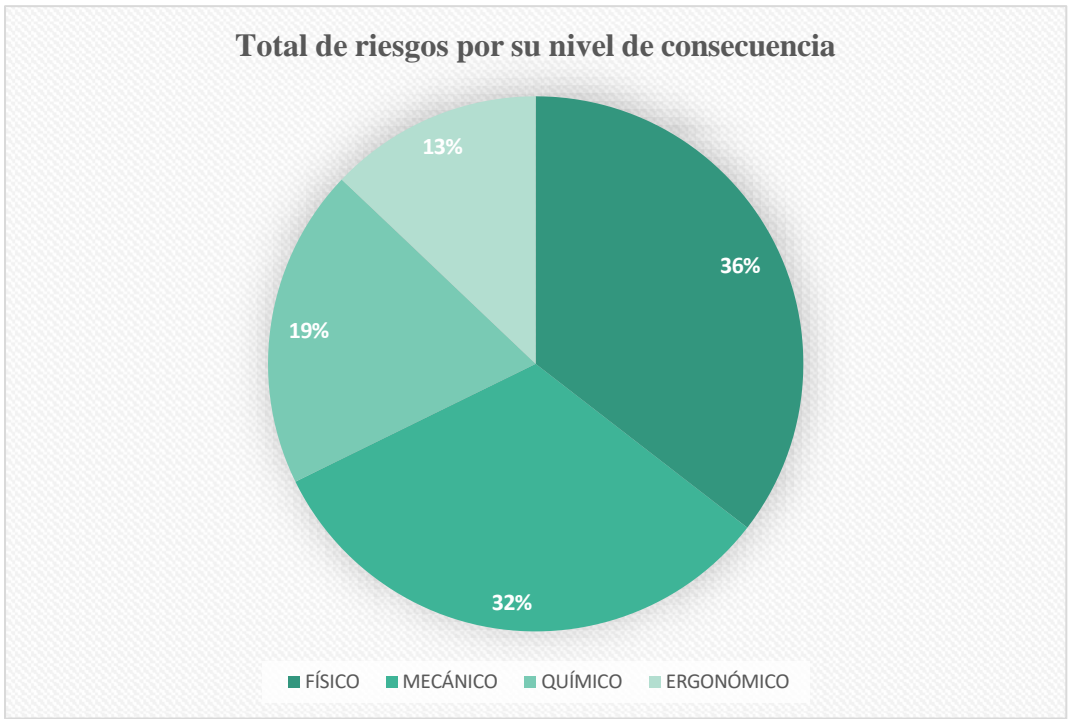


Figura 6 Pastel de porcentajes total de riesgos por su nivel de consecuencia.

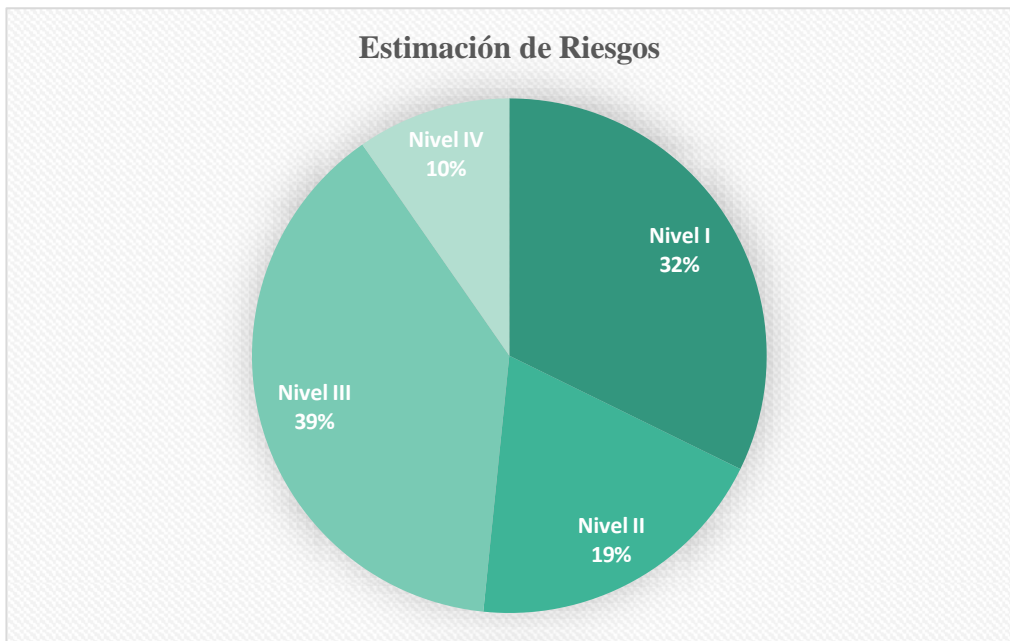


Figura 7. Pastel de Estimación de riesgos.

Tabla 14 Sumatoria de riesgos por puesto de trabajo.

PUESTOS DE TRABAJO	NIVEL DE RIESGOS				TOTAL POR PUESTO
	MECÁNICO	FÍSICO	QUÍMICO	ERGONÓMICOS	
JEFE DE OPERACIÓN	2	3	-	1	6
OPERADOR DE CICLOTRÓN	3	3	1	1	8
OPERADOR DE CELDAS	2	3	3	1	9
OFC. DE SEGURIDAD RADIOLÓGICA	3	2	2	1	8
TOTAL TIPO DE RIESGO	10	11	6	4	

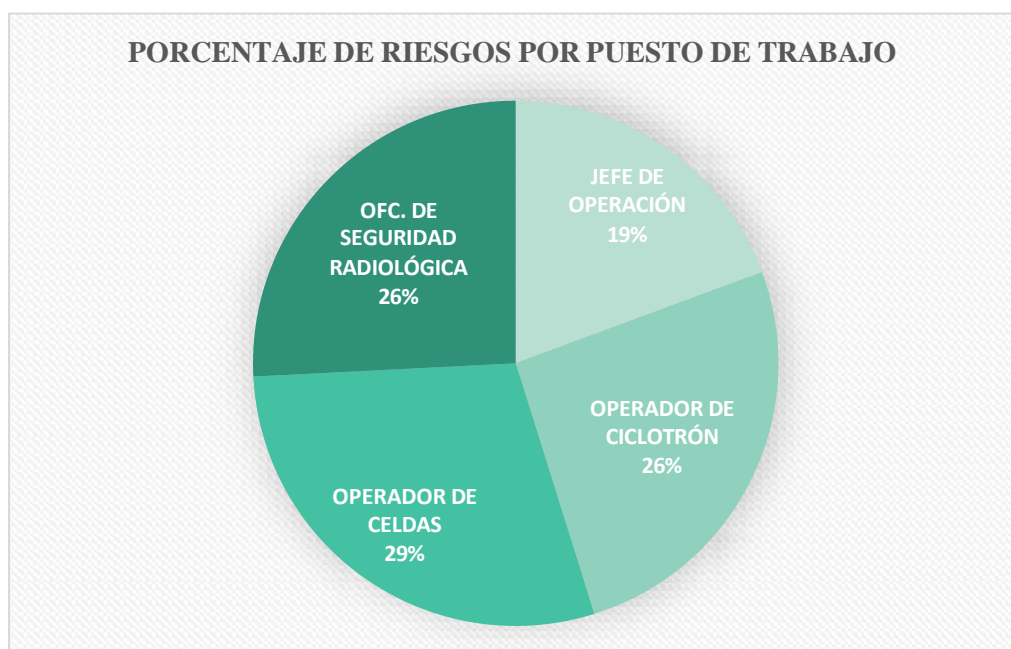


Figura 8 Porcentaje por puesto de trabajo.

Capítulo III

3.1. Análisis de los resultados del método GTC 45

Este estudio consiste en identificar y proponer medidas de control para minimizar los riesgos laborales dentro de cada puesto de trabajo del área de medicina nuclear. Mediante un análisis detallado se determinan controles administrativos, controles de ingeniería y el uso de EPPS adecuados con los que se logre controlar los riesgos del área de trabajo.

La propuesta de estas estrategias busca reducir los daños en la salud a largo plazo de los empleados debido a los riesgos presentes en el área de medicina nuclear.

3.2. Medidas de control para cada puesto de trabajo

3.2.1. Jefe de Operación – Físico Médico

La Figura 10 presenta las medidas de control propuestas para el puesto de Jefe de Operación - Físico Médico, diseñadas para mitigar los riesgos identificados.

Tabla 15. Análisis de resultados – Jefe de Operación Físico-Médico.

IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS RIESGOS				PLAN DE ACCIÓN DEL CONTROL DE RIESGOS				
CLASIFICACIÓN FACTORES DE RIESGO	DESCRIPCIÓN DEL RIESGO	ESTIMACIÓN DEL RIESGO		FUENTE		MEDIO		TRABAJO
		NIVEL DEL RIESGO	SIGNIFICADO	Eliminación	Sustitución	Controles de ingeniería	Controles administrativos	EPP
FÍSICO	Radiaciones Ionizantes	1080	Situación crítica. Suspende actividades hasta que el riesgo este bajo control. Intervención urgente	N/A	N/A	Control scanner de radiación, dosímetro de Termoluminiscente, dosímetro electrónico	Implementación de horarios rotativos, Programa de vigilancia radiológica y capacitación en protección radiológica.	Botas de punta de acero, Mandil estéril, guantes estériles, cofia, mascarilla,
FÍSICO	Exposición a niveles de sonido no deseados y excesivos	360	Corregir y adoptar medidas de control de inmediato. Sin embargo, suspenda actividades si	N/A	N/A	sonómetro dentro de las áreas donde más exista sonido excesivo	Señalización de uso obligatorio de protección auditiva y audiometrías anuales.	botas quirúrgicas desechables.

			el nivel de consecuencia está por encima de 360				
FÍSICO	Iluminación Deficiente/Excesiva	1080	Situación crítica. Suspende actividades hasta que el riesgo este bajo control. Intervención urgente	N/A	N/A	Control scanner de radiación, dosímetro de Termoluminiscente, dosímetro electrónico	Realización de estudios de luxometría periódicos y mantenimiento de luminarias.
MECÁNICO	Contusiones, aplastamiento, fracturas en pies/manos.	100	Mejorar si es posible. Sería conveniente justificar la intervención y su rentabilidad.	N/A	N/A	Uso de dispositivos de izaje certificados (polipastos) para el movimiento de blindajes y topes de seguridad en estanterías de repuestos pesados.	Procedimiento de izaje de cargas y delimitación de áreas de maniobra.
MECÁNICO	Lesiones oculares, heridas punzantes.	50	Mejorar si es posible. Sería conveniente justificar la intervención y su rentabilidad.	N/A	N/A	Uso de dispositivos de izaje certificados (polipastos) para el movimiento de blindajes y topes de seguridad en estanterías de repuestos pesados.	Implementación de horarios rotativos
ERGONOMICO	Posturas prolongadas/Movimientos repetitivos	60	Mejorar si es posible. Sería conveniente justificar la intervención y su rentabilidad.	N/A	N/A	Adquisición de sillas ergonómicas con 5 apoyos	Implementación de pausas activas, capacitación en higiene postural y exámenes médicos osteomusculares.

3.2.2. Operador de Ciclotrón

La Figura 11 presenta las medidas de control propuestas para el puesto de director de construcción, diseñadas para mitigar los riesgos identificados.

Tabla 16. Análisis de resultados – Operador de Ciclotrón.

IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS RIESGOS				PLAN DE ACCIÓN DEL CONTROL DE RIESGOS				
CLASIFICACIÓN FACTORES DE RIESGO	DESCRIPCIÓN DEL RIESGO	ESTIMACIÓN DEL RIESGO		FUENTE		MEDIO		TRABAJADOR
		NIVEL DEL RIESGO	SIGNIFICADO	Eliminación	Sustitución	Control de ingeniería	Control de administrativos	EPP
FÍSICO	Radiaciones Ionizantes	1080	Situación crítica. Suspendir actividades hasta que el riesgo esté bajo control. Intervención urgente.	N/A	N/A	Control scanner de radiación, Dosímetro de Termoluminiscente, Dosímetro electrónico.	Implementación de horarios rotativos, Protocolos de tiempos de exposición y vigilancia radiológica	Botas de punta de acero, Mandil
FÍSICO	Exposición a niveles de sonido no deseados y excesivos	360	Corregir y adoptar medidas de control de inmediato. Sin embargo, suspenda actividades si el nivel de riesgo está por encima o igual de 360.	N/A	N/A	Sonómetro dentro de las áreas donde más exista sonido excesivo	Señalización de uso obligatorio de protección auditiva y audiometrías anuales.	estéril, guantes desértiles, cofia, mascarilla, botas quirúrgicas desechables.
FÍSICO	Contactos Eléctricos Directos e Indirectos	20	Mantener las medidas de control existentes, pero se deberían	N/A	N/A	Instalación de interruptores diferenciales	Inspecciones previas de uso de cables y programa de	

			considerar soluciones o mejoras y se deben hacer comprobaciones periódicas para asegurar que el riesgo aún es aceptable.				mantenimiento preventivo
ERGONOMICO	Manipulación manual de cargas	60	Mejorar si es posible. Sería conveniente justificar la intervención y su rentabilidad.	N/A	N/A	Uso de mesas elevadoras hidráulicas	Capacitación en técnicas de levantamiento seguro de cargas y establecimiento de pesos máximos permitidos.
MECÁNICO	Golpes por objetos o herramientas	150	Corregir y adoptar medidas de control de inmediato. Sin embargo, suspenda actividades si el nivel de riesgo está por encima o igual de 360.	N/A	N/A	Instalación de mallas de seguridad o rebordes en las plataformas superiores del ciclotrón.	Programas de Orden y Limpieza (5S)
MECÁNICO	Atrapamiento	720	Situación crítica. Suspenda actividades hasta que el riesgo esté bajo control. Intervención urgente.	N/A	N/A	Sensores de parada de emergencia	Procedimiento de Bloqueo y Etiquetado (LOTO) para mantenimientos rutinarios.

MECÁNICO	Caída de herramientas	100	Mejorar si es posible. Sería conveniente justificar la intervención y su rentabilidad.	N/A	N/A	Instalación de mallas perimetrales de seguridad en las pasarelas superiores	Programas de Orden y Limpieza (5S)
QUÍMICO	Gases comprimidos	720	Situación crítica. Suspender actividades hasta que el riesgo esté bajo control. Intervención urgente.	N/A	N/A	Sensores de deficiencia de Oxígeno con alarma sonora y visual.	Procedimiento de inspección de racores y mangueras.

3.2.3. Operador de Celdas.

La Figura 12 presenta las medidas de control propuestas para el puesto de Operador de celdas, diseñadas para mitigar los riesgos identificados.

Tabla 17. Análisis de resultados – Operador de Celdas.

IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS RIESGOS				PLAN DE ACCIÓN DEL CONTROL DE RIESGOS				
CLASIFICACIÓN FACTORES DE RIESGO	DESCRIPCIÓN DEL RIESGO	ESTIMACIÓN DEL RIESGO		FUENTE		MEDIO		TRABAJADOR
		NIVEL DEL RIESGO	SIGNIFICADO	Eliminación	Sustitución	Controles de ingeniería	Controles administrativos	EPP
FÍSICO	Radiaciones Ionizantes	1080	Situación crítica. Suspender actividades hasta que el riesgo esté bajo control. Intervención urgente	N/A	N/A	Control scanner de radiación, Dosímetros de Termoluminiscente, dosímetro electrónico	Implementación de horarios rotativos, Protocolos de tiempos de exposición y vigilancia	Botas de punta de acero, Mandil estéril, guantes estériles, cofia, mascarilla, botas quirúrgicas desechables.

							radiológica
QUÍMICO	Quemaduras o Intoxicación por contacto con químicos	1080	Situación crítica. Suspender actividades hasta que el riesgo este bajo control. Intervención urgente	N/A	N/A	Control scanner de radiación, dosímetro de Termoluminiscente, dosímetro electrónico	Señalización y Etiquetado Normalizado
FÍSICO	Iluminación Deficiente/Excesiva	60	Mejorar si es posible. Sería conveniente justificar la intervención y su rentabilidad	N/A	N/A	Diseño de Iluminación General y Localizada	Realización de estudios de luxometría periódicos y mantenimiento de luminarias.
ERGONOMICO	Posturas prolongadas/ Movimientos repetitivos	60	Mejorar si es posible. Sería conveniente justificar la intervención y su rentabilidad	N/A	N/A	Implementación de micropipetas electrónicas multicanales	Rotación de tareas entre síntesis y fraccionamiento para evitar la fatiga muscular acumulada en las manos.
FÍSICO	Contactos Eléctricos Directos Indirectos	20	Mantener las medidas de control existentes, pero se deberían considerar soluciones o mejoras y se deben hacer	N/A	N/A	Instalación de interruptores diferenciales	Inspecciones pre-uso de cables y programa de mantenimiento

			comprobaciones periódicas para asegurar que el riesgo aun es tolerable				preventivo
MECÁNICO	Cortes o pinchazos	150	Corregir y adoptar medidas de control de inmediato. Sin embargo, suspenda actividades si el nivel de riesgo está por encima o igual de 360.	N/A	N/A	Contenedores para cortopunzo antes con tapa de seguridad y uso de pinzas de largo alcance.	Procedimiento operativo estándar (SOP) para manejo de material de vidrio.
MECÁNICO	Proyección de fluidos a presión	720	Situación crítica. Suspender actividades hasta que el riesgo esté bajo control. Intervención urgente.	N/A	N/A	Barreras de acrílico plomado y bandejas de contención para derrames químicos.	Capacitación en respuesta a derrames químicos y biológicos.
QUÍMICO	Gases y Vapores	150	Corregir y adoptar medidas de control de inmediato. Sin embargo, suspenda actividades si el nivel de riesgo está por encima o igual de 360.	N/A	N/A	Campanas de extracción de gases y vapores, Estaciones de Lavado de Emergencia	Señalización y Etiquetado Normalizado
QUÍMICO	Líquidos (Corrosivos/ Tóxicos)	100	Mejorar si es posible. Sería conveniente justificar la intervención y su rentabilidad.	N/A	N/A	Uso de recipientes con dosificadores automáticos para evitar trasvases manuales y salpicaduras.	Hojas de Datos de Seguridad (SDS) disponibles en el área. Capacitación en el Sistema

							Globalmente Armonizado (SGA).	
--	--	--	--	--	--	--	-------------------------------	--

3.2.4. Oficial de Seguridad Radiológica (OSR)

La Figura 13 presenta las medidas de control propuestas para el puesto de Oficial de Seguridad Radiológica (OSR), diseñadas para mitigar los riesgos identificados.

Tabla 18. Análisis de resultados – OSR.

IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS		PLAN DE ACCIÓN DEL CONTROL DE RIESGOS						
CLASIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN DEL RIESGO	ESTIMACIÓN DEL RIESGO		FUENTE		MEDIO		TRABAJADOR
		NIVEL DEL RIESGO	SIGNIFICADO	Eliminación	Sustitución	Controles de ingeniería	Controles administrativos	EPP
FÍSICO	Radiaciones Ionizantes	1080	Situación crítica. Suspender actividades hasta que el riesgo esté bajo control. Intervención urgente.	N/A	N/A	Control scanner de radiación, dosímetro de Termoluminiscente, dosímetro electrónico	Implementación de horarios rotativos	
FÍSICO	Contactos Eléctricos	20	Mantener las medidas de control existentes, pero deberían considerarse soluciones mejoras y se	N/A	N/A	Instalación de interruptores	Inspecciones pre-uso de cables y programa de	Botas de

	Directos e Indirectos		deben hacer comprobaciones periódicas para asegurar que el riesgo aun es tolerable			res diferenciales	mantenimiento preventivo	punta de acero, Mandil estéril, guantes estériles, cofia, mascarilla, botas quirúrgicas desechables.
QUÍMICO	Quemaduras o Intoxicación por contacto con químicos	1080	Situación crítica. Suspender actividades hasta que el riesgo esté bajo control. Intervención urgente.	N/A	N/A	Campanas de extracción de gases vapores, Estaciones de Lavado de Emergencia	Señalización y Etiquetado Normalizado	
ERGONÓMICO	Posturas prolongadas	60	Mejorar si es posible. Sería conveniente justificar la intervención y su rentabilidad.	N/A	N/A	Diseño Ergonómico de Puestos de Trabajo, Herramientas y Equipos Ergonómicos	Implementación de pausas activas, capacitación en higiene postural y exámenes médicos osteomusculares.	
MECÁNICO	Caídas de personas al mismo nivel o a distinto nivel	50	Mejorar si es posible. Sería conveniente justificar la intervención y su rentabilidad.	N/A	N/A	Instalación de cintas antideslizantes en escaleras y pasamanos reglamentarios.	Procedimientos de inspección de áreas y señalización de "Piso Húmedo" durante limpieza.	
MECÁNICO	Golpes por objetos o herramientas / Golpes contra	50	Mejorar si es posible. Sería conveniente justificar la	N/A	N/A	Instalación de barreras físicas o bolardos que	Programas de Orden y	

	objetos o superficies		intervención y su rentabilidad.			delimiten claramente la zona de carga del bulto y el área donde el vehículo debe	Limpieza (5S)	
MECÁNICO	Atrapamiento por Vehículos	240	Corregir y adoptar medidas de control de inmediato. Sin embargo, suspenda actividades si el nivel de riesgo está por encima o igual de 360.	N/A	N/A	Delimitación física de zonas peatonales y espejos convexos en puntos ciegos del área de carga.	Procedimiento de despacho seguro y uso de chaleco reflectivo de alta visibilidad	
QUÍMICO	Sustancias de limpieza	40	Mantener las medidas de control existentes, pero se deberían considerar soluciones o mejoras y se deben hacer comprobaciones periódicas para asegurar que el riesgo aun es tolerable	N/A	N/A	Uso de recipientes con dosificadores automáticos para evitar trasvases manuales y salpicaduras.	Hojas de Datos de Seguridad (SDS)	

3.3. Monitoreo Integral de Tasas de radiación en el personal.

El monitoreo es continuo y sistemático, se lleva a cabo mediante el uso de dispositivos para detección de radiaciones fijo y portátiles como dosímetros personales y sistemas de monitoreo ambiental para poder garantizar que el personal expuesto reciba dosis dentro de los límites establecidos según las normativas nacionales e internacionales.

Dentro del monitoreo se establece la verificación y calibración de los equipos para la evaluación de los registros de dosis para el cumplimiento de acciones correctivas cuando se divise desviaciones respecto a los límites de exposición radiológica.

3.4. Normativas y límites de dosis

La Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) y la Organización Internacional de Energía Atómica (IAEA) da a conocer los límites anuales de dosis ocupacionales recomendadas.

Tabla 19. Límites de dosis Internacionales y límites de dosis establecidos para el Centro de Medicina Nuclear

Límites de Dosis Internacionales y establecidos para la práctica			
Dosis Anual POE	Dosis Mensual (1 año = 12 meses)	Dosis Semanal (1 año = 52 semanas)	Dosis Diaria (1 semana = 5 días laborables)
Cristalino y Cuerpo Entero			
20 mSv	1,67 mSv = 1670 µSv	0,385 mSv = 385 µSv	76.9 µSv
6 mSv (Restricción de dosis de operación)	0,5 mSv = 500 µSv	0,115 mSv = 115.4 µSv	23 µSv
Anillo			
500 mSv	41,667 mSv = 41667 µSv	9.6 mSv = 9615 µSv	1,923 mSv = 1923,07 µSv
150 mSv (Restricción de dosis de operación)	12,5 mSv = 12500 µSv	2,884 mSv = 2884 µSv	0,576 mSv = 576 µSv

3.5. Monitoreo Dosímetro

Los trabajadores cuentan con 3 tipos de dosímetros para cubrir diversas condiciones de trabajo, como:

3.5.1. Dosímetros Electrónicos

Los umbrales se definen considerando los límites de dosis anuales, con la restricción de dosis de operación considerada para el centro de 6mSv/año, en la Tabla 2 se detallan los límites establecidos para alarma y pre-alarma.

Tabla 20. Límites de dosis de alarma y pre-alarma del dosímetro electrónico.

Operador del Ciclotrón, Mantenimiento e intervención			
Tasa de dosis	Alarma Media	20 μSv/h	Tiempo máx. 1 hora
	Alarma Alta	50 μSv/h	Tiempo máx. 1/2 hora
Dosis Acumulada diaria	Alarma Media	10 μSv	Optimizar el tiempo de exposición
	Alarma Alta	25 μSv	Límite Diario
Bioquímico Farmacéutico			
Tasa de dosis	Alarma Media	100 μSv/h	Tiempo máx. 10 min
	Alarma Alta	150 μSv/h	Tiempo máx. 5 min
Dosis Acumulada diaria	Alarma Media	10 μSv	Optimizar el tiempo de exposición
	Alarma Alta	25 μSv	Límite Diario
Físico Medio, OSR			
Tasa de dosis	Alarma Media	100 μSv/h	Tiempo máx. 10 min
	Alarma Alta	150 μSv/h	Tiempo máx. 5 min
Dosis Acumulada diaria	Alarma Media	10 μSv	Optimizar el tiempo de exposición
	Alarma Alta	25 μSv	Límite Diario

3.5.2. Dosímetro de Termoluminiscente (TLD)

Medición pasiva de la dosis acumulada durante un período, cada 2 meses, con un seguimiento constante para verificar que el personal no ha superado los límites de dosis establecidos, en la Tabla 3, se muestran los límites de dosis establecidos bimensual y semestral para los dosímetros de cuerpo entero, anillo y de cristalino.

Tabla 21. Límites de dosis para los registros del monitoreo de dosis de los dosímetros TLD.

Dosímetros TLD		
Dosis Anual POE	Dosis Bimensual	Dosis Semestral
Cristalino Hp(3) y Cuerpo Entero Hp(10)		
20 mSv	3,34 mSv = 3340 µSv	10 mSv = 10000 µSv
mSv (Restricción de dosis de operación)	1 mSv = 1000 µSv	3 mSv = 3000 µSv
Anillo Hp(0.07)		
500 mSv	83,334 mSv = 83334 µSv	250 mSv = 250000 µSv
150 mSv (Restricción de dosis de operación)	25 mSv = 25000 µSv	75 Sv = 75000 µSv

3.6. Monitores de Radiación

Colocados en las salas de trabajo, estos detectores permiten un monitoreo constante de la radiación en el ambiente de trabajo. La configuración de los dispositivos para la alarma y pre-alarma se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 22. Límites de dosis de alarma y pre-alarma para los monitores de radiación ambiental.

Monitores de radiación ambiental		
Laboratorio de Control de Calidad	Laboratorio de Síntesis	Bunker del Ciclotrón
Alarma Media: 20 µSv/h		
Alarma Alta: 50 µSv/h		
<p>Nota: El sonido de estas alarmas serán indicativo de la presencia de material radiactivo en el área, por lo que se debe realizar las actividades optimizando el tiempo. Sin embargo, si la alarma permanece emitiendo sonido, puede ser señal de contaminación, por lo que se debe verificar las alarmas de los dosímetros electrónicos y avisar inmediatamente al OSR para seguir los procedimientos de descontaminación respectivos.</p>		<p>Nota: La alarma alta del detector del ciclotrón empezará a sonar muy fuerte cuando el ciclotrón comience a irradiar, esta alarma indica enclavamiento de la puerta de acceso al bunker.</p>

3.7. Monitores de Radiación Ambiental de chimenea

En la chimenea de salida de gases al ambiente también se coloca un monitor de radiaciones que mide constantemente la salida de emisiones gaseosas que se emiten al ambiente.

Tabla 23. Límites de dosis de alarma y pre-alarma para los monitores de radiación ambiental.

Ciclotrón:			
Tasa de Dosis	Alarma Media	135 KCPM	0,5 μ Sv/h
	Alarma Alta	258 KCPM	1 μ Sv/h
Factor de calibración: 258 kcpm /(μ Sv/h)			

3.8. Detector de contaminación para pies, manos y ropa

Colocado a la salida de la zona controlada, todo el personal que sale de su jornada laboral debe utilizar este detector para verificar que no exista contaminación en sus pies, manos y ropa, en la Tabla 7 se muestran los valores para considerar que si existe una contaminación.

Tabla 24. Valores de contaminación para el detector de pies, manos y ropa.

Detector	Libres	Controladas	Contaminadas
TEMA Sinergie	1 – 4 Bq/cm ²	10 – 40 Bq/cm ²	> 40 Bq/cm ²

3.9. Procedimiento de Medición y Registro de Datos

- **Recepción:** Cada trabajador al inicio de sus actividades como POE recibirá 3 dosímetros de TLD para monitoreo de cuerpo entero, cristalino, extremidades (anillo) y un dosímetro electrónico de lectura directa.
- **Colocación de dosímetros:** Cada trabajador se colocará los dosímetros al inicio de su actividad en áreas con riesgo radiológico.
- **Lectura y registro de dosis:** Los dosímetros electrónicos deben ser leídos al final de cada jornada laboral. Los TLD deben ser procesados en el laboratorio de dosimetría para obtener los valores acumulados bimensualmente.

- **Monitoreo Ambiental:** Los monitores de radiación registrarán continuamente los niveles de radiación en las áreas donde han sido colocados.
- **Análisis de datos:** Los resultados obtenidos de los dosímetros de lectura directa y TLD tendrán un análisis bimensual y monitores radiación serán analizados durante el procedimiento de irradiación. Los resultados de los análisis se compararán con los límites establecidos en la práctica.

3.10. Acciones Correctivas

Si se detecta que un trabajador ha recibido una dosis superior a los límites permitidos, o si se encuentra un incremento significativo en los niveles de radiación ambiental, deben implementarse las siguientes acciones:

- **Investigación:** Se realiza una investigación para identificar la fuente y las causas del incremento de la dosis o exposición.
- **Revisión de las condiciones de trabajo:** Si es necesario, se reevalúan los procedimientos de trabajo y las prácticas de protección radiológica.
- **Capacitación:** Si se identifican deficiencias en las prácticas de seguridad, se programan sesiones de capacitación y se refuerzan los procedimientos de protección.
- **Reducción de las horas de exposición:** En situaciones extremas, se puede reducir el tiempo de exposición o cambiar las actividades del trabajador para reducir la dosis.
- También se considera otro monitor de radiaciones en la salida de gases de la celda de síntesis, la cual luego se conecta con la salida principal. Estos detectores tienen enclavamientos de seguridad, los cuales se activan impidiendo la salida de los gases al ambiente cuando se superan los límites de dosis establecidos.
- Para considerar el valor de la descarga al medio ambiente se considera los límites de dosis para el público, es decir $\leq 3,85 \mu\text{Sv}$ diario, por lo que se asume una irradiación máxima de 4 horas (dos producciones), determinando así que el valor máximo para que el detector de chimenea pueda permanecer abierto es $\leq 1 \mu\text{Sv/h}$ caso contrario el sistema se cerrará automáticamente e impedirá la descarga al ambiente hasta que los niveles sean menores de $\leq 1 \mu\text{Sv/h}$.

Tabla 25 Límites de dosis para los detectores de Chimenea de la celda de Síntesis y el Ciclotrón.

Ciclotrón:			
Tasa de Dosis	Alarma Media	135 KCPM	0,5 µSv/h
	Alarma Alta	258 KCPM	1 µSv/h
Factor de calibración: 258 kepm / (µSv/h)			
Celda de Síntesis:			
Tasa de Dosis	Alarma Media	60 cps	67 µSv/h
	Alarma Alta	100 cps	112,4 µSv/h
Factor de calibración: 889,490 cps/(mSv/h); 1 uSv/h = 0,88949 cps			

3.11. Resultados del monitoreo de dosímetro de cada puesto de trabajo.

Se realizó una dosimetría general a los empleados donde proyecta la radiación obtenida durante 60 días laborables, este examen usa el método de ensayo basado en IEC-6287-2020 donde se estipula que la dosis máxima según la normativa nacional MERNNR-2022-011 son:

- **Hp(10) (Cuerpo Entero, Ambiental):** 20 mSv/año
- **Hp(3):** 20 mSv/año
- **Hp(0.07) (Brazalete, Anillo):** 500 mSv/año

Los parámetros por tomar a consideración son los siguientes

- Dosis superiores a 3 mSv al Bimestre deben ser reportadas a la SCAN
- Dosis menores a 0.1 mSv se consideran CERO para Dosis Acumulada
- <LD (Valor menor al Límite de Detección) no acumula para Dosis Acumulada Anual y Total

3.11.1. Jefe de Operaciones

Dosis por período:

- **Dosímetro CE (Cuerpo Entero):** Dosis del período Hp(10) de 0.18 mSv.

- **Dosímetro CR (Cristalino):** Dosis del período Hp(3) de 0.22 mSv.
- **Dosímetro AL (Anillo):** Dosis del período Hp(0.07) de 3.97 mSv.

Dosis Acumuladas (al 23-jul-2025):

- **Hp(10):** Dosis Acumulada Anual de 1.46 mSv y Dosis Acumulada Total de 1.75 mSv.
- **Hp(3):** Dosis Acumulada Anual de 0.96 mSv y Dosis Acumulada Total de 1.65 mSv.
- **Hp(0.07):** Dosis Acumulada Anual de 12.22 mSv y Dosis Acumulada Total de 12.77 mSv.

Conclusión: Las dosis registradas para la Jefa de Operaciones en los dosímetros de Cuerpo Entero y Cristalino, y sus dosis acumuladas, están muy por debajo de los límites máximos anuales permitidos (20 mSv/año). Sin embargo, la dosis acumulada anual y total para el dosímetro de Anillo (Hp(0.07)) es de 12.22 mSv y 12.77 mSv respectivamente. Si bien estas dosis están por debajo del límite de 500 mSv/año para Hp(0.07), la dosis del período de 3.97 mSv para el anillo es superior a los 3 mSv al bimestre, lo que debería ser reportado a la SCAN

3.11.2. Bioquímico Farmacéutico

Dosis por período:

- **Dosímetro CE (Cuerpo Entero):** Dosis del período Hp(10) de 0.17 mSv.
- **Dosímetro CR (Cristalino):** Dosis del período Hp(3) de 0.26 mSv.
- **Dosímetro AL (Anillo):** Dosis del período Hp(0.07) de 1.63 mSv.

Dosis Acumuladas (del 17-junio-2025 al 23-jul-2025):

- **Hp(10):** Dosis Acumulada Anual de 1.56 mSv y Dosis Acumulada Total de 1.87 mSv.
- **Hp(3):** Dosis Acumulada Anual de 1.23 mSv y Dosis Acumulada Total de 1.90 mSv.
- **Hp(0.07):** Dosis Acumulada Anual de 7.89 mSv y Dosis Acumulada Total de 8.36 mSv.

Conclusión: Las dosis registradas para el Bioquímico Farmacéutico en todos los tipos de dosímetros (Cuerpo Entero, Cristalino y Anillo) y sus dosis acumuladas (anual y total) están

muy por debajo de los límites máximos anuales permitidos por la normativa nacional (20 mSv/año para Hp(10) y Hp(3), y 500 mSv/año para Hp(0.07)).

3.11.3. Operador de Ciclotrón

Dosis por período:

- **Dosímetro CE (Cuerpo Entero):** Dosis del período Hp(10) de 0.30 mSv.
- **Dosímetro CR (Cristalino):** Dosis del período Hp(3) de 0.24 mSv.
- **Dosímetro AL (Anillo):** Dosis del período Hp(0.07) de 0.31 mSv.

Dosis Acumuladas (del 17-junio-2025 al 23-jul-2025):

- **Hp(10):** Dosis Acumulada Anual de 0.80 mSv y Dosis Acumulada Total de 1.36 mSv.
- **Hp(3):** Dosis Acumulada Anual de 0.70 mSv y Dosis Acumulada Total de 1.31 mSv.
- **Hp(0.07):** Dosis Acumulada Anual de 1.54 mSv y Dosis Acumulada Total de 2.03 mSv.

Conclusión: Las dosis registradas del Operador de Ciclotrón en todos los tipos de dosímetros (Cuerpo Entero, Cristalino y Anillo) y sus dosis acumuladas (anual y total) están muy por debajo de los límites máximos anuales permitidos por la normativa nacional (20 mSv/año para Hp(10) y Hp(3), y 500 mSv/año para Hp(0.07)).

3.11.4. Oficial de Seguridad Radiológica

Dosis por período:

- **Dosímetro CE (Cuerpo Entero):** Dosis del período Hp(10) de 0.34 mSv.
- **Dosímetro CR (Cristalino):** Dosis del período Hp(3) de 0.25 mSv.
- **Dosímetro AL (Anillo):** Dosis del período Hp(0.07) de 0.44 mSv.

Dosis Acumuladas (del 17-junio-2025 al 23-jul-2025):

- **Hp(10):** Dosis Acumulada Anual de 0.89 mSv y Dosis Acumulada Total de 1.44 mSv.
- **Hp(3):** Dosis Acumulada Anual de 0.67 mSv y Dosis Acumulada Total de 1.26 mSv.
- **Hp(0.07):** Dosis Acumulada Anual de 1.25 mSv y Dosis Acumulada Total de 1.76 mSv.

Conclusión: Las dosis registradas para la Oficial de seguridad radiológica en todos los tipos de dosímetros (Cuerpo Entero, Cristalino y Anillo) y sus dosis acumuladas (anual y total) están muy por debajo de los límites máximos anuales permitidos por la normativa nacional (20 mSv/año para Hp(10) y Hp(3), y 500 mSv/año para Hp(0.07)).

4. Conclusiones

Se identificaron un total de 31 peligros en el área de Medicina Nuclear, con un predominio de riesgos físicos (11) y mecánicos (10), seguidos de químicos (6) y ergonómicos (4). Esto confirma que el personal está expuesto no solo a radiación, sino a una amplia diversidad de factores operativos y espaciales.

La aplicación de la metodología GTC 45 permitió determinar la existencia de 16 riesgos de nivel I y 6 riesgos de nivel II. El hallazgo de niveles críticos de riesgo en puestos como el Operador de Ciclotrón y el Operador de Celdas muestran la necesidad urgente de intervenciones prioritarias en estas áreas.

Mediante la matriz de riesgo se priorizó los controles de ingeniería (como el uso de blindajes y detectores electrónicos) y administrativos (como la rotación de turnos y vigilancia radiológica). Estas estrategias aseguran que el personal trabaje bajo los límites de dosis permitidos por normativas internacionales (20 mSv anuales), minimizando daños a largo plazo.

5. Recomendaciones

Ejecutar de manera inmediata las medidas de control propuestas, priorizando la instalación de interruptores diferenciales, sensores de parada de emergencia y sistemas de monitoreo fijo en las zonas donde se detectaron los 7 riesgos críticos de nivel I.

Establecer un programa obligatorio de vigilancia radiológica que incluya la revisión mensual de los dosímetros personales (TLD y electrónicos) y capacitaciones periódicas en protección radiológica y ergonomía para reducir la fatiga postural detectada.

Realizar auditorías semestrales de las condiciones de seguridad y salud en el trabajo, asegurando la calibración constante de los equipos de detección y la actualización de los protocolos de emergencia ante derrames o fallas mecánicas en el ciclotrón.

6. Referencias

- [1] J. A. Ortega Alarcón, “Importancia de la seguridad de los trabajadores en el cumplimiento de procesos, procedimientos y funciones,” *Academia & Derecho*, no. 14, pp. 155–175, Jun. 2017, doi: 10.18041/2215-8944/academia.14.1490.
- [2] C. Chávez Orozco, “Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo,” *Eidos*, no. 2, p. 13, Jan. 1970, doi: 10.29019/eidos.v0i2.49.
- [3] A. R. Gómez García, “Seguridad y salud en el trabajo en Ecuador,” *Arch. Prev. Riesgos Labor.*, vol. 24, no. 3, pp. 232–239, Jul. 2021, doi: 10.12961/aprl.2021.24.03.01.
- [4] S. McCormick, M. Niang, and M. M. Dahm, “Occupational Exposures to Engineered Nanomaterials: a Review of Workplace Exposure Assessment Methods,” *Curr. Environ. Health Rep.*, vol. 8, no. 3, pp. 223–234, Sep. 2021, doi: 10.1007/s40572-021-00316-6.
- [5] M. P. Martínez Barranco and E. D. Yandun Burbano, “Seguridad y Salud Ocupacional en Ecuador: Contribución Normativa a la Responsabilidad Social Organizacional,” *INNOVA Research Journal*, vol. 2, no. 3, pp. 58–68, Mar. 2017, doi: 10.33890/innova.v2.n3.2017.135.
- [6] A. R. Gómez García, “Seguridad y salud en el trabajo en Ecuador,” *Arch. Prev. Riesgos Labor.*, vol. 24, no. 3, pp. 232–239, Jul. 2021, doi: 10.12961/aprl.2021.24.03.01.
- [7] Q. A. , M. P. Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST), “Directrices básicas para la evaluación de riesgos laborales,” vol. 1, pp. 1–81, Jan. 2022.
- [8] S. Mallisery, J. Prabhu, and R. Ganiga, “Survey on intrusion detection methods,” in *3rd International Conference on Advances in Recent Technologies in Communication and Computing (ARTCom 2011)*, IET, 2011, pp. 224–228. doi: 10.1049/ic.2011.0085.
- [9] E. Gomez Bustamante, M. Rojas, M. Angarita, J. Pérez, M. Romero, and C. A. Severiche Sierra, “Condiciones de salud y trabajo en dos plantas de sacrificio de norte de Bolívar, Colombia./Health and working conditions in two slaughter houses located in the north of Bolivar, Colombia,” *Ciencia y Salud Virtual*, vol. 7, no. 2, p. 30, Dec. 2015, doi: 10.22519/21455333.603.

- [10] J. E. M. Proaño, C. J. M. Malta, E. A. C. Agama, and S. A. B. Vinueza, “Análisis De Los Riesgos Mecánicos Y Su Incidencia En La Seguridad Y Salud Laboral En Los Trabajadores. Estudio De Caso: Fundición De Estructuras Metálicas,” *European Scientific Journal, ESJ*, vol. 13, no. 15, p. 352, May 2017, doi: 10.19044/esj.2017.v13n15p352.
- [11] J. C. Jiménez, R. A. Cabrera, and P. A. Figuera Ávila, “Percepción de los Factores de Riesgos en los Trabajadores de la Construcción,” *Revista Conectividad*, vol. 5, no. 4, pp. 21–32, Dec. 2024, doi: 10.37431/conectividad.v5i4.199.
- [12] Fernando Henao Robledo, *Riesgos químicos*. 2015.
- [13] M. V. Vásquez Meza, R. D. Arana Blas, and T. Tercero Rivera, “Riesgos laborales en personal de salud: una revisión bibliográfica,” *Revista Científica Estelí*, no. 52, pp. 30–51, Feb. 2025, doi: 10.5377/esteli.v13i52.19980.
- [14] T. G. Amabye, “Occupational Risks and Hazards Exposure, Knowledge of Occupational Health and Safety Practice and Safety Measures among Workers of Sheba Leather Plc, Wukro, Tigray Ethiopia,” *MOJ Public Health*, vol. 4, no. 2, Mar. 2016, doi: 10.15406/mojph.2016.04.00074.
- [15] M. J. Puicon Mejia and A. S. Vega Ramírez, “Riesgos ergonómicos en el profesional de enfermería: revisión narrativa,” *ACC CIETNA: Revista de la Escuela de Enfermería*, vol. 9, no. 1, pp. 224–246, Jul. 2022, doi: 10.35383/cietna.v9i1.741.
- [16] International Organization for Standardization (ISO), *ISO 45001:2018 Occupational health and safety management systems — Requirements with guidance for use*. Geneva, Switzerland, 2018.
- [17] ICONTEC (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación), “Guía Técnica Colombiana GTC 45: Sistemas de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo,” Bogotá, Colombia, 2012.
- [18] S. Sinelnikov, J. Inouye, and S. Kerper, “Using leading indicators to measure occupational health and safety performance,” *Saf. Sci.*, vol. 72, pp. 240–248, Feb. 2015, doi: 10.1016/j.ssci.2014.09.010.

- [19] D. A. HOFMANN and A. STETZER, "A CROSS-LEVEL INVESTIGATION OF FACTORS INFLUENCING UNSAFE BEHAVIORS AND ACCIDENTS," *Pers. Psychol.*, vol. 49, no. 2, pp. 307–339, Jun. 1996, doi: 10.1111/j.1744-6570.1996.tb01802.x.
- [20] MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL BOGOTÁ, "GUÍA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS, VALORACIÓN DE RIESGOS Y DETERMINACIÓN DE CONTROLES," Sep. 2024, *BOGOTÁ*.
- [21] OSHA, *Safety and Health Regulations for Construction*. 1926.
- [22] J. Robert Cherry, "ACCIDENTES RADIOLOGICOS," in *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo*, 2023.