



ESTRATEGIA DE PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES, PRL, PARA LA IMPLANTACIÓN DE DISPOSITIVOS DE RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL EN LA EMPRESA METALMECÁNICA STEELMED

Alumno: Javier Ildfonso Alcázar Tornell

Tutor: Fernando Fernández Dobao

Elche, junio 2020



INFORME DEL DIRECTOR DEL TRABAJO FIN MASTER DEL MASTER UNIVERSITARIO EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES

D. Fernando Fernández Dobao, Tutor/a del Trabajo Fin de Máster, titulado 'ESTRATEGIA DE PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES, PRL, PARA LA IMPLANTACIÓN DE DISPOSITIVOS DE RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL EN LA EMPRESA METALMECÁNICA STEELMED' y realizado por el estudiante Javier Ildelfonso Alcázar Tornell.

Hace constar que el TFM ha sido realizado bajo mi supervisión y reúne los requisitos para ser evaluado.

Fecha de la autorización: 10 junio 2020.

Fdo.: Fernando Fernández Dobao
Tutor/a TFM

Resumen

El presente Trabajo Final de Master universitario en prevención de riesgos laborales, PRL, ha sido desarrollado con la finalidad de establecer un conjunto de medidas de seguridad y prevención para minimizar los riesgos, por efecto de la radiación ionizante, para la salud de los trabajadores y el público en general al emplear dispositivos radiactivos de gammagrafía en los procesos operativos de la empresa metalmecánica SteelMed. La realización del trabajo ha sido llevada a cabo bajo fundamentos metodológicos sustentados en dos vertientes: 1) un componente de investigación documental que ha implicado la revisión de material escrito y visual con información relevante en relación con el tema tratado, la radiactividad como hecho de las ciencias exactas con presencia en la vida cotidiana de las personas, las diversas aplicaciones que tiene su uso en distintos campos y, específicamente, en la industria y los beneficios, pero sobre todo los riesgos que comporta su uso y los mecanismos establecidos de prevención, nacional e internacionalmente, para profundizar el conocimiento teórico al respecto; y desde la información recabada y analizada, diseñar la estrategia adecuada que le facilite a la empresa metalmecánica objeto del trabajo realizado implantar procesos de aplicación de tecnología de radiación ionizante con respeto por la legalidad y mínimo riesgo para los miembros de su comunidad laboral; y 2) un componente de investigación de campo, que ha contemplado la búsqueda y revisión de casos de empresas que utilizan tecnología radiactiva en sus procesos y los protocolos de prevención que han establecido, así como una revisión de los procesos operativos de SteelMed. Como resultado de la evaluación de la información obtenida se ha diseñado una estrategia concreta y específica para que la empresa metalmecánica SteelMed pueda alcanzar los fines previstos en este trabajo en el menor tiempo posible.

Palabras claves: riesgos laborales, prevención, radiactividad, radiación ionizante, gammagrafía.

Abstract

The present Final Work of the University Master's Degree in Occupational Risk Prevention, ORP, has been developed with the aim of establishing a set of safety and prevention measures to minimize the risks of ionizing radiation in the health of workers and the public in general when using radioactive scintigraphy devices in the operating processes of the metalworking company SteelMed. The realization of the work has been carried out under methodological foundations supported in two aspects: 1) a documentary research component that has involved the revision of written and visual material with relevant information in relation to the topic, radioactivity as a fact of the exact sciences with a presence in people's daily lives, the various applications that have their use in different fields and, specifically, in the industry and the benefits, but above all the risks involved in their use and the established mechanisms of prevention, nationally and internationally, to deepen the theoretical knowledge in this regard, by virtue of, and from the information collected and analyzed, design the appropriate strategy that will facilitate the metalworking company object of the work carried out to implement processes of application of ionizing radiation technology with respect for the legality and minimum risk for the members of their laboral community; and 2) field investigation component, which has included the search and review of cases of companies that use radioactive technology in their processes and the prevention protocols they have established, as well as a review of SteelMed's operational processes. As a result of the evaluation of the information obtained, a concrete and specific strategy has been designed so that the metalworking company SteelMed can achieve the purposes set forth in this work in the shortest possible time.

Key words: occupational hazards, prevention, radioactivity, ionizing radiation, scintigraphy.

Símbolos y Siglas

Ci: Curie

Gy: Gray

J: Joule

kg: Kilogramos

MeV: Megaelectrónvoltio

Rem: Unidad de medida de los efectos de emisiones radiactivas en el ser humano

Se: Selenio

Sv: Sievert

μSv: Microsievert

AEND: Asociación Española de Ensayos no Destructivos.

CIEMAT: Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas.

CIPR: Comisión Internacional de Protección Radiológica.

CSN: Consejo de Seguridad Nuclear.

ENRESA: Empresa Nacional de Residuos Radiactivos.

JEN: Junta de Energía Nuclear

OIEA: Organismo Internacional de Energía Atómica.

OIT: Organización Internacional del Trabajo.

OMS: Organización Mundial de la Salud.

PRL: Prevención de Riesgos Laborales.

SEPR: Sociedad Española de Protección Radiológica.

UE: Unión Europea.

UNSCEAR: Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de la Radiación Atómica.

UTPR: Unidad Técnica de Protección Radiológica

Índice general

	Pág.
1. Justificación.	11
2. Introducción.	13
3. Objetivos.	17
3.1. Objetivo general.	17
3.2. Objetivos específicos.	17
4. Materiales y métodos.	18
5. Marco teórico.	20
5.1. Riesgos laborales.	20
5.2. Prevención de riesgos laborales.	22
5.3. Radiactividad.	23
5.4. Radiación ionizante.	24
5.4.1. Fuentes y tipos de radiación ionizante.	25
5.5. Aplicaciones industriales de las radiaciones ionizantes.	26
5.6. Prevención de riesgos laborales en el uso de radiación ionizante.	27
5.6.1. Exposición ocupacional radiactiva en la industria.	29
5.6.2. Vigilancia radiológica de la salud de los trabajadores expuestos.	30
5.6.3. Diarios de operación, registros e informes periódicos.	32
5.6.4. Evaluación y aplicación de las medidas de protección radiológica.	32
5.6.5. Medidas preventivas y de protección en instalaciones industriales con uso de radiaciones ionizantes.	33
6. Normativa vigente.	34
6.1. Evolución histórica.	34
6.2. Historia legal de la energía nuclear en España.	35

	Pág.
7. Operadores y público expuestos en el sector laboral industrial con radiactividad.	41
7.1. Función y responsabilidades de un operador.	43
7.2. Riesgos asociados a la radiación radiactiva.	45
7.2.1. Riesgos laborales con radiactividad en el sector industrial.	45
7.2.2. Riesgos laborales con radiactividad en SteelMed.	48
7.3. Formación para trabajadores y público sobre la radiactividad en el ámbito industrial.	51
8. Medidas y protocolos de prevención y seguridad en el sector laboral industrial con radiactividad.	52
8.1. Medidas y protocolos de prevención y seguridad para trabajadores.	52
8.1.1. Limitación de dosis.	53
8.1.2. Clasificación y delimitación de zonas.	54
8.1.3. Clasificación de los trabajadores expuestos.	56
8.1.4. Consideraciones preventivas en aplicación de gammagrafía industrial.	58
8.1.5. Deberes del personal expuesto a la radiación en instalaciones radiactivas.	59
8.1.6. La actuación de operadores en situación de emergencia al emplear dispositivos de gammagrafía industrial.	60
8.2. Medidas y protocolos de prevención y seguridad para el público en general.	60
9. Seguridad y prevención radiactiva en SteelMed.	63
9.1. Estrategia de prevención y seguridad en la empresa SteelMed para incorporar dispositivos radiactivos en sus procesos.	63
9.2. Modelo del diseño de un puesto de trabajo para ensayos no destructivos con gammagrafía.	66
9.3. Medidas y protocolos de prevención laboral radiactiva en SteelMed	69

UMH – Máster universitario en PRL “Estrategia de prevención de riesgos laborales, PRL, para la implantación de dispositivos de radiografía industrial en la empresa metalmecánica STEELMED.”

	Pág.
10. Conclusiones.	73
11. Referencias bibliográficas	75
Glosario	82
Anexos	



Índice de figuras y gráficos

	Pág.
Gráfico 1. Modelo de impresión de radiación ionizante en película fotográfica.	14
Gráfico 2. Tipos de radiaciones ionizantes	26
Figura 1. Modelos de fuentes radiactivas selladas de disco de ^{241}Am , a la izquierda, y ^{137}Cs , a la derecha	27
Gráfico 3. Pirámide legislativa para para el manejo legal y normativo en materia de seguridad nuclear y protección radiológica	36
Figura 2. Distribución de empresas del Grupo Hiemesa en España	42
Figura 3. Equipos para medición de humedad y densidad dañados por descuido.	43
Gráfico 4. Diagrama de flujo de procesos de la empresa SteelMed, con la prevista aplicación de procesos de evaluación por radiografía gammagráfica, según la simbología de la normativa American Society of Mechanical Engineers, ASME.	49
Figura 4. Señalización de zona vigilada	55
Figura 5. Señalización de zona controlada	55
Figura 6. Señalización de zona de permanencia limitada	55
Figura 7. Señalización de zona de permanencia reglamentada.	55
Figura 8. Señalización de zona de acceso prohibido.	56

Índice de Tablas

	Pág.
Tabla N° 1: Protección de trabajadores expuestos	31
Tabla N° 2. Daños producidos en un Síndrome Agudo de Radiación, SAR	47
Tabla N° 3. Daños producidos por una Irradiación Localizada	58



1. Justificación

La Comisión Internacional de Protección Radiológica, ICRP, indicó en el año 1997 que las radiaciones ionizantes sólo deben ser empleadas si su utilización está justificada, caso en el cual se deben implementar medidas que garanticen la protección del personal destinado a actividades relacionadas con la radiación, identificando los posibles riesgos que los procesos propios del tipo de actividad laboral generen y en función de ello aplicar los protocolos para hacer efectiva la seguridad del trabajador.

Con estas bases está plenamente justificado el desarrollo de este trabajo, pues no hay dudas que el uso de dispositivos radiactivos en la industria puede llegar a representar, además de sus beneficios, un serio problema en la salud de los trabajadores por los riesgos asociados al contacto directo con radiaciones ionizantes por períodos más o menos prolongados durante el desarrollo de sus actividades rutinarias, lo que puede provocar trastornos agudos o crónicos en la salud, con la afectación específica o la perturbación del funcionamiento normal de cualquier sistema orgánico. Cabe considerar que son los trabajadores quienes están expuestos a la presencia de un elemento de riesgo silencioso, que al no sentirse, puede ser peligroso al extremar la confianza con los equipos que no generan dosis altas de radiación, Sucede que las bajas dosis de radiación pueden ser las más peligrosas, ya que el personal que las manejan puede estar sometido a prolongados lapsos de exposición sin ser conscientes de ello.

Es justificado y lógico entonces establecer acciones preventivas que impliquen motivar y concientizar al personal sobre la importancia que tiene la protección contra los riesgos de la radiación ionizante en la industria y el papel fundamental de la seguridad laboral que adecúa e incrementa las capacidades y habilidades de los trabajadores en el desempeño de sus funciones, con base en la protección de su salud y bienestar personal. Es dable aclarar que más allá de consideraciones económicas, los beneficios siempre deben superar a los riesgos cuando se trate de utilizar la radiación ionizante.

La investigación realizada también tiene justificación desde el criterio de la relevancia teórica, metodológica y práctica. En lo teórico, el estudio presenta un basamento conceptual que contribuye a ampliar los conocimientos acerca de la gestión de las actividades

relacionadas con la radiactividad, riesgos y mecanismos de seguridad y prevención en actividades propias de desarrollo industrial en diversos campos. Por otro lado, la investigación contiene una estructura metodológica que puede servir de referencia a otros investigadores y académicos al momento de llevar a cabo estudios similares donde se busque profundizar el conocimiento en esta materia.



2. Introducción

El ámbito de la gestión económica operativa de la industria puede abarcar una serie de actividades y elementos que ciertamente pueden representar factores evidentes de riesgo para la salud de las personas que las realizan. Estas condiciones de posibles daños ameritan el establecimiento de disposiciones tendentes a tratar de asegurar la vida y salud de los individuos sin importar el sector económico empresarial en el que se desarrollen tales actividades, pues en todos y cada uno de ellos siempre existirá la posibilidad de accidentes, lesiones y enfermedades, pues la transformación de las condiciones laborales y la aparición y uso de nuevas tecnologías induce la continua aparición de riesgos emergentes. De allí que sea de vital importancia generar conciencia en los sectores productivos de forma integral, desde la alta gerencia hasta los empleados que no acceden a puestos de riesgo, sobre la constante evolución en la prevención, seguridad y salud laboral y la toma de medidas sistemáticas al respecto (Martínez, 2016).

Es necesario que los trabajadores tengan muy presente los aspectos relacionados con la prevención de los riesgos laborales inherentes a su profesión y trabajo y que dispongan de las normativas adecuadas que favorezcan un ambiente de trabajo más seguro, a fin de reducir la probabilidad de accidentes de trabajo o de enfermedades ocupacionales, para lo cual las empresas deben disponer de expertos en seguridad y salud laboral, que puedan enfocarse en estas áreas de trabajo y gestionar las políticas de la organización tendentes a minimizar los riesgos que puedan existir en su medio ambiente laboral. Al respecto Nunes (2013) afirma que “(...) debido a los rápidos cambios que sufren las organizaciones y empresas en la actualidad (...) el concepto de prevención es cada vez más relevante y permite además dar un enfoque dinámico a la seguridad y salud laboral” (p. 3).

Una de las áreas laborales que entraña mayores riesgos a corto, mediano y largo plazo es el de las actividades comprendidas dentro del manejo de radiactividad, bien sea en instalaciones para procesamiento o haciendo uso de aparatos y equipos radiactivos. En los últimos cien años, desde el descubrimiento de los rayos X, se han originado elementos radioactivos y diferentes tipos de radiaciones para uso en diferentes propósitos, a saber: médicos, bélicos, agrícolas e industriales. Es así como las fuentes de radiación ionizante tienen diversas aplicaciones beneficiosas, pero también pueden ser altamente perjudiciales

para la salud de los seres humanos. Es por ello que se deben sopesar los beneficios de cada uso con sus riesgos.

Ahora bien, ¿Qué es la radiactividad? López e Iturbe (2004) la definen como “(...) un fenómeno físico que se caracteriza por la desintegración, (...), la reorganización de los núcleos atómicos inestables. Esta desintegración se acompaña de la emisión de radiación ionizante.” (p. 6). La inestabilidad del núcleo atómico a través de procesos nucleares tiende a alcanzar un estado estable con emisión de radiación (Núñez-Lagos, 2004). Se agrega en un documento del portal de la Junta de Andalucía (s. f.) que estas emisiones tienen “(...) la propiedad de impresionar placas fotográficas, ionizar gases, producir fluorescencia, atravesar cuerpos opacos a la luz ordinaria (...)” por lo que se les conoce como radiaciones ionizantes, que pueden ser en forma de ondas electromagnéticas, rayos X o rayos gamma, o de partículas (núcleos de Helio, electrones, protones u otros).

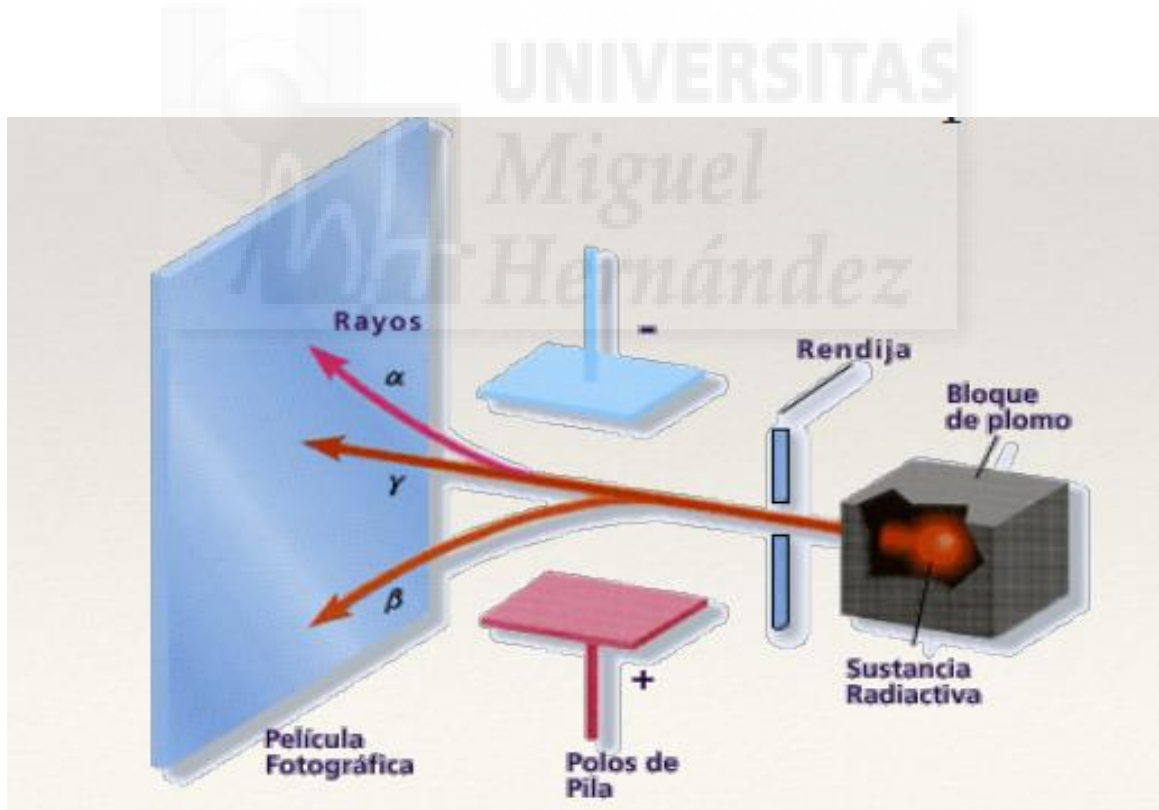


Gráfico 1. Modelo de impresión de radiación ionizante en película fotográfica.

Fuente: Junta de Andalucía, s. f.

Las radiaciones ionizantes son percibidas generalmente en la apreciación del público común en términos negativos. Sin embargo, lo cierto es que la humanidad vive en un mundo radiactivo y que probablemente gracias a ello la vida sea tal y como se conoce. Las radiaciones tienen fuentes de origen natural o artificial, entendiéndose también que la exposición de los individuos a las radiaciones ionizantes puede llegar a ser mortal en función de la naturaleza de la radiación, la energía depositada en el tejido y la sensibilidad del tejido irradiado, entre otras variables.

De allí que para una prevención efectiva de efectos no deseados en el organismo debe conocerse el origen de las radiaciones ionizantes, con el objetivo de establecer acciones para minimizar el impacto de los riesgos laborales asociados a este medio ambiente. Así mismo es de destacar que cada vez son más las industrias que han optado por utilizar las radiaciones ionizantes en algunas etapas dentro de sus procesos, específicamente mediante el empleo de dispositivos radiactivos, “(...) instrumento o máquina que utiliza una fuente radiactiva generalmente para realizar estudios y ensayos no destructivos.” (Vivallo y Yáñez, 2016, p. 7), por lo que se hace necesario reconocer y definir los riesgos que su uso implica y establecer los protocolos preventivos adecuados que garanticen la protección y seguridad de los trabajadores y el público en general.

Es así como el actual trabajo se enfoca en diseñar una estrategia adecuada conducente al establecimiento de procesos de prevención y seguridad de los riesgos laborales asociados a la aplicación de técnicas de ensayo no destructivo de radiaciones ionizantes, tecnología de gammagrafía industrial, en la empresa SteelMed, empresa del grupo Hiemesa, localizada en Barcelona, lo que implica hacer una revisión de los procesos de la empresa para determinar las fases, procesos y áreas con mayores posibilidades de riesgo para la salud y el buen desempeño de los trabajadores y conocer las medidas de prevención y seguridad laboral con las que cuentan en la empresa, para luego complementar este apartado con medidas preventivas y de seguridad concretas en la realización de procesos que impliquen el uso de herramientas radiactivas.

La empresa SteelMed tiene como objetivo el procesamiento y comercialización de acero en láminas, chapas y bobinas con espesores que van desde los 6 hasta los 200 mm, y perfiles de uso como insumo para diversas industrias (construcción, naval, maquinarias, calderería, etc.). En SteelMed tienen el propósito de extremar los procesos para garantizar la calidad de sus productos ante su clientela y ser aún más competitivos por lo que, se han planteado aplicar métodos de radiación ionizante con gammagrafía industrial para determinar en las láminas y perfiles posibles discontinuidades en espesores y densidades reales, en aras de dar seguridad sobre los atributos y características de sus productos. Para aplicar estas tecnologías se debe establecer un conjunto de principios de actuación evitando que situaciones que han sido estipuladas de riesgo laboral se lleguen a concretar protegiendo la salud de los trabajadores, siendo necesario para ello diseñar estrategias que permitan la consecución de ese objetivo en el menor tiempo posible.

El cumplimiento del objetivo ha implicado la realización de una exhaustiva y profusa revisión documental y una revisión de caso, con el propósito de identificar las aplicaciones de radiaciones ionizantes en la industria, determinar factores de riesgo por el uso de dispositivos radiactivos y establecer medidas de prevención para evitar efectos perniciosos en el organismo de los individuos laboralmente expuestos, aplicando medidas que controlen o minimicen posibles daños en la salud de trabajadores. En este caso la información ha sido complementada con la de procesos operativos revisados de la empresa SteelMed, a efectos de establecer la estrategia para que puedan aplicar tecnología de gammagrafía en sus procesos lo más rápido posible, estableciendo medidas iniciales de prevención y seguridad al usar radiación ionizante, pudiendo servir de base a otros manuales operativos.

3.Objetivos

2.1. Objetivo general

Establecer un marco inicial de medidas de seguridad y prevención en la empresa metalúrgica SteelMed, con disposiciones para la minimización de riesgos a la salud de los trabajadores y público en general, por exposición al uso de radiaciones ionizantes de equipos de gammagrafía industrial usados en el control de calidad de sus productos.

2.2. Objetivos específicos

- Detallar las aplicaciones de las radiaciones ionizantes mediante el empleo de dispositivos radiactivos en el ámbito industrial.
- Identificar los riesgos laborales generales que conlleva la utilización de dispositivos radiactivos en la industria.
- Evaluar los posibles riesgos laborales generales derivados del uso de radiaciones ionizantes en los procesos de producción y calidad de la empresa SteelMed.
- Establecer un conjunto de medidas de seguridad y prevención para mitigar los riesgos al emplear dispositivos radiactivos de gammagrafía en los procesos operativos de SteelMed.

4. Materiales y métodos

En el apartado de materiales y métodos se exponen los instrumentos, máquinas, equipos y todos los recursos empleados en función de conseguir los objetivos planteados dentro de la investigación o trabajo a desarrollar, así como la metodología o presentación de los procesos llevados a cabo y el conjunto de actividades ejecutadas en forma detallada para el logro de los fines previstos y planteados.

El presente trabajo de investigación ha sido enfocado desde dos vertientes: investigación documental, con la profusa revisión de diversos documentos sobre el tema tratado; y la revisión de un estudio de caso realizado con la finalidad de evaluar el impacto radiológico ocupacional originado por las actividades ejecutadas en industrias convencionales no nucleares, conocidas como industrias NORM, acrónimo de las siglas en inglés de *Naturally Occurring Radioactive Material*, caracterizadas por utilizar en sus procesos materias primas o máquinas y equipos que contienen radionucleidos naturales o que elaboran productos y /o generan residuos enriquecidos por tales elementos radiactivos.

Para la revisión documental de orden secundario se hizo una recopilación de documentos de diferentes medios, escritos y audiovisuales, para aplicar sobre ellos las técnicas de análisis orientadas a establecer un marco de referencia sobre el trabajo en general con estos materiales, los riesgos que comporta su uso, y en consecuencia poder establecer unas estrategias de prevención y unos protocolos de seguridad, encauzándolos hacia el área industrial y concretamente al sector de la metalmecánica.

Parte importante de las fuentes utilizadas fueron documentos oficiales emanados del Consejo de Seguridad Nuclear, CSN, organismo del estado español responsable de todo lo referente al establecimiento de la normativa para “(...) la seguridad nuclear y protección radiológica (...)” (Consejo de Seguridad Nacional, 2020, párr. 1) en España, documentos con rango de Ley e investigaciones realizadas sobre la materia en universidades reconocidas de España y de otros países. Se realizó una tipología de los riesgos radiológicos en el quehacer laboral en general, haciendo énfasis luego en los más usuales y potencialmente peligrosos en la industria antes mencionada con base en los elementos analizados y establecer un

conjunto de consideraciones dirigidas a ordenar los cimientos de seguridad y prevención en el manejo laboral de elementos radiactivos.

El estudio de caso revisado (Armijo, 2016) como parte de una investigación general sobre evaluación y control de diversas actividades realizadas en industrias no nucleares consideradas desde un punto de vista radiológico y radiactivo, se concentró en los procesos desarrollados en la empresa chilena Catox, que presta servicios de inspección industrial y submarina, certificación e ingeniería de corrosión, a través, entre varias metodologías, del uso de radiografía industrial para la realización de ensayos no destructivos en materiales y soldaduras. La revisión de los procesos empleados en la empresa para la ejecución de radiografías industriales permitió conocer los riesgos laborales inherentes a esta actividad y tener acceso de primera mano al conjunto de soluciones planteadas y establecidas en sus manuales de seguridad para procurar el menor impacto radiológico posible, en pro de la seguridad y la minimización de posibles daños del personal que interviene en tales procesos.

Esta experiencia aportó interesantes puntos de vista para la estructuración de los mecanismos de prevención y seguridad en materia de manejo de materiales radiactivos ionizantes, objetivo de este trabajo. También se revisaron algunas experiencias con ocurrencia de lesiones y daños en Argentina y España, tomadas como ejemplos concretos del cuidado que hay que poner al trabajar con equipos radiactivos, y de lo que no debe hacerse si el propósito es evitar convertirse en sujeto de lesiones o daños, incluso con riesgo letal.

5.Marco teórico

El marco teórico o marco conceptual tiene el propósito de proporcionarle al trabajo investigación un sistema coordinado y coherente de conceptos y proposiciones que permitan abordar el problema. Se trata de integrar al problema dentro de un ámbito donde éste cobre sentido, incorporando los conocimientos previos relativos al mismo y ordenándolos de modo que resulten útiles a la investigación propuesta. Es reconocido el marco teórico como: “un conjunto de conocimientos, que permiten orientar la búsqueda y ofrecen una conceptualización adecuada de los términos que se encuentran implícitos en el problema” (Hernández, Fernández y Baptista, 2010, p. 62). Esto refiere a las ideas básicas que forman el fundamento para los argumentos apoyadas en la revisión profusa de fuentes documentales especializadas (artículos, estudios y libros específicos utilizados dentro de la organización predefinida, y está estructurado por los antecedentes de la investigación, teorías de entradas, bases teóricas, bases legales y variables.

5.1. Riesgos laborales

Se entiende como riesgo laboral toda posibilidad manifiesta y presente de que un trabajador pueda sufrir daños de cualquier índole en su puesto de trabajo o en las áreas que conforman su espacio laboral. En la Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales, Jefatura del Estado (1995), en España, se tipifica o define el riesgo laboral en el artículo 4. Definiciones, apartado 2º, como “(...) la posibilidad de que un trabajador sufra un determinado daño derivado del trabajo. Para calificar un riesgo desde el punto de vista de su gravedad, se valorarán conjuntamente la probabilidad de que se produzca el daño y la severidad del mismo”. A entender de Collado (2008) el riesgo determina la posible existencia de un daño no totalmente determinado por condiciones de causa identificables o caracterizables. Si este posible daño se produce durante la realización de un trabajo se estará hablando de riesgo laboral, que en condiciones normales será producto o consecuencia de operaciones en condiciones poco adecuadas.

En el medio ambiente laboral son múltiples los elementos presentes con potencial nocivo de afectación del bienestar físico, mental y social del trabajador, en definitiva de su salud integral. La gama de elementos genéricos con latente capacidad de peligro en los ámbitos laborales se conforma de agentes de orden: mecánicos, físicos, químicos, biológicos y psicosociales (Collado, 2008):

- **Agente mecánico:** todo elemento sólido y consistente que puede afectar la anatomía humana con efecto traumatológico de heridas, fracturas, amputaciones, contusiones, esguinces, abrasiones y otros que incluso pueden ocasionar la muerte.
- **Agente físico:** factores de carácter energético (ruidos, vibraciones, radiación, temperaturas, etc.) con potencial para impactar al organismo ocasionando calores, quemaduras, sorderas, enfermedades por radiación y traumatismos.
- **Agente químico:** toda sustancia química con potencial para producir desde irritaciones en las mucosas, intoxicaciones hasta cánceres de resultado fatal.
- **Agente biológico:** campo comprendido por virus, bacterias, hongos, esporas y protozoos, capaces de producir un amplio abanico de enfermedades que pueden llegar a ser de resultado fatal.
- **Agente ergonómico;** factores lesivos a la salud del trabajador por posturas y movimientos corporales y/o manipulación de objetos de manera inadecuada, ocasionando accidentes de trabajo por esfuerzo único suficiente para la ocurrencia o por la suma de esfuerzos acumulados, enfermedades profesionales relacionadas con el trabajo.
- **Agente psicosocial:** factores que propician la aparición de patologías centradas en la insatisfacción del trabajador que puede derivar en manifestaciones de depresión, estrés, fatiga, irritación, entre muchas más afecciones de tipo psíquico.

En el conjunto de los riesgos laborales se identifican como principios componentes de las **condiciones o factores de riesgo**, a toda expresión (máquinas, equipos y herramientas, sustancias, espacios desordenados y sucios, turnos de trabajo desorganizados, etc.) que presente en el espacio laboral incrementa la posible ocurrencia de daños o perjuicios en la salud del trabajador; **situación de riesgo:** aquel escenario laboral caracterizado por la presencia de elementos de riesgo que no puede considerarse totalmente controlado; **exposición:** situación del trabajador en posible contacto con el agente ambiental por vías de

introducción de éste en el organismo; **indicadores de riesgo**: coeficientes de medida utilizados para cuantificar la ocurrencia de eventos lesivos, que pueden ser de riesgo remoto, exposición o daño (Collado, 2008).

5.2. Prevención de riesgos laborales

Se conoce como prevención de riesgos laborales a la disciplina encargada de tomar acciones anticipadas, en reconocimiento de los posibles factores de ocurrencia de eventos lesivos en puestos de trabajo, con la finalidad de evitar, o en su defecto minimizar, la incidencia de hechos que puedan causar trastornos sobre la salud de las personas en su espacio laboral cotidiano.

En el artículo 4 de la Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales, Jefatura del Estado (1995), se especifica que la prevención se reconoce como “(...) el conjunto de medidas adoptadas o previstas en todas las fases de actividad de la empresa con el fin de evitar o disminuir los riesgos derivados del trabajo”, haciendo énfasis no solo en la ordenación de obligaciones y responsabilidades de los actores participantes en el ámbito laboral (empresarios, trabajadores, poderes públicos Estado, sindicatos, organizaciones patronales, etc.), sino en la promoción de una cultura orientada a la prevención como un hecho fundamental en las relaciones de trabajo, según lo establecido en la Ley 54/2003, Jefatura del Estado (2003), de reforma del marco normativo de la prevención de riesgos laborales.

Se reconoce de forma expresa en la Ley de reforma que es responsabilidad del empresario adoptar cuanta medida sea necesaria para “(...) garantizar la seguridad y la salud de los trabajadores a su servicio en todos los aspectos relacionados con el trabajo.” (Ley 54/2003, artículo 14, apartado 2), aunque la lógica indica que el trabajador debe poner especial atención, establecidas las medidas de seguridad laboral en su empresa, en conocer y cumplir con tales disposiciones en aras del cuidado propio.

Es un hecho distinguido que para que la prevención de riesgos laborales sea efectiva se requiere de la instrumentación de métodos o técnicas preventivas acordes con los niveles de peligro y los factores de inseguridad relacionados con el tipo de actividad laboral, en lo cual

el concurso y aportes de profesionales de primer orden en este campo es absolutamente necesario. Continuando con Collado (2008), éste explica que la prevención pretende siempre evitar que las situaciones de riesgo, habiendo sido determinadas, lleguen a materializarse, a través del establecimiento de las medidas precisas que permitan elevar el nivel de seguridad laboral. Las técnicas de prevención y seguridad deben sustentarse, dentro de la empresa, en el cuidado y protección de:

- **El elemento humano.** Todas las medidas adoptadas deben tener presente y como centro de su acción al trabajador, procurando que éste no se convierta en víctima de lesiones o daños. El enfoque de la prevención sobre el sujeto humano debe orientarse a los ámbitos médico sanitario, psicosocial (inteligencia, personalidad, aptitudes, etc.) y formativo educacional.

- **El elemento técnico.** Este factor está en estrecha relación con el elemento humano, siendo imprescindible enfocarse en técnicas preventivas para evitar accidentes laborales. La orientación de las medidas sobre el factor técnico han de considerar la seguridad en el trabajo como disciplina diferenciada pero vinculada con las otras áreas de la empresa para procurar las máximas condiciones de seguridad; la higiene laboral en la prevención de factores alteradores de la salud por exposición a agentes físicos, químicos y biológicos; y la ergonomía como factor que procura la mejor adaptación y confort del trabajador con los medios tecnológicos y productivos para la máxima eficiencia y mayor comodidad en su desempeño.

- **Los elementos político – sociales.** Medidas, apoyos y medios proporcionados por el Estado para regular las condiciones de trabajo en un marco amplio de seguridad del trabajador y la mancomunidad de esfuerzos entre el sector productivo, laboral, y el Estado, administrativo, en pro de minimizar la siniestralidad en las empresas.

5.3. Radiactividad

La radiactividad es uno de los grandes descubrimientos del hombre contemporáneo. Evidentemente a medida que se ha ido profundizando en su conocimiento se ha ampliado el abanico de aplicación en campos como: la medicina, la agricultura, la industria, la biología, entre muchos otros, en los que su utilización hace crecer las posibilidades cuantitativas y cualitativas de conseguir los resultados buscados a través de su empleo.

“La radiación es el transporte o la propagación de energía en forma de partículas u ondas” (González y Rabin, 2011, p. 15). Se refiere a fenómenos físicos consistentes en emisión, propagación y absorción de energía por parte de la materia, ya sea como ondas (radiaciones electromagnéticas) o como partículas subatómicas (corpúsculares). Mientras que la radiactividad es la propiedad que tienen algunos elementos químicos de provocar una inestabilidad y una liberación de energía acumulada en forma de partículas u ondas electromagnéticas, debido a la existencia de una descompensación entre el número de neutrones y de protones del núcleo del átomo.

En la actualidad se ha indagado sobre las consecuencias para la salud, tomando en cuenta que en sus inicios existieron daños atribuibles a las exposiciones por radiación. Ante estos hechos, la opinión pública ha mostrado gran preocupación por la potencialidad que poseen las radiaciones para causar daños a corto, mediano y largo plazo.

5.4. Radiación ionizante

González y Rabin (2011), exponen que “(...) las radiaciones ionizantes son fotones o partículas emitidas por elementos radioactivos o en procesos atómicos que poseen energía suficiente como para ionizar átomos o moléculas.” (p. 16). En síntesis, las radiaciones ionizantes entran en interacción con la materia colisionando con los átomos que la constituyen, al atravesar su ambiente atómico, provocando la ionización y la excitación.

La ionización ocurre cuando hay energía suficiente para romper enlaces químicos, sacando el electrón de la nube y quedando libre con carga negativa mientras el átomo queda con carga positiva formando así el par iónico. De esta forma se crea el proceso por el cual un átomo o molécula gana o pierde electrones. Todas las partículas o fotones con suficiente energía pueden llegar a ionizar o romper ligaduras en átomos o moléculas millones de veces antes de perder toda su energía, radiación ionizante, razón o causa con posibles efectos nocivos biológicos y sobre la salud. Por su parte la excitación sucede cuando un electrón

salta de una órbita o nivel de energía superior para después volver a su órbita, emitiendo energía en el transcurso del proceso en forma de radiación electromagnética.

5.4.1. Fuentes y tipos de radiación ionizante.

Una característica común de los átomos denominados inestables es la emisión de radiaciones ionizantes, en búsqueda permanente de estabilidad para lo que necesitan liberar energía. A tal efecto puede describirse la radiación como pequeños paquetes de energía en movimiento que se liberan de su fuente originaria y viajan en el espacio hasta que impactan contra un cuerpo al cual le transfieren su energía, quedando irradiado. Esos átomos inestables pueden tener dos orígenes, unos naturales y otros artificiales. Las fuentes naturales pueden ser de radiación terrestre, minerales radiactivos presentes en el subsuelo, y cósmica que tiene como origen al sol (Organización Mundial de la Salud, 2016).

La radiación artificial es producida por los seres humanos en diversas actividades (medicina, industria, minería, pruebas de armas nucleares, generación de energía y accidentes nucleares, entre otras), mediante la utilización de equipos especiales o con la aplicación de métodos que posibilitan la sintetización de materiales radiactivos concentrados químicamente para utilizar sus propiedades radiactivas (Amaro, 2006).

Entre los tipos de radiaciones ionizantes determinadas y conocidas, según detalla Robert Cherry, Jr. en la Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo, Volumen II, trabajo coordinado por la Dra. Mager (1998), se cuentan: **Radiación gamma**, fotones de gran poder de penetración, usualmente de muy alta energía originados por la transición de un estado de energía alto a uno más bajo; **Rayos X**, también fotones de alta energía provenientes de la interacción entre electrones; **Partículas α (alfa)**, radionucleidos emisores de partículas alfa, de mucha intensidad energética pero bajo poder de penetración; **Partículas β (beta)**, electrones o positrones procedentes de la transformación del núcleo, de carga eléctrica positiva y masa nula; y **Neutrones**, forman parte del núcleo atómico, con unidad de masa y carga eléctrica nula (Mager, 1998; González y Rabin, 2011).

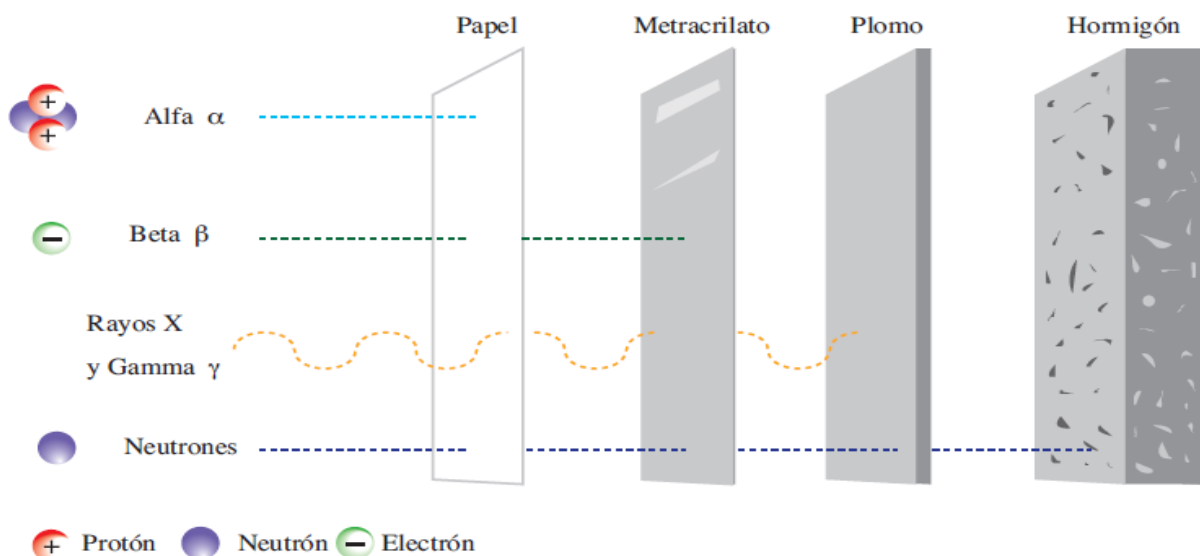


Gráfico 2. Tipos de radiaciones ionizantes.
Fuente: Consejo de Seguridad Nuclear, 2012.

5.5. Aplicaciones industriales de las radiaciones ionizantes

La utilización de las radiaciones ionizantes en diversos ámbitos del quehacer humano como la industria, la agricultura, la docencia y la investigación se ha convertido en una poderosa herramienta para realizar determinadas actividades de manera más rápida, eficaz, eficiente y a un costo mucho menor, evaluando la incidencia coste – beneficio, del que supondría la utilización de otros métodos alternativos.

En la Cátedra Enresa (2015) de la Universidad de Córdoba se plantea que los desarrollos tecnológicos actuales permiten el empleo y aprovechamiento de la radiactividad de manera fundamental en la vida diaria, de forma tal que en una evaluación de pros y contras, los resultados son muy favorables. Procesos como la generación de energía eléctrica más limpia, terapias médicas, desarrollo de nuevas líneas genéticas y control de plagas en la agricultura y la evaluación del cambio climático y el estado de la conservación de la naturaleza son ejemplos concretos que así lo certifican. El uso de fuentes de radiación en aplicaciones industriales es una práctica usual en todo el mundo, cubriendo una gama muy amplia en diversos sectores de la producción de bienes y servicios al aprovechar la capacidad que tienen las radiaciones ionizantes de atravesar objetos y materiales, con el beneficio adicional de que cantidades insignificantes de radionucleidos pueden medirse

rápidamente y con precisión, proporcionando información exacta de la distribución espacial y temporal.

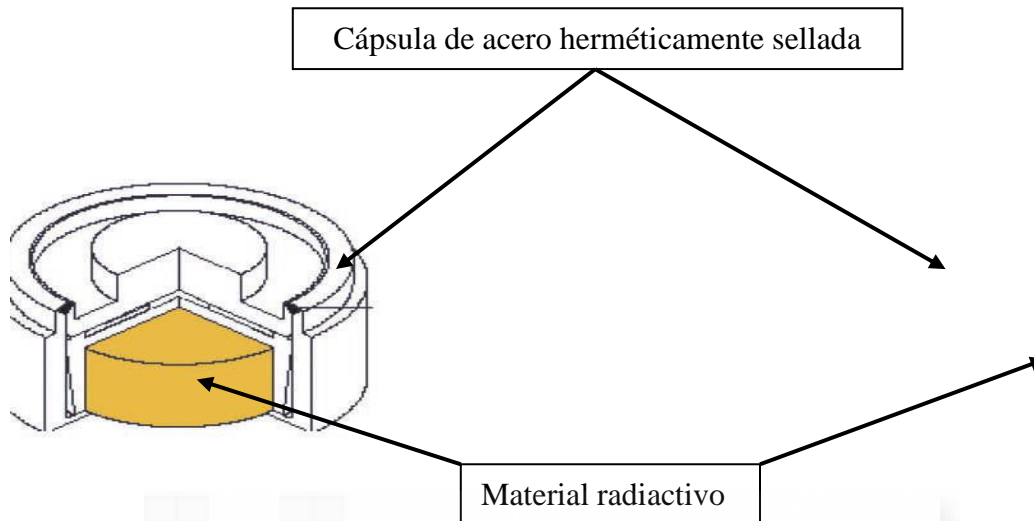


Figura 1. Modelos de fuentes radiactivas selladas de disco de ^{241}Am , a la izquierda, y ^{137}Cs , a la derecha.

Fuente: Organización Internacional de Energía Atómica, 2009.

Vásquez (2009) señala que “El uso de fuentes de radiación en aplicaciones industriales es una práctica usual en todo el mundo y cubren una gama muy amplia de aplicaciones, (...) medición de parámetros de procesos, radiografía industrial (...) irradiación de productos o materiales.” (p. 43), entre otras. Sustentado en el principio de funcionamiento se han establecido dos grupos de aplicación de radiación ionizante en la industria, uno con los equipos medidores (nivel, densidad, espesor, gramaje, caudal etc.), y otro con los equipos analizadores de materiales (cemento, minerales, carbón, explosivos).

5.6. Prevención de riesgos laborales en el uso de radiación ionizante

El uso de tecnologías radiactivas en cualquier ámbito, en este caso el industrial, exige una alta cuota de responsabilidad y cuidado en el manejo de procedimientos, equipo y herramientas en atención a preservar la salud y el bienestar tanto de los trabajadores

expuestos, como del público en general. El Consejo de Seguridad Nuclear (2012), CSN, informa que la exposición excesiva a este tipo de radiaciones produce efectos nocivos en la salud. En el campo de la protección radiológica se asocia el riesgo con “(...) la probabilidad de que se produzca un efecto perjudicial teniendo en cuenta no solo su probabilidad sino también la gravedad del suceso.” (p. 27), y en función de estas dos variables debe considerarse principalmente el establecimiento de las medidas prevención y seguridad.

Todo lo relacionado con la prevención, seguridad y resguardo en España en el uso de radiaciones ionizantes está contemplado en el Real Decreto 783/2001, Ministerio de la Presidencia (2001), en el Capítulo 1, artículo 1. Objeto, en el cual taxativamente se indica que el “(...) Reglamento tiene por objeto establecer las normas relativas a la protección de los trabajadores y de los miembros del público contra los riesgos que resultan de las radiaciones ionizantes (...)”. Este reglamento, que sirve como complemento de apoyo a la Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales, tuvo modificaciones en parte de su articulado en el Real Decreto 1439/2010 emanado del Ministerio de la Presidencia (2010). Los protocolos de prevención en el uso de radiaciones ionizantes, según el Consejo de Seguridad Nuclear (2015), deben cubrir un amplio abanico de aspectos, todos de suma importancia, dentro de los cuales pueden señalarse:

- **Equipos y fuentes.** Equipos diseñados de acuerdo con la norma ISO 3999, con certificado de aprobación del país de origen, suficiente información de sus características en el exterior del equipo y señalizado con el distintivo básico según la norma UNE 73-302. Las fuentes deben responder a las exigencias de la norma ISO 2919, con certificado de hermeticidad y actividad y encapsuladas como “material radiactivo en forma especial” en concordancia con la reglamentación para transporte de mercancías peligrosas.

- **Almacenamiento de equipos de gammagrafía.** Espacios con acceso controlado y puerta señalizada según Reglamento sobre Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes y norma UNE 73-302 y ubicado lejos de otras áreas donde se realicen actividades con riesgo de fuego, acceso independiente al de otras instalaciones en la edificación, materiales de construcción resistentes al fuego.

- **Verificación y mantenimiento.** Equipos y áreas deben ser objeto de revisiones exhaustivas, periódicas y programadas, así como de mantenimiento preventivo, emitiéndose

y resguardándose los respectivos certificados de la revisión y del mantenimiento para control después de la actividad.

- **Vigilancia y protección radiológica.** Los trabajadores expuestos deben contar con dosímetros para determinación de dosis individuales de exposición radiactiva, disponiéndose de un historial dosimétrico con registro de dosis recibida durante su vida laboral y el trabajador deberá contar con la asignación de un carné radiológico.

- **Monitoreo de radiación.** En las instalaciones se deberá disponer de suficientes monitores de radiación como hagan falta, con capacidad de medida de tasa adecuada y de fuera de rango, sometiéndose periódicamente los equipos de monitoreo a revisión y calibración.

- **Medios de protección radiológica.** En la empresa se debe contar con materiales para acotación y señalización de zonas radiactivas, tablas y gráficos de relación de parámetros de calidad de trabajo y de protección radiológica y sistemas integrales para la protección en casos de emergencias radiactivas.

5.6.1. Exposición ocupacional radiactiva en la industria.

El personal expuesto a radiaciones ionizantes en la industria puede recibir dosis efectivas de hasta 0,3 mSv anuales aproximadamente, generalmente en las aplicaciones asociadas a los procesos de irradiación y radiografía industrial donde son utilizadas fuentes radiactivas que generan altas tasas de dosis. En la ley de Prevención de Riesgos Laborales, artículo 22, apartado 1, se establece que los empresarios están obligados a gestionar medidas preventivas y protocolos de seguridad para garantizar a los trabajadores la vigilancia de la salud en función de los riesgos inherentes a la actividad que desempeñan, a fin de evaluar los efectos de las condiciones de trabajo y el riesgo que implica para su salud.

En tanto que en el Real Decreto 783/2001 emanado del Ministerio de la Presidencia (2001) se recopilan las medidas de protección radiológica contra las radiaciones ionizantes en su mayor parte, basadas en que el nivel de exposición y el número de personas expuestas sea lo más bajo posible, tratando de no sobrepasar los límites de dosis establecidos para los trabajadores expuestos. Entre las medidas más relevantes de la Ley, se encuentran:

- Evaluación previa de las condiciones laborales, de tal forma de determinar el riesgo radiológico al cual estará expuesto el trabajador.
- Clasificación por zonas de los lugares de trabajo, considerando las dosis anuales previstas.
- Categorización de los trabajadores expuestos según la condición del trabajo.
- Aplicación de las normas y medidas de vigilancia necesarias.

5.6.2. Vigilancia radiológica de la salud de los trabajadores expuestos.

La vigilancia médica radiológica de la salud de los trabajadores expuestos es una medida absolutamente necesaria en ambientes donde se apliquen radiaciones ionizantes. Para el campo concerniente a las instalaciones radiactivas Delgado, Fernández, Olaya, Rodríguez y Tagle, (s. f.) que el objetivo de esta medida es “(...) el registro, la evaluación, control e interpretación de la dosis que el operador va recibiendo y acumulando a través del tiempo por el desempeño de sus actividades.” (P. 34) y en consecuencia establecer los correctivos a que hubiere lugar para proteger al trabajador. La Consejería de Hacienda y Administración Pública (s. f.) expone que en el contenido de la vigilancia sanitaria se debe presentar:

- Historial laboral.
 - ✓Exposiciones anteriores (anamnesis laboral).
 - ✓Exposición actual al riesgo: Descripción del puesto de trabajo, tiempo de permanencia en el mismo, medidas de prevención adoptadas.
- Historia Clínica.
 - ✓Anamnesis.
 - ✓Exploración clínica específica.
- Control biológico y estudios complementarios específicos.
- Criterios de valoración.

Tabla N° 1: Protección de trabajadores expuestos.

(RD 783/2001,26 de Julio, Reglamento sobre Protección sanitaria contra las Radiaciones Ionizantes)		
EXPOSICIÓN PARA TRABAJADORES EXPUESTOS	DOSIS RECIBIDA ANUAL	
	1 mSv < DOSIS ≤ 6 mSv	DOSIS > 6 mSv
CLASIFICACION DE TRABAJADORES	Clase B	Clase A
CLASIFICACIÓN DE ZONAS	Vigilada	Controlada
VIGILANCIA AMBIENTE TRABAJO	Si Dosimetría	Si EPIs y Detectores de Radiación
VIGILANCIA INDIVIDUAL	No	Si Dosimetría personal
VIGILANCIA ESPECIFICA	No	Si Inicial y Anual

Fuente: Secretaría de Salud Laboral y Desarrollo Territorial. (2013).

El personal que se incorpore a una instalación radiactiva deberá suministrar el historial dosimétrico y ser sometido a un examen médico que permitirá evaluar su estado de salud y así decidir y verificar si se encuentra apto para la labor a la cual será contratado. Dicho examen tendrá por objeto la obtención de una historia clínica que incluya el conocimiento del tipo de trabajo realizado anteriormente y de los riesgos a que ha estado expuesto como consecuencia del mismo. (Junta de Castilla y León, 2003). El Consejo de Seguridad Nuclear (2012), ente que autoriza los Servicios de Protección Radiológica, SPR, y la Unidad Técnica de Protección Radiológica, UTPR, ratifica que todo personal expuesto a radiaciones ionizantes está obligado a someterse a un reconocimiento médico con una periodicidad anual, disponiendo del correspondiente protocolo médico individualizado que deberá archivar durante al menos 30 años desde el cese del trabajador en la instalación radiactiva.

5.6.3. Diarios de operación, registros e informes periódicos.

El operador de los dispositivos radiactivos debe reportar diariamente sus actividades al titular de la instalación radiactiva. Los diarios, registro e informes a reportar deben regirse de acuerdo con lo señalado en los apartados I.8 y I.9 del anexo I de la Instrucción IS-28 del Consejo de Seguridad Nuclear (2010), donde se determina que los diarios de operación deben estar disponibles, y en el caso de los desplazamientos durante largos periodos de tiempo los equipos deberán ir acompañados de sus diarios de operación firmados por el personal con licencia de operador responsable, y revisados y legalizados por un supervisor, con una regularidad no mayor a tres meses.

5.6.4. Evaluación y aplicación de las medidas de protección radiológica.

La Consejería de Hacienda y Administración Pública (s. f.), informa que el Servicio de Protección Radiológica, la Unidad Técnica de Protección Radiológica o la persona encargada de la protección radiológica debe comprender dentro de sus responsabilidades:

- La calibración, verificación y comprobación periódica del buen estado y funcionamiento de los instrumentos de medición.
- La verificación periódica de la eficacia de los dispositivos y técnicas de protección.
- La aplicación de la normativa vigente.
- La autorización de puesta en marcha de fuentes nuevas o modificadas desde el punto de vista de la protección radiológica.
- El examen crítico previo de los proyectos de la instalación desde el punto de vista de la protección radiológica.

5.6.5. Medidas preventivas y de protección en instalaciones industriales con uso de radiaciones ionizantes.

De acuerdo con lo indicado por el Consejo de Seguridad Nuclear (2012) y las recomendaciones del Organismo Internacional de Energía Atómica, OIEA, La Organización Mundial de la Salud, OMS, y el Organización Internacional del Trabajo, OIT, se mencionan algunas medidas preventivas a considerar en las instalaciones radiactivas, entre ellas:

- Usar obligatoriamente los equipos de protección individual en las zonas vigiladas y controladas con riesgo de contaminación.
- Utilizar pantallas o blindajes de protección de tal forma de reducir la dosis a la que será expuesto el operador.
- Delimitar zonas y señalar las áreas o espacios en los que se manipulan sustancias radiactivas.
- Planificar adecuadamente, con conocimiento adecuado de las operaciones a realizar que permita una reducción del tiempo de exposición, ya que disminuyendo el tiempo disminuirá la dosis que puede ser absorbida.
- Utilizar dispositivos o mandos a distancia en aquellos casos en que sea posible.
- Implantar un plan de trabajo para el manejo de radioisótopos que debe ser conocido con rigor por los operadores.
- Efectuar el control del nivel de radiación ambiental existente y de la dosis recibida por trabajadores implicados en las operaciones con riesgo de exposición.
- Realizar vigilancia de la salud.
- Al iniciar su actividad los trabajadores expuestos deben recibir formación suficiente y adecuada en materia de protección radiológica, y asimismo ser informados e instruidos al nivel adecuado sobre el riesgo de exposición.

6. Normativa Vigente

6.1. Evolución histórica

El descubrimiento de los rayos X en 1895 por Roentgen e inmediatamente la radiactividad por Becquerel y sus aplicaciones y usos, cada vez más amplios en diversos campos de actividad humana, ha obligado también a profundizar en los conocimientos relacionados con los efectos perniciosos, biológicos y físicos, que pueden derivarse de su uso sobre la salud humana y el medio ambiente, lo que ha orientado la creación, a finales de los años 30 del pasado siglo, de una interdisciplina llamada Protección Radiológica liderada, como indica Serwer (1976), por organizaciones profesionales científicas no gubernamentales, originando la creación del *International X-Ray and Radium Protection Committee*, IXRPC, durante la celebración del Segundo Congreso Internacional de Radiología en 1929, renombrado en 1950 como *International Committee on Radiological Protection*, ICRP, dando comienzo formal a la protección radiológica (Menéndez y Sánchez, 2013).

Las recomendaciones iniciales transmitidas por la ICRP estaban relacionadas con valores de blindajes (Arias, 2012), que para el momento se consideraban necesarios para la protección de los radiólogos. Luego, se establecieron los valores de las dosis de radiación que no debían excederse en las personas expuestas. Actualmente la ICRP constituye un organismo que lidera la concepción filosófica y práctica de la Protección Radiológica a nivel internacional.



Dentro de este contexto Arias (s. f.) señala que a nivel internacional se dispone del Comité Científico de la Naciones Unidas para el estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas, UNSCEAR por sus siglas en inglés, creado en 1955 y orientado a la publicación de información sobre las fuentes de radiación, los niveles de exposición de las personas y los resultados de las investigaciones sobre los efectos en la salud. Por su parte, y continuando con Arias (s. f.), también se encuentra el Organismo Internacional de Energía

Atómica, OIEA, fundado dos años más tarde, como respuesta a los profundos temores y las expectativas que infundían los descubrimientos y variados usos de la tecnología nuclear, lo que suscitó en el año 1997 la publicación de las *Normas Básicas de Seguridad para la Protección contra las Radiaciones Ionizantes y el Uso Seguro de Fuentes de Radiación*, normativa que se conserva vigente hasta el momento actual.

Es importante mencionar lo indicado por Mohamed el-Baradei Director General del OIEA, en un documento del Organismo Internacional de Energía Atómica (2010), señalando que las normas del OIEA se han convertido en un elemento clave del régimen mundial de seguridad destinado a facilitar los usos beneficiosos de las tecnologías nucleares o relacionadas con las radiaciones. En este sentido, en el artículo III del Estatuto del Organismo Internacional de Energía Atómica (1989) se presentan de forma taxativa sus funciones, entre las cuales se señala que está autorizado para establecer las normas y promover toda acción en orden de seguridad para la protección de la salud y la reducción al mínimo el peligro para la vida y la propiedad, así como inducir la aplicación de la normativa en materia de energía atómica y relacionada con materiales fisionables y radiactividad.

Dicha normativa puede ser visualizada en la Colección de Normas de Seguridad (Organismo Internacional de Energía Atómica, 2008) desde la perspectiva de seguridad nuclear, NS, seguridad radiológica, RS, seguridad del transporte, TS, seguridad de los desechos, WS, y seguridad general, GS (todas las siglas por su nombre en inglés), y a través de nociones fundamentales, requisitos y guías de seguridad. Vásquez (2009) explica que en las publicaciones de la OIEA se encuentran descripciones específicas de los usos en la industria, especialmente en radiografía industrial y en irradiadores industriales.

6.2. Historia legal de la energía nuclear en España

A nivel mundial existe un marco legal para cada país compuesto por leyes, decretos, reglamentos, órdenes ministeriales y recomendaciones que toda actividad llevada a cabo requiere. Sobre todo, y con mayor énfasis en aquellas que impliquen manipulación de agentes letales para la salud y la seguridad de las personas, lo que implica establecer mecanismos de vigilancia y control de los posibles riesgos que éstas puedan generar, en

búsqueda de una garantía de mínimos efectos causados por estas actividades a los trabajadores y la población en general. En el gráfico siguiente se puede apreciar la estructura legislativa con responsabilidades en todo el manejo legal y normativo relacionado con la seguridad nuclear y la protección radiológica en España.



Gráfico 3. Pirámide legislativa para para el manejo legal y normativo en materia de seguridad nuclear y protección radiológica.

Fuente: Consejo de Seguridad Nuclear, 2009.

Desde el punto de vista de protección radiológica, entendida ésta como “(...) la disciplina dedicada a la protección de las personas contra los peligros de las radiaciones.” (Arias, 2006, p. 189), en España la industria nuclear y radiactiva tuvo un desarrollo normativo tal vez un poco tardío en relación con otros países europeos. Menéndez y Sánchez (2013) señalan

que el régimen franquista percibió, después de la guerra civil, las potencialidades de la energía atómica para impulsar la reindustrialización de España, por lo que el gobierno en 1948 puso en marcha la Junta de Investigaciones Atómicas, y tres años más tarde creó la Junta de Energía Nuclear, JEN, como organismo estatal que lideró el desarrollo atómico español. Desde su creación, la JEN contó con una unidad de medicina y protección de personal que tenía entre otras misiones el control de las exposiciones radiactivas y la vigilancia de la salud del personal (Romero y Sánchez, 2001).

En España como quedó expresado en la Ley 25/1964 sobre Energía Nuclear, modificada el 28 de mayo de 2011, siempre se ha promovido de manera taxativa el desarrollo de las aplicaciones pacíficas de la energía nuclear y las radiaciones ionizantes, con regulación de su puesta en práctica dentro del territorio nacional y con garantía de protección a las personas y bienes de los efectos nocivos de las radiaciones ionizantes, como puede apreciarse en el Artículo 1. Objeto y definiciones, apartados a y b:

La presente ley tiene por objeto:

- a) Establecer el régimen jurídico para el desarrollo y puesta en práctica de las aplicaciones pacíficas de la energía nuclear y de las radiaciones ionizantes en España, de manera que se proteja adecuadamente a personas, cosas y medio ambiente.
- b) Regular la aplicación de los compromisos internacionales adquiridos por el Estado en materia de energía nuclear y radiaciones ionizantes.

Fernández (1989) en un artículo de prensa menciona que entre el año de la creación de la JEN hasta mediados de los años 70 con el advenimiento de la democracia en España, se discutieron y colocaron en práctica una serie de exigencias tomadas tanto de los trabajadores como de las instalaciones radiactivas y del estado, que condujeron a la toma de disposiciones en relación con este organismo, entre ellas que la generación eléctrica nuclear debía estar a cargo de las compañías eléctricas y del estado.

A tal efecto, según la Orden de 10 de marzo emanada del Ministerio de Trabajo (1976) se aprueba la Ordenanza de Trabajo para la JEN en temas de medidas de seguridad y protección radiológica con base en la ley de energía nuclear de 1964 (25/1964), que, en palabras de Menéndez y Sánchez (2013), expresa “(...) esta normativa general de prevención de riesgos laborales, permitió la superación de las obsoletas estructuras preventivas anteriores, adaptando las políticas preventivas a la realidad socioeconómica y

tecnológica de la España de los años 1960” (p. 807), con un apartado extenso y detallado sobre las radiaciones ionizantes.

Finalmente, en 1980 la JEN resigna sus competencias en dos organismos: el Consejo de Seguridad Nuclear, CSN, creado mediante disposición de la Ley 15/1980, con funciones de regulación en el componente de seguridad nuclear y protección radiológica; y el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, CIEMAT, adscrito al Ministerio de Ciencia y Tecnología de acuerdo con la Ley 13/1986, destinado a proyectos de investigación y desarrollo en cuatro grandes áreas, a saber: investigación básica, tecnología nuclear, protección radiológica, medio ambiente y energías renovables. Ya en 1984 se estableció formalmente la Empresa Nacional de Residuos Radiactivos, ENRESA, única autorizada para la gestión y tratamiento de residuos radiactivos mediante la generación de planes para la puesta en marcha del sistema nacional de gestión de residuos de baja y media actividad (Consejo de Seguridad Nuclear, 2020; Real Decreto 1522/1984).

La Ley 15/1980 fue posteriormente derogada por la Ley 33/2007 de reforma de la Ley de Creación del Consejo de Seguridad Nuclear, en donde se le estatuye como único organismo competente en materia de seguridad nuclear y protección radiológica, convirtiéndolo en un ente de derecho público con personalidad jurídica y patrimonio propio, independiente de la administración general del Estado y regido por su Estatuto, Real Decreto 1440/2010 emanado del Ministerio de la Presidencia (2010), el cual rinde cuentas al Congreso de los Diputados y al Senado a través de su misión destinada a proteger a los trabajadores, la población y al medio ambiente, de los efectos nocivos de las radiaciones ionizantes por medio del establecimiento de medidas de prevención y corrección frente a emergencias radiológicas, equiparando el marco normativo en materia nuclear al de los países más avanzados en la materia.

En atención a lo señalado, es preciso destacar algunas de las funciones del Consejo de Seguridad Nuclear, CSN, en España, entre las que se encuentran: presentar al gobierno propuestas en materia de seguridad nuclear y protección radiológica; establecer normas de cumplimiento obligatorio que en un determinado momento pueden decretar el cese inmediato de la actividad de las instalaciones; otorgar e inspeccionar licencias de personas que operan en instalaciones nucleares y radiactivas; participar ante cualquier incidente nuclear o radiológico y chequear las dosis de radiación a las cuales están expuestas los trabajadores.

Se resalta que en esta reforma se incorpora un artículo, número 13, que establece en sus apartados 1 y 2 la responsabilidad de las personas jurídicas o naturales en ejecución de labores relacionadas con la radiactividad de informar a los titulares sobre cualquier anomalía que afecte la seguridad en su trabajo, y de no tomarse las medidas pertinentes, informar al CSN, quedando expresado el artículo de la siguiente forma:

Artículo 13.

1. Las personas físicas o jurídicas al servicio de las instalaciones nucleares y radiactivas, cualquiera que sea la relación laboral o contractual que mantenga con éstas, deberán poner en conocimiento de los titulares cualquier hecho conocido que afecte o pueda afectar al funcionamiento seguro de las mismas y al cumplimiento de la normativa vigente en materia de seguridad nuclear o protección radiológica. En caso de que los titulares no tomen diligentemente medidas correctoras, deberán ponerlo en conocimiento del Consejo de Seguridad Nuclear.

2. Los empleadores que tomen represalias contra los trabajadores que pongan en conocimiento del Consejo de Seguridad Nuclear hechos relacionados con la seguridad de las instalaciones serán sancionados con arreglo a lo previsto en la legislación sobre energía nuclear.

Con el objetivo de establecer las normas básicas y principios fundamentales de protección para el personal y el público en general, prevenir los riesgos que pudieran producirse como resultado de la exposición a las radiaciones ionizantes, definir normas de vigilancia, clasificar lugares de trabajo, clasificar las personas en diferentes grupos y definir las dosis autorizadas para los trabajadores expuestos, público y personas en formación, fue promulgado el Real Decreto 783/2001 emanado del Ministerio de la Presidencia (2001), aprobado como el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes, en el que se especifica que la protección sanitaria abarca cualquier instalación nuclear y radiactiva. Este decreto fue modificado por el Real Decreto 1439/2010.

En relación con las instalaciones que utilizan equipos de rayos X con fines de diagnóstico médico, un documento del Consejo de Seguridad Nuclear (2009) indica que en el Real Decreto 1085/2009, Ministerio de la Presidencia (2009), están normados los aspectos que contemplan este entorno, siendo extensivo a todas aquellas instalaciones que utilizan aparatos que por su naturaleza radiactiva deberán estar sujetas a lo normado en este reglamento. En el artículo 19 se establece que en todas las instalaciones de radiodiagnóstico será obligatorio implantar un programa de protección radiológica, donde se recopilen los aspectos mencionados en la Ordenanza de Protección Sanitaria contra Radiaciones

Ionizantes aplicables a este tipo de instalaciones, con el objetivo de garantizar que las dosis que reciban los trabajadores y el público sean las más bajas posibles e inferiores a los límites establecidos en la reglamentación.

De igual forma, en el apartado de definiciones del mencionado decreto se puntualiza el concepto de los dispositivos de Rayos X como equipos eléctricos con un generador de tensión y uno o varios tubos de rayos X, en presentación fija si se utilizan con carácter estacionario o móvil si se desplazan de un lugar a otro. Adicionalmente, también se encuentran vigentes en España el Real Decreto 1564/2010, Ministerio del Interior (2010), por el que se aprueba la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo Radiológico; el Real Decreto 1308/2011, Ministerio de la Presidencia (2011), sobre protección física de las instalaciones y los materiales nucleares y de las fuentes radiactivas; y la Ley 13/2010, Comunitat Valenciana (2010), de Protección Civil y Gestión de Emergencias.

Simultáneamente a los organismos y decretos antes mencionados, en España se fundó en 1980 la organización independiente Sociedad Española de Protección Radiológica, SEPR, sin fines de lucro y destinada a la promoción científica y la divulgación de la protección radiológica, y teniendo como principal objetivo congrega al mayor número posible de profesionales relacionados con “(...) este campo y ofrecer un espacio de diálogo, información y participación entre sus asociados, la sociedad en su conjunto y las empresas e instituciones, públicas y privadas, relacionadas con el uso pacífico de las radiaciones ionizantes (Sociedad Española de Protección Radiológica, 2020, párr. 4), como una forma de generar conciencia en relación con las bondades y peligros que implica el uso de esta herramienta, en complemento al marco normativo establecido.

7. Operadores y público expuesto en el sector laboral industrial con radiactividad

El progreso industrial está entrañablemente ligado a los procesos productivos y por ende al control de calidad, indispensable en sus operaciones, para la producción de un bien o servicio que satisfaga las exigencias del público consumidor, para lo cual se apoya cada vez más en las aplicaciones de los avances tecnológicos que garanticen la eficacia, eficiencia y productividad, bases usuales de la misión de cada organización. es por ello que los ensayos no destructivos juegan un papel importante en este terreno, puesto que como lo enuncia AEND (2016), es una prueba ejecutada en cualquier tipo de objeto, sin cambiarlo o alterarlo, con el fin de comprobar la ausencia o presencia de discontinuidades o condiciones que pueden tener un efecto desfavorable en la utilidad del mismo, es decir que su aplicación permite apreciar las cualidades físicas de un material sin perjudicar su integridad física ni química, brindando así información de interés para controlar y garantizar la fabricación del producto final.

Hiemesa es un importante grupo empresarial del área de la siderurgia y la metalurgia especializado en la fabricación, transformación, comercialización y distribución de productos siderúrgicos, especialmente de acero, facilitando su uso final para una clientela de mercados variados (construcción, naval, calderería, maquinaria, etc.) y a través de un amplio y diverso conjunto de empresas a lo largo y ancho de España, siendo su persistente inquietud asegurar la calidad de sus productos (Ver Figura 5).

Este grupo empresarial ha considerado la aplicación de procesos de control de la calidad de sus productos paulatinamente a través de la aplicación de ensayos no destructivos mediante métodos de radiografía industrial, específicamente usando la técnica de gammagrafía, como parte de su política para reafirmar y ampliar su presencia en el mercado, fidelizando aún más a sus clientes al garantizar la calidad y pertinencia de uso de sus productos, para lo cual ha iniciado acciones en una de sus empresas filiales, SteelMed, con el ánimo de establecer un espacio de ejecución de pruebas de calidad en las instalaciones

de esta empresa mediante las técnicas industriales de radiación ionizante ya antes mencionadas.



Figura 2. Distribución de empresas del Grupo Hiemesa en España.

Fuente: <https://www.hiemesa.com/es>

Se ratifica que una de las metodologías más utilizadas en el control no destructivo es la radiografía industrial (Chaverri y Conejo, 2017) por su gran ventaja de proporcionar una imagen real, observándose de esta manera cualquier anomalía en el objeto analizado. Ante el empleo de esta práctica se hace indispensable el conocimiento de los riesgos ocasionados por exposiciones a radiaciones ionizantes y por consiguiente las medidas de prevención imprescindibles. Ya en 1960 La Organización Internacional del Trabajo, OIT, tomó la iniciativa de ofrecer mecanismos de protección a los trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes durante su actividad laboral, promulgando el *Convenio Sobre la Protección Contra las Radiaciones Número 115*, vigente hasta el momento actual, siendo el único instrumento jurídico internacional abocado a este tema, ratificado por 48 países (Shengli, 2011)

7.1. Función y responsabilidades de un operador

El objetivo principal del establecimiento de procedimientos relacionados con la protección radiológica en trabajadores y público en general es disminuir la incidencia de los efectos por exposición de radiaciones, sin restricción de prácticas favorables. El uso de dispositivos con fuentes selladas aumenta los niveles de seguridad en este sentido, si son manejados correctamente, debido a que están dotados de un blindaje apropiado para que en condiciones de operatividad brinde la protección necesaria (Truppa, 2006).



Figura 3. Equipos para medición de humedad y densidad dañados por descuido.

Fuente: Truppa, (2006).

Las operaciones de manipulación de equipos radiactivos exigen suma responsabilidad, por lo que no es un trabajo común. El operador de una instalación radiactiva debe ser una “persona con licencia o acreditación, otorgada por el Consejo de Seguridad Nuclear, capacitada para la manipulación de material radiactivo y/o equipos productores de radiación” (Sánchez, 2018, p. 92), lo cual amerita una formación con características, habilidades, responsabilidades, destrezas y conocimientos muy específicos y concretos.

Se sabe que en el sector industrial metalmecánico se aprovecha la capacidad de penetración sobre los metales que posee la radiación electromagnética para obtener

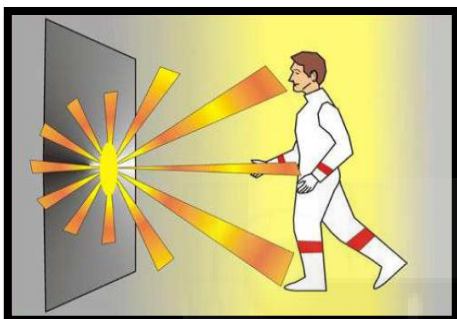
radiografías y de esta manera detectar imperfecciones en piezas metálicas (González y Rabin, 2011), técnica conocida como gammagrafía, cuyo basamento es “(...) la absorción diferencial de la radiación cuando ésta atraviesa materiales de diferente densidad. (...)” (Consejo de seguridad nuclear, 2012). La función de un operador se centra en “Aplicar la técnica de ensayos no destructivos, mediante la operación de los equipos de gammagrafía, controlando y ajustando los parámetros necesarios para suministrar imágenes radiográficas de la pieza a inspeccionar (...)” (Ermacora, s. f., p. 3), para lo cual es imprescindible conocer en detalle las características del equipo a operar, comprobando el correcto funcionamiento de los sistemas y calibrándolo cada vez que sea objeto de reparación. Los operadores de dispositivos radiactivos, entre otros aspectos, deben:

- Disponer de licencia para la manipulación de materiales o equipos generadores de radiaciones ionizantes, de acuerdo a ordenamientos e instrucciones determinadas.
- Contar con la debida preparación técnica y la mayor capacidad posible para el manejo de materiales peligrosos, específicamente de equipos con material radiactivo.
- Conservar el buen estado de los dispositivos radiactivos que se encuentran en la industria donde labora.
- Disponer de conocimiento básicos de mantenimiento, seguridad e higiene y de instrumentación para el manejo de equipos radiactivos.
- Cumplir con las normativas de la organización y la política de seguridad establecida para el manejo de dispositivos radiactivos haciendo uso correcto de los dispositivos de vigilancia radiológica, equipos y la ropa de protección que se les haya suministrado;
- Verificar y calibrar equipos de forma periódica advirtiendo el buen estado y funcionamiento de los mismos.
- Implementar mejoras en cuanto a políticas de seguridad, calidad y mantenimiento en el área de aplicación de radiaciones ionizantes.
- Cumplir con los requisitos legales que le sean impuestos, así como demostrar su cumplimiento antes sus jefes inmediatos.

(Cascón, 2015; Consejo de Seguridad Nuclear, 2020; Organismo Internacional de Energía Atómica, OIEA, 2011; Sánchez, 2018).

7.2. Riesgos asociados a la radiación radiactiva

Pascual y Gadea (2001) denominan la irradiación como “(...) la transferencia de energía de un material radiactivo a otro material, sin que sea necesario un contacto físico entre ambos” (p.4). Los individuos que emplean dispositivos con radiaciones radiactivas están expuestos al riesgo por irradiación externa y/o por contaminación radiactiva, con posibilidades de ser afectados parcialmente o de cuerpo entero, según Cueva (2008). Hay



cuerpo humano.

riesgo por irradiación externa cuando, por la naturaleza de la radiación y el tipo de técnica, la persona se expone mientras la fuente de radiación está activa, sin existir contacto directo con el material radiactivo, deteniéndose el efecto al finalizar la radiación o cuando el sujeto se aleja lo suficiente. Ejemplo, un generador de rayos X irradiando un

La contaminación radiactiva, a su vez, se conoce como la “(...) exposición en la que existe contacto directo con la fuente radiactiva, y se dispersa en el ambiente o depositada en superficies. (...)” (Cueva, 2008, p. 35). Un radionucleido adsorbido se fija en uno o más órganos del cuerpo con consecuencias que pueden llegar a ser fatales, de lo que se deduce que este tipo de contaminación por radiactividad es mucho más grave que la irradiación externa, pudiendo la persona estar expuesta hasta que se eliminen los radionucleidos por metabolismo o cese la actividad radiactiva de las señaladas partículas.

7.2.1. Riesgos laborales con radiactividad en el sector industrial

La utilización de dispositivos radiactivos es una realidad cada vez más presente en el mundo laboral industrial, lo que implica el incremento de los riesgos asociados al trabajo en una organización, riesgos vinculados a posibles efectos perniciosos en la salud de los trabajadores expuestos a las radiaciones ionizantes y que dependen, por supuesto, del tipo y nivel de la radiación. Puede darse la contaminación radiactiva por inhalación, exposición,

ingerido o cualquier otra forma de entrada al torrente sanguíneo y finalizar cuando elemento de radiación es eliminado del cuerpo de forma natural o mediante tratamiento específico.

El personal en riesgo por las radiaciones ionizantes está compuesto, sobre todo, por los trabajadores que durante el desarrollo de su jornada profesional trabajan directamente y se exponen a dosis mayores que el resto de las personas que no lo hacen de forma directa, trabajadores o no. El efecto ocasionado por las radiaciones ionizantes en la salud dependerá, de acuerdo con Bushberg (2019), de los factores incidentes de forma directa en el daño ocasionado en la salud por la exposición radiactiva, entre los que pueden contarse: la cantidad y rapidez en la que sea recibida la dosis, la sensibilidad del tejido irradiado, la presencia de anomalías genéticas, la edad, la parte del cuerpo expuesto y, muy importante, el estado general de salud del individuo en el momento de la exposición.

Los síntomas dependerán de los factores antes mencionados. La exposición por radiación en todo el cuerpo causa enfermedad por radiación aguda mientras que la exposición parcial crea una lesión local por radiación. En síntesis la gravedad dependerá de la dosis de radiación recibida (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2016). El Síndrome Agudo de Radiación, SAR, es un conjunto de daños causados por una irradiación debido a exposición única, que afecta a todo el cuerpo, con dosis superior a 1 Gy (Consejo de Seguridad Nuclear, 2009). La enfermedad por radiación aguda se divide en tres síndromes: el hematopoyético, que afecta los tejidos que producen células sanguíneas; el gastrointestinal, que ataca el tubo digestivo; y el cerebrovascular que daña el cerebro y el sistema nervioso (Bushberg, 2019). El tipo de síndrome, la gravedad y velocidad de progresión de las lesiones dependerán de la dosis recibida.

Tabla N° 2. Daños producidos en un Síndrome Agudo de Radiación, SAR.

Dosis absorbida (Gy)	Sistema afectado	Daños producidos
1-8	Hematopoyético	Destrucción de la médula ósea
3	Cutáneo	Efectos locales
1	Gastrointestinal	10% de casos con vómitos, náuseas y diarreas
2		33% de casos con vómitos, náuseas y diarreas
3.5		66% de casos con vómitos, náuseas y diarreas
6		95% de casos con vómitos, náuseas y diarreas
9-10		100% de casos con vómitos, náuseas y diarreas
3.5 – 4.0	Varios	Sobreviven el 50% de casos
6	Respiratorio	Similares al “síndrome de dificultad respiratoria aguda”. Es intratable.
> 30	Nervioso central y cardiovascular	No hay supervivencia

Fuente: (Consejo de seguridad nuclear, 2009).

En el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2016) se expone que si la médula ósea y el resto del sistema hematopoyético reciben menos de 1 Gy, tienen alta capacidad de regeneración, pero si la exposición a las dosis, aunque sea baja es continua, ocasiona la muerte después de algunos meses por daños en la médula ósea. Y según Bushberg (2019) en el caso del síndrome cerebrovascular, siempre es mortal una exposición mayor a 20-30 Gy.

Cuando la radiación ataca las células que revisten el aparato digestivo se presentan vómitos, diarrea y náuseas. Con tratamiento médico avanzado los que sufren este síndrome tienen 50 % de probabilidad de supervivencia. Las lesiones locales por radiación se presentan en zonas limitadas del cuerpo. Generalmente se producen lesiones de la piel que cubren la zona afectada, pero puede incluirse caída del cabello, enrojecimiento, descamación, úlceras y dilatación de los vasos sanguíneos justo debajo de la superficie de la piel. La exposición a grandes dosis radiactivas puede ocasionar graves cicatrizaciones, fibrosis, del tejido pulmonar generando dificultades respiratorias y, en algunos casos la muerte (Bushberg, 2019).

Tabla N° 3. Daños producidos por una Irradiación Localizada.

<u>Dosis absorbida (Gy)</u>	<u>Órgano afectado</u>	<u>Daños producidos</u>
0.15 – 3.50	Testículos	Esterilidad, de temporal a permanente, según la dosis
2.5 – 6.0	Ovarios	Esterilidad permanente
0.5	Médula ósea	Depresión del proceso de formación de células sanguíneas
2.0 – 6.0	Piel	Efectos según la dosis: enrojecimiento reversible (2.0), caída temporal del pelo (3.0 - 5.0), eritema o necrosis de piel (5.0 - 6.0)
3.0	Tracto Gastrointestinal	Vómitos

Fuente: Consejo de Seguridad Nuclear, 2009.

7.2.2. Riesgos laborales con radiactividad en SteelMed

Los posibles riesgos laborales de lesión o daños por uso de equipos de radiactividad ionizante, gammágrafos industriales, en la empresa SteelMed, empresa orientada al procesamiento y comercialización de productos de acero (láminas, chapas, perfiles) que forma parte del grupo empresarial Hiemesa, son los asociados en general a las prácticas de utilización de este tipo de herramientas de apoyo en una industria de producción de bienes, caracterizados por: “(...) fallos de equipos, errores humanos, sucesos externos o combinaciones de ellos (...)” (Foro Iberoamericano de Organismos Reguladores Radiológicos y Nucleares (FORO), 2016, p. 9). Por tanto, para tener un acercamiento a los mayores riesgos radiactivos en la empresa SteelMed, conviene precisar los procesos de producción de la empresa, los cuales a grosso modo se detallan en el siguiente diagrama de flujos de procesos:

1. Se reciben lotes de los productos de acero a procesar (láminas, chapas y perfiles). Se hace una primera revisión de calidad y los lotes aprobados de materiales se conducen a los almacenes de materia prima, MP, en donde son almacenados por tipos y espesores.

2. Se hace solicita al almacén de MP el enviar lotes de materiales a las áreas de corte, acabados de piezas y embobinados de ser el caso. Posteriormente se toman muestras por lote de piezas, de forma aleatoria, para control de calidad.

3. Se procede a la realización de controles de calidad a las piezas terminadas. En este caso, y es hacia donde apunta SteelMed, se aplicarán los procesos de gammagrafía a las muestras seleccionadas en el departamento de ensayos no destructivos a acondicionarse a tal efecto, para verificar los parámetros de calidad esperados, relacionados con densidades, espesores, fallas de fisuras metálicas, y de soldadura en el caso de los perfiles.

4. Validada la pieza probada se valida el lote y se conducen las piezas al almacén de producto terminado, PT, listas para embalaje y despacho a clientes. Los procesos se ilustran en el siguiente diagrama de flujo.

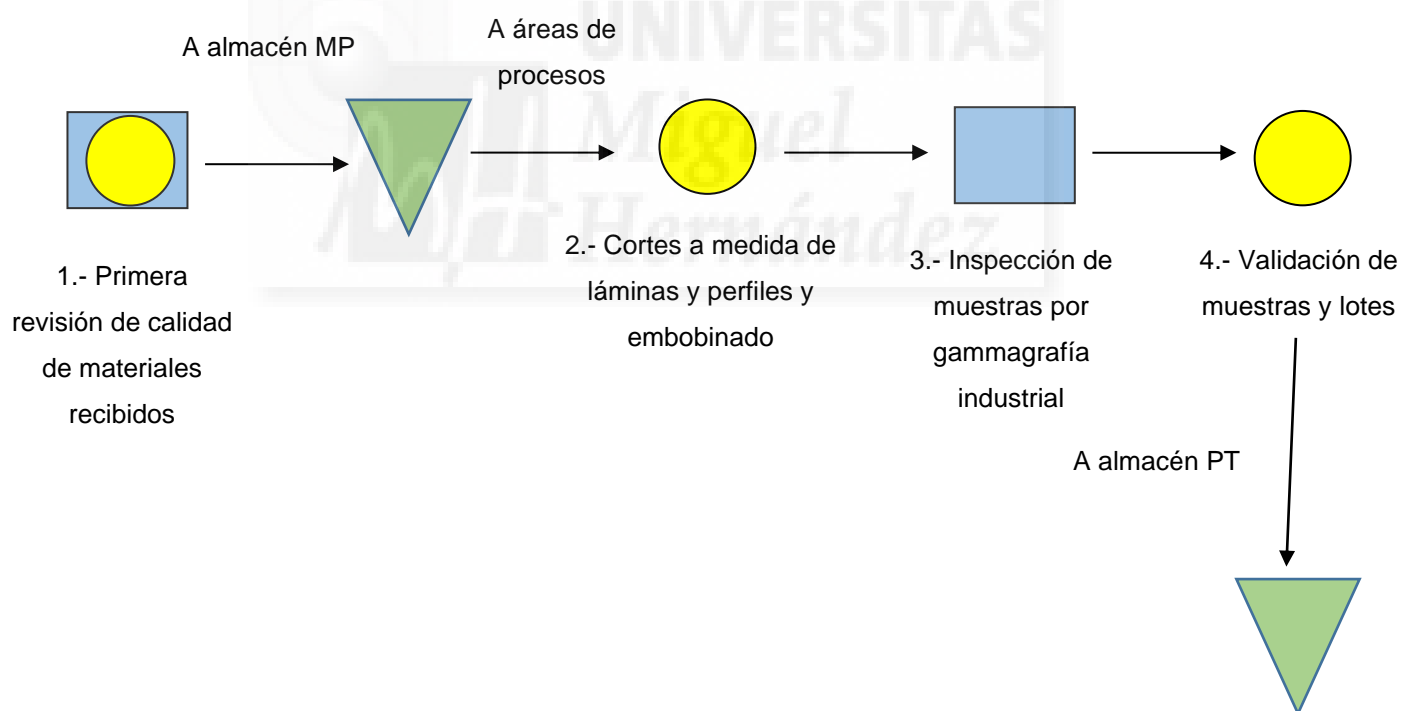


Gráfico 4. Diagrama de flujo de procesos de la empresa SteelMed, con la prevista aplicación de procesos de evaluación por radiografía gammagráfica, según la simbología de la normativa American Society of Mechanical Engineers, ASME.

Fuente: Camacho, 2010.

Evidentemente, y como puede apreciarse en el diagrama de flujo de procesos presentado, los mayores riesgos relacionados con radiactividad estarán alrededor de la zona de aplicación de los ensayos de irradiación industrial, el área acondicionada para pruebas de muestras por gammagrafía, y en este caso tienen como factores de primer orden los riesgos asociados a las fallas humanas y al deterioro o mal funcionamiento de los equipos de ionización radiante a utilizar. Ambos factores pueden estar estrechamente relacionados, pues como ejemplo, podría producirse un daño, deterioro o fallas de funcionamiento del equipo y que el operador no se percatara de tal hecho, poniendo de esta manera en riesgo no solo su propia salud, sino también la de otros trabajadores en la planta.

Dentro de los accidentes con mayor porcentaje de ocurrencias en el uso de radiaciones ionizantes con gammagrafía documentadas se dan aquellos en los cuales el portafuente es desconectado del cable de control no retornando a su posición de blindaje, presentándose accidentes no deseados en el ámbito industrial, no olvidando que la aplicación de radiografía industrial mediante la técnica de gammagrafía es la que más expone al trabajador a las radiaciones gamma en todas las etapas del proceso, siendo el momento de mayor riesgo el de acciona el telemando para eyectar y reintegrar la fuente (Ermacora, 2005; Serrano, s. f.).

Sobre accidentes por mal uso o fallos, para el Organismo Internacional de Energía Atómica (2011) una de las principales razones es la presencia de trabajadores sin protección cerca de la fuente, así como otra recurrente es la falta de sincronismo entre el trabajador responsable por el cambio de las películas radiográficas y el operador que da inicio al proceso de operatividad del equipo. A su vez el Consejo de seguridad nuclear (2009) expone como fallos frecuentes la operación del equipo sin confirmar que la fuente ha quedado blindada dentro del gammágrafo, exponiéndose a accidentes radiactivos, el atasco del portafuentes en algún punto de las mangueras, el olvido del operador de retraer la fuente al finalizar una exposición, dispositivos encendidos cuando se supone que están apagado e irradiación del equipo en dirección incorrecta. Es de destacar que sólo personal capacitado en seguridad radiológica y radiólogos calificados como industriales tienen permiso para hacer pruebas radiográficas.

7.3. Formación para trabajadores y público sobre la radiactividad en el ámbito industrial

En una empresa donde se trabaje con radiaciones ionizantes el empleador tiene la obligación de limitar la exposición del personal de la organización cuyas labores no implican contacto directo con las radiaciones, como si fuese personal externo, y mantenerlos informados sobre los fundamentos básicos de su aplicación en pro de concienciarlos sobre los peligros que su aplicación entraña y qué medidas básicas tomar al respecto. Truppa (2006) manifiesta que los programas de capacitación en una industria que incluya esta tecnología deben incluir conceptos básicos sobre las radiaciones ionizantes, cultura de seguridad y salud laboral, fundamentos básicos de protección radiológica, procedimientos de emergencia y estrategias dentro de la instalación, realimentación de experiencias vividas en la propia instalación y en otras del mismo ámbito y lecciones aprendidas de accidentes o incidentes radiológicos, entre otros aspectos.

El Organismo Internacional de Energía Atómica (2011) publica en la Colección de Seguridad Física Nuclear del OIEA informes sobre accidentes radiológicos, manuales de capacitación y manuales prácticos, que sirven de guía sumamente útil para los programas de capacitación que deben desarrollar las organizaciones que apliquen esta tecnología en algún proceso propio de sus operaciones. Es necesario señalar que la capacitación dependerá del sector industrial y de los dispositivos que cada organización disponga para el desarrollo de sus actividades. El Consejo de Seguridad Nuclear (2015) determina entre otras para la formación de trabajadores en gammagrafía, que:

- Los equipos sólo podrán ser manipulados por personal provisto de licencia de operador o supervisor,
- La empresa debe formar e instruir a los trabajadores expuestos en todo lo concerniente a protección radiológica.
- Es necesario llevar a cabo entrenamiento del personal mediante ejercicios prácticos que contribuyan a aumentar la pericia del trabajador, reflejen operaciones propias de situación normal y conciba claramente lo que debe hacer en caso de emergencia.

8. Medidas y protocolos de prevención y seguridad en el sector laboral industrial con radiactividad

En vista de los riesgos a los que se exponen los trabajadores que emplean dispositivos radiactivos en sus labores se hace indiscutible generar políticas en protección radiológica a fin de preservar la salud y bienestar de los trabajadores. El Grupo Hiemesa ha decidido aplicar estrategias de mejora continua en sus operaciones mediante la incorporación paulatina de tecnología de radiación ionizante, gammagrafía industrial, para los procesos de control de la calidad en sus productos, empezando por la empresa SteelMed, empresa orientada al procesamiento y comercialización de productos de acero (planchas, láminas y perfiles), lo que implica que en las políticas del grupo debe considerarse en principio y de forma expresa el cumplimiento de las normativas de prevención establecidas por el Consejo de Seguridad Nuclear y apoyarse en las recomendaciones internacionales inherentes a este tema, para así convertirse en una organización que cubre procesos con radiactividad en sus instalaciones de forma segura y sin impacto lesivo sobre su recurso humano.

8.1. Medidas y protocolos de prevención y seguridad en el sector laboral industrial con radiactividad

La Comisión Internacional de Protección Radiológica, CIPR, dispone una serie de recomendaciones generales, que deben ser consideradas para resguardar la salud del personal en contacto con radiactividad. Una de las sugerencias más importantes son los límites de riesgo intermedios, para lo que se considera que la protección debe orientarse a la prevención de los efectos, respetando los límites establecidos en cada caso, hecho que enfatizan Hernández y Pernalet (2017) poniendo especial atención en el cuidado como factor determinante para evitar los riesgos relacionados con las radiaciones.

Fundamentalmente la prevención se centraliza en una ajustada vigilancia de la exposición laboral de las radiaciones ionizantes, manteniendo las dosis de exposición bajo control para lo que se plantea que tanto las organizaciones como los operadores deben cumplir con tres

reglas fundamentales de protección contra toda fuente de radiación, Preciado y Luna (2010), y de los principios básicos asentados por el Consejo Nuclear Superior (2012), a saber:

:

- **Distancia:** Cuanto más lejos se esté de las sustancias radiactivas, menor será la cantidad de radiación absorbida y por tanto la dosis será menor.

- **Blindaje:** éste disminuye el campo radiactivo permitiendo acortar la distancia de trabajo y reducir la dosis. El blindaje requerido dependerá del tipo de radiación, ya que como la radiación alfa se frena con una hoja de papel, la beta con plástico p aluminio y la gamma debe emplearse materiales adecuados como el plomo y el hormigón.

- **Tiempo:** la dosis recibida es directamente proporcional al tiempo de duración de la radiación, es decir, doble de tiempo supondrá doble de dosis

- **Justificación:** no deben llevarse a cabo prácticas radiactivas que no impliquen un beneficio positivo para la sociedad. Así mismo debe considerarse los efectos negativos y las alternativas posibles.

- **Optimización:** Las exposiciones a la radiación deben mantenerse en niveles tan bajos como sea razonablemente posible, considerando factores sociales y económicos (Principio ALARA).

- **Limitación:** Las dosis de radiación recibidas por las personas expuestas no deben exceder los límites establecidos en las normativas nacionales, siguiendo las recomendaciones para cada circunstancia en particular de la Comisión Internacional de Protección Radiológica, CIPR.

8.1.1. Limitación de dosis.

Uno de los principios fundamentales de la protección radiológica es el límite de dosis absorbida por el trabajador expuesto, por lo que los valores establecidos por organismos internacionales y consiguientemente nacionales no deben ser excedidos para evitar los efectos perjudiciales en la salud de las personas. En el Capítulo II del Real Decreto 783/2001, Ministerio de la Presidencia (2001), artículos del 9 al 12 se establecen para España los límites de dosis para los trabajadores expuestos, acordando:

- La dosis efectiva será de 100 mSv durante todo período de cinco años oficiales consecutivos, sujeto a una dosis efectiva máxima de 50 mSv en cualquier año oficial, equivalente a 20 mSv.

- Para el cristalino la dosis equivalente será de 150 mSv por año oficial.

- En el caso de la piel el límite de dosis equivalente será de 500 mSv por año oficial. Dicho límite se aplicará a la dosis promediada sobre cualquier superficie de 1 cm², con independencia de la zona expuesta.

- Para las manos, antebrazos, pies y tobillos el límite de dosis equivalente estará de 500 mSv por año oficial.

- Las mujeres embarazadas deben comunicar su estado, a fin de adoptar medidas que aseguren una exposición de dosis inferiores a 1 mSv hasta el final del embarazo y para el caso de lactancia no se le asignarán actividades que supongan un riesgo significativo de contaminación radiactiva.

- En cuanto a personas en formación y estudiantes con edades comprendidas entre dieciséis y dieciocho años que para estudios necesiten usar fuentes radiactivas, el límite de dosis efectiva será de 6 mSv por año oficial. Por su parte la dosis equivalente para el cristalino corresponderá a 50 mSv, para la piel 150 mSv y para manos, antebrazos, pies y tobillos 150 mSv por año oficial.

- El límite de dosis efectiva para los miembros del público será de 1 mSv por año oficial. Para el caso de dosis equivalente para el cristalino será de 15 mSv y para la piel 50 mSv por año oficial.

8.1.2. Clasificación y delimitación de zonas

Dentro de las medidas preventivas recomendadas, se encuentra la clasificación de los lugares de trabajo, considerando las dosis anuales previstas y el riesgo de una contaminación o exposición potencial. Menéndez y García (2013) hacen referencia descrita de cinco zonas de clasificación a tal efecto, presentadas seguidamente:

Zona vigilada. Esta zona se identifica por un trébol gris/azulado sobre fondo blanco, en la cual existe la posibilidad de recibir dosis efectivas superiores a 1 mSv/año oficial o una dosis equivalente superior a 1/10 de los límites de dosis equivalente para cristalino, piel y extremidades.



Figura 4. Señalización de zona vigilada.

Fuente: Menéndez y García, 2013.



Figura 5. Señalización de zona controlada.

Fuente: Menéndez y García, 2013.

Zona controlada. Aquella en la que existe la posibilidad de recibir dosis efectivas superiores a 6 mSv/año oficial o una dosis equivalente superior a 3/10 de los límites de dosis equivalentes para cristalino, piel y extremidades. Se distingue con un trébol verde sobre fondo blanco.

Zona de permanencia limitada. Es señalizada con un trébol amarillo sobre fondo blanco y en ella existe el riesgo de recibir dosis superior a los límites establecidos en cortos periodos de tiempo.



Figura 6. Señalización de zona de permanencia limitada.

Fuente: Menéndez y García, 2013.



Figura 7. Señalización de zona de permanencia reglamentada.

Fuente: Menéndez y García, 2013.

Zona de permanencia reglamentada: Es aquella en la que existe el riesgo de recibir dosis superiores a los límites de dosis fijados en cortos periodos y que necesita de prescripciones especiales desde el punto de vista de la optimización. Se señalará con un trébol color naranja sobre fondo blanco.

Zona de acceso prohibido. Zona donde en una exposición única hay riesgo de recibir superiores a los límites fijados anualmente, se representa con un trébol rojo sobre fondo blanco.



Figura 8. Señalización de zona de acceso prohibido.

Fuente: Menéndez y García, 2013.

8.1.3. Clasificación de los trabajadores expuestos

Para Casal y San Matías (2011) los trabajadores expuestos son aquellas personas que por su función laboral están sujetas a un alto riesgo debido a la exposición a radiaciones ionizantes desde fuentes radiactivas, en dosis elevadas peligrosas para el ser humano. Menéndez y García (2013) detallan las dosis elevadas a un nivel superior a 1 mSv por año oficial. Los trabajadores expuestos responden a la siguiente categorización:

- **Categoría A:** cuando el individuo por la naturaleza de las radiaciones puede recibir dosis superiores a 6 mSv por año oficial o una dosis equivalente superior a 3/10 de los límites de dosis equivalente para el cristalino, la piel y las extremidades.
- **Categoría B:** personas que muy improbablemente reciban dosis superiores a 6 mSv por año oficial o 3/10 de los límites de dosis equivalente para el cristalino, la piel y las extremidades, por las circunstancias en las que efectúan su trabajo.

Según la incidencia de los riesgos radiológicos en la salud de los trabajadores expuestos, es necesario establecer un conjunto de medidas para verificar que tanto las dosis recibidas como los niveles de riesgo se encuentren dentro de los requerimientos internacionales o nacionales establecidos, siendo la técnica más empleada para este fin la dosimetría de área o vigilancia radiológica ambiental y la dosimetría o vigilancia radiológica personal. Dicha vigilancia debe comprender según lo establecido en el Real Decreto 783/2001, Ministerio de la Presidencia (2001), en su artículo 26:

- a) Medición de las tasas de dosis externas, especificando la naturaleza y calidad de las radiaciones.
- b) Medición de las concentraciones de actividad en el aire y la contaminación superficial, detallando la naturaleza de las sustancias radiactivas contaminantes y sus estados físico y químico.

A través de la vigilancia radiológica ambiental se puede medir la dosis de los trabajadores a partir de las dosis medidas en los puestos de trabajo y en las dependencias radiológicas o radiactivas (Consejo de Seguridad Nuclear, 2012.), La vigilancia en las áreas de trabajo puede ser:

- **Vigilancia de rutina:** con la finalidad de verificar de forma mediante procedimientos establecidos si las actividades del puesto de trabajo se están ejecutando apropiadamente.
- **Vigilancia operacional:** realizada para determinado trabajo con el fin de estimar los riesgos asociados al procedimiento a evaluar.
- **Vigilancia especial:** sobre la presunción de una situación no común se recurre a este tipo de vigilancia para tomar acciones sobre las medidas a seguir.

El Consejo de seguridad nuclear (2012) ha determinado que los trabajadores expuestos en zonas controladas o pertenezcan a la categoría A, deben ser objeto de una vigilancia dosimétrica individual. En el caso de los trabajadores de categoría B puede emplearse vigilancia dosimétrica de área. En España todo lo concerniente a actividades con materiales radiactivos debe regirse por lo establecido en el Real Decreto 783/2001, Ministerio de la Presidencia (2001), entre lo que vale la pena destacar sobre los trabajadores, que:

- Los operadores que estarán destinados al empleo de los equipos e gammagrafía deben disponer de licencia y/o acreditación como operadores de instalaciones radiactivas.
- La organización que incorpore personal en categoría A deberá someterlo a un examen de salud previo, a fin de chequear medicamente su aptitud para el trabajo.
- Al personal expuesto deberán hacerse exámenes de salud y revisiones médicas periódicas para verificar si se encuentra apto para el cumplimiento de sus responsabilidades.
- Al efectuarse el reconocimiento médico del trabajador expuesto por parte de servicios de prevención de riesgos laborales encargados de la vigilancia de los trabajadores o servicios médicos autorizados, debe ser registrado en conjunto con el historial dosimétrico.

8.1.4. Consideraciones preventivas en aplicaciones de gammagrafía industrial.

Las medidas preventivas están directamente asociadas con los riesgos generales ligados a las condiciones de seguridad en el medio ambiente laboral en búsqueda de minimizar la ocurrencia de eventos lesivos para la salud del trabajador por efecto de las radiaciones ionizantes procedentes de fuentes radiactivas. El Consejo de Seguridad Nuclear (2020), Ermacora (2005) y Piera (s. f.) sugieren considerar en relación con este tema, los siguientes aspectos:

- Al adquirir un equipo de gammagrafía industrial hay que indagar si el mismo ha sido diseñado y fabricado en condiciones de funcionamiento seguro para la salud de los trabajadores expuestos.
- Ejecutar mantenimiento rutinario en el equipo para que éste puede trabajar en condiciones operativas seguras.
- Operar el equipo siguiendo las instrucciones de operatividad.
- Disponer de un monitor de radiación a fin de localizar la fuente, si la misma se encuentra fuera de su blindaje.
- Los equipos de gammagrafía deben cumplir con las especificaciones establecidas en la norma ISO- 3999:2004 sobre la exigencia de un sistema de bloqueo automático que indique que la fuente se encuentra en su posición blindada, quedando solo desbloqueada por acción voluntaria de operador.
- Para efectuar el transporte de contenedores con material radiactivo, conocidos como bultos, debe etiquetarse de acuerdo con el tipo de fuente radiactiva y la dosis que producen. En caso de robo o pérdida se debe alertar a todo el personal de la organización, y si el caso es fuera de las instalaciones advertir a la población y apoyarse en organismos públicos.
- Inducir cursos teórico-prácticos basados en procedimientos de planificación y operatividad del equipo radiactivo con la finalidad de que el trabajador expuesto a radiación tenga un grado eficiente de entrenamiento y capacidad de reacción coherente y responsable ante una situación de emergencia.
- Hacer una adecuada selección del blindaje del material radiactivo, con densidad lo más elevada posible y cuyo espesor deberá calcularse en función de la fuente radiactiva.

8.1.5. Deberes del personal expuesto a la radiación en instalaciones radiactivas

- Cumplir las políticas de protección y seguridad radiológica aplicables al ejercicio de sus funciones.
- Hacer uso adecuado de los equipos de protección, así como de los dispositivos de vigilancia radiológica individual que se le suministren.
- Ofrecer al responsable de la operación y funcionamiento la información de sus actividades laborales pasadas y actuales, que puedan incidir a mejorar la protección y seguridad radiológica.
- Mostrar disposición en recibir y admitir instrucciones y capacitación relacionadas con la protección y seguridad radiológica
- Comunicar de forma oportuna al titular o al responsable de la operación y funcionamiento la presencia de circunstancias que pudieran conllevar a situaciones peligrosas.

8.1.6. La actuación de operadores en situación de emergencia al emplear dispositivos de gammagrafía industrial.

La emergencia se caracteriza por ser un suceso inesperado en el que existe un riesgo real o potencial de exposición a radiaciones ionizantes, por lo que en situaciones de emergencia el operador debería limitarse a mantenerse en un área de acceso restringido y notificar el incidente al jefe inmediato, según protocolos del Consejo Superior Nuclear (2020), pero debe estar en capacidad de ayudar a resolver la situación a partir de la aplicación de principios básicos, como:

- Reconocimiento de la emergencia radiactiva a través del manejo correcto del radiómetro o monitor de radiación, estableciendo los valores de la tasa de exposición que existe en los puntos clave de la instalación.
- Alejarse de la fuente expuesta hasta una distancia en la que la tasa de exposición sea del orden de 2,5 mR/h.

- En la situación de emergencia apoyarse en todo tipo de recursos disponibles: hombres, máquinas, equipo y blindajes.

La empresa internacional de inspección, certificación y ensayos Applus (2020) recomienda en su plan de emergencia registrar los datos de la persona irradiada y/o contaminada en la mayor brevedad posible con objeto de facilitar la actuación de los Servicios Médicos, levantando toda la información del hecho presentado (fecha y hora, localización exacta, tipo de radiación, posición y distancia de la fuente de radiación, equipos de protección utilizados, dosimetría existente, historial dosimétrico y primeros resultados de la estimación médica). Solventada la situación de emergencia se debe evaluar la dosis radiactiva recibida en cada uno de los afectados, realizar exámenes clínicos y revisar en profundidad el procedimiento seguido durante la asistencia y evacuación. Finalmente notificar a los organismos competentes. Adicionalmente y en forma complementaria desde el Gobierno Vasco (2015) se proponen como medidas de apoyo para resolver situaciones de emergencia radiactiva:

- La primera persona disponible con sus respectivos equipos de seguridad debe realizar la monitorización radiológica mediante el empleo de un detector de radiación gamma.
- Tomar muestras y evaluación en el laboratorio con el objetivo de determinar el nivel de radiación debido a las concentraciones de radionucleidos presentes.
- Medir y evaluar la presencia de contaminación en equipos, vehículos, herramientas y demás instrumentos que se encuentran en el área del suceso.
- Con el empleo de detectores de radiación evaluar la posible presencia de material radiactivo en personas del público.
- Determinar la dosis a la que fue expuesta la persona lesionada por verificación de las lecturas en el dosímetro o por la estimación de tiempos.

8.2. Medidas y protocolos de prevención y seguridad para el público en general

Está claramente establecido en el artículo 1 del Real Decreto 783/2001, Ministerio de la Presidencia (2001), el objetivo en materia de utilización de radiaciones ionizantes en España, proporcionar las normativas de prevención contra los riesgos por exposición a radiaciones

ionizantes tanto para los trabajadores como para los miembros del público. El artículo 13 establece en detalle que:

1. El límite de dosis efectiva para los miembros del público será de 1 mSv por año oficial. No obstante, en circunstancias especiales, el Consejo de Seguridad Nuclear podrá autorizar un valor de dosis efectiva más elevado en un único año oficial, siempre que el promedio durante cinco años oficiales consecutivos no sobrepase 1 mSv por año oficial.
2. Sin perjuicio de lo dispuesto en el apartado 1:
 - a) El límite de dosis equivalente para el cristalino será de 15 mSv por año oficial.
 - b) El límite de dosis equivalente para la piel será de 50 mSv por año oficial. Dicho límite se aplicará a la dosis promediada sobre cualquier superficie cutánea de 1 cm², con independencia de la superficie expuesta.

El Consejo de Seguridad Nuclear (2012) tiene establecido que toda organización con aplicaciones de radiactividad es responsable de la evaluación de las dosis que pudiesen recibir el público en régimen de funcionamiento normal y en caso de accidente a través de métodos de estimación realista con repeticiones periódicas. A tales efectos también es responsabilidad de las instalaciones radiactivas:

- Adiestrar a los miembros del público sobre radiactividad, riesgos asociados a la exposición radiactiva, normativas de prevención y acciones en caso de emergencia.
- Disponer de blindajes y sistemas de contención que contribuyan a que el público no sea vea afectado por exposición externa o interna, al recibir dosis por encima del límite establecido.
- Clasificar las zonas mediante señalizaciones que alerten al público del riesgo latente.
- Cumplir con los requisitos de protección radiológica.

Los miembros del público, entendiéndose como público el personal no expuesto de forma directa a las radiaciones, tiene la responsabilidad de cooperar en este sentido para que el objetivo sea cumplido, por lo que deben:

- Procesar y recibir de forma consciente la información facilitada y colocarla en práctica.
- Estar presto a todas las recomendaciones y leer la información audiovisual publicada
- Utilizar los equipos de protección personal que le sean asignados.

- Respetar las zonas radiactivas evitando el ingreso innecesario a ellas.
- En caso de necesitar dirigirse a una zona donde exista riesgo radiactivo, seguir todas las normas de seguridad que tenga la institución definida.
- Ante una emergencia mantener la calma y no improvisar ni dejarse llevar por los impulsos. En cualquier caso, avisar a los responsables de protección radiológica.
- Si sospecha la existencia de objetos radiactivos fuera del área donde debe estar ubicada no proceder a resguardarlos, debe notificar a un técnico en el área de radiactividad.
- Contribuir a divulgar las medidas de protección que deben ser tomadas mientras se encuentren en la instalación radiactiva.



9. Seguridad y prevención radiactiva en SteelMed.

Para la utilización de herramientas de radiación ionizante en la empresa SteelMed a través de la aplicación de tecnología de gammagrafía industrial en los procesos de control de calidad en el menor tiempo posible y con seguridad es necesario planificar previamente los pasos que hay que dar en esa dirección. A continuación, se presenta una estrategia desarrollada en ese sentido y las medidas de orden general como principio de seguridad y prevención en el uso de dispositivos de radiación ionizante.

9.1. Estrategia de prevención y seguridad en la empresa SteelMed para incorporar dispositivos radiactivos en sus procesos

La iniciativa de implementación de gammagrafía industrial de forma paulatina en las empresas del Grupo Hiemesa como mecanismos para extremar sus procesos de calidad en una filosofía de mejora continua y ofrecer a sus clientes mayores garantías de la funcionalidad de sus productos, representa un aporte significativo dentro de las políticas del grupo, previendo dar comienzo a estas prácticas en la empresa SteelMed, organización industrial objetivo es el procesamiento y comercialización de productos de acero (chapas, láminas y perfiles) para otras industrias.

La estrategia para el establecimiento de los protocolos iniciales en materia de prevención y seguridad en el uso de herramientas tecnológicas radiactivas, gammagrafía industrial, para completar sus procesos y garantizar la optimización de la calidad de sus productos, parte por reconocer en primer lugar que deben ajustarse de forma estricta a lo establecido en toda la normativa al respecto instituida en España. Las fases de la estrategia se detallan a continuación.

1.- Fase de conocimiento reglamentario: dentro de la organización debe asignarse un responsable quien se capacitará en lo inherente a organismos internacionales y nacionales y reglamentos nacionales vigentes para la consolidación de SteelMed como una instalación radiactiva. Preferiblemente la persona seleccionada debe disponer de conocimientos previos en instalaciones radiactivas, teoría de radiactividad y protección radiológica.

2.- Fase legal: comprende la etapa de obtención de los permisos y acreditaciones necesarias para que la organización cumpliendo las ordenanzas legales vigentes nacionales puede operar bajo la perspectiva de instalación radiactiva.

3.- Fase de inversión: abarca las erogaciones para la adquisición de los dispositivos radiactivos necesarios para el objetivo que se tiene planteado, en este caso el equipo de gammagrafía, considerando para su selección que el mismo cumpla con los parámetros de diseño que ofrezcan mayor seguridad para el operador, así como las inversiones en la infraestructura a construir, área para las pruebas de gammagrafía. De igual forma en este apartado se anexan la procura de herramientas, equipos de protección personal, botiquín de primeros auxilios y la designación de la ubicación del dispositivo.

4.- Fase de capital Humano: en esta fase se requiere del apoyo por parte del departamento de recursos humanos, ya que se enfoca en la selección minuciosa del personal que formará parte del grupo de la empresa en funciones que implique actividad radiactiva, resaltando que dichos trabajadores deberán disponer previamente de estudios especializados, capacitaciones, experiencia y habilidad en manejos de dispositivos radiactivos relacionados con equipos de gammagrafía, y además deben cumplir con los reglamentos que son exigidos a nivel nacional e internacional, tal es el caso de licencia y/o acreditación de operario de instalaciones radiactivas. Es de acotar que en esta fase se debe tener claro el personal que se requiere para la puesta en marcha del área de gammagrafía industrial a fin de promover el reclutamiento del mismo.

5.- Fase de preparación de procedimientos, instrucciones técnicas, medidas preventivas y políticas de protección radiológica: comprende la elaboración de los procedimientos de operatividad de los equipos, políticas de prevención, asignación de zonas dependiendo la dosis a la cual se expondrá el trabajador, identificación de los trabajadores, planes de emergencia, recomendaciones preventivas basadas en protección radiológica, inducciones al puesto de trabajo y manuales de cargo. En esta fase se necesitará de personal especializado que contribuya al logro de este objetivo vital en la prevención de accidentes e incidentes.

4.- Fase de Inducción: una vez que el personal se encuentre seleccionado y contratado, se debe proceder de forma inmediata a la inducción del personal sobre las normativas de la organización, las políticas de seguridad y salud laboral, la descripción de cargos con sus funciones y responsabilidades, las normativas de prevención en áreas radiactivas y las pautas a considerar en caso de emergencia.

5.- Fase de capacitación: aunque el personal contratado sea especializado en el área de radiactividad e inclusive disponga de una trayectoria en labores de manejo de dispositivos radiactivos, es indispensable, antes de incorporarse a sus funciones, un adiestramiento orientado en gammagrafía industrial, riesgos asociados al empleo de radiaciones ionizantes, efectos biológicos y medidas de prevención. De igual forma todos los miembros de SteelMed deben ser capacitados en lo que se refiere a una instalación radiactiva, los beneficios y consecuencias que puede ocasionar no cumplir con las políticas de seguridad implementada. En España la Sociedad Española de Protección Radiológica (SEPR) y el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) están prestos para informar, capacitar y brindar asistencia en lo relacionado a instalaciones radiactivas.

6.- Preparación del área de trabajo radiactivo: el espacio donde se llevarán a cabo las pruebas con uso de gammagrafía debe estar aislado de los miembros del público, trabajadores no expuestos de forma directa, y debidamente señalizado. De igual forma es una zona que debe contar en su construcción con los blindajes correspondientes, así como estar habilitada con equipos de seguridad radiológica, líquidos desinfectantes apropiados, herramientas, insumo requeridos, materiales para el registro de actividades del operador, procedimientos, manuales de cargos, instrucciones técnicas de operatividad, planes de contingencia, políticas de seguridad radiológica y cualquier elemento que se considere necesaria en este tipo de actividad.

7.- Puesta en marcha: una vez cumplido los puntos anteriores se puede concluir que la empresa SteelMed está apta para comenzar a realizar ensayos no destructivos de sus productos mediante la técnica de gammagrafía industrial, siguiendo procedimientos y normas previamente establecidas que ayude a evitar o, en su defecto, minimizar los incidentes o accidentes laborales radiactivos.

8.- Programas de capacitación y de vigilancia radiológica: una vez puesta en funcionamiento la unidad de ensayos no destructivos con gammagrafía, es sumamente importante instaurar en las políticas de la empresa programas periódicos de capacitación en la materia, tanto para el personal expuesto como para los miembros del público, a través de cursos, talleres o seminarios, no solo en el tema de la radiactividad sino en otras áreas de la seguridad laboral. También es necesario, y de acuerdo con las normativas en la materia, realizar actividades de seguimiento y control de la exposición de los trabajadores, expuestos y en general, y su estado de salud, para detectar cualquier daño que pueda causar enfermedades ocupacionales, y en caso de ser así tomar las previsiones necesarias a tiempo.

Se prevé que con el cubrimiento de las fases antes detalladas para la incorporación de la tecnología de gammagrafía en SteelMed, miembro del grupo empresarial metalmecánico Hiemesa, se lograrán los objetivos propuestos de forma satisfactoria en un tiempo relativamente breve, con la seguridad de proteger y preservar la salud y el bienestar de sus trabajadores como columna vertebral de la organización.

9.2. Modelo del diseño de un puesto de trabajo para ensayos no destructivos con gammagrafía

I Empresa: SteelMed

II Área: Departamento de control de calidad.

III Cargo: operador responsable del dispositivo de gammagrafía industrial.

IV Descripción general: Personal con licencia de operador con experiencia y conocimientos en el manejo de dispositivos de gammagrafía industrial, responsable de ejecutar los trabajos en campo y/o en laboratorio siguiendo las directrices de los supervisores en temas de protección radiológica. Su responsabilidad abarca hasta la detención, sin previa autorización, en cualquier momento del funcionamiento del dispositivo radiactivo, si detecta peligro o reducción en las condiciones de seguridad.

V Nivel del cargo: operativo.

VI Reporta a: supervisor de la instalación radiactiva.

VII Supervisa a: ayudante de la instalación radiactiva.

VIII Función principal: Aplicar la técnica de ensayos no destructivos, mediante la operación de los equipos de gammagrafía, controlando y ajustando los parámetros necesarios para suministrar imágenes radiográficas de la pieza a inspeccionar, con el objetivo de verificar los parámetros de calidad esperados, relacionados con densidades, espesores, fallas de fisuras metálicas y de soldadura en el caso de los perfiles, a fin de identificar si existe algún daño interno o si la pieza se encuentra apta para el uso que fue diseñada, cumpliendo con las normativas de protección radiológica establecidas.

IX Responsabilidades:

- Custodia y transporte de los equipos radiactivos.
- Operación de los dispositivos de control de la instalación, los materiales y los equipos radiactivos.
 - Uso correcto de todos los medios de seguridad establecidos según la normativa vigente: instrumentos de medida adecuados y equipos de seguridad personal.
 - Información a su supervisor de las anomalías en el funcionamiento de la instalación y/o de los equipos.
 - Cumplimiento de los procedimientos de trabajo establecidos, tanto para situaciones normales, como en caso de accidente o emergencia.
 - Registro de las anotaciones correspondientes en los Diarios de Operación de los equipos.
 - Activación de protocolos de emergencia radiactiva de detectarse peligro o reducción de las condiciones de seguridad en la operación de los equipos radiactivos.
 - Control diario de las lecturas iniciales y finales de dosimetría.

X Habilidades y destrezas: capacidad de trabajo en equipo y bajo presión, percepción del riesgo radiológico, responsable, proactivo, conocimiento técnico, disciplinado y dinámico.

XI Riesgos a los que se encuentra expuesto:

- **Riesgo físico:** asociados a la exposición por radiaciones ionizantes, que dependiendo de la dosis de exposición puede ocasionar cataratas en el cristalino, esterilidad en ambos sexos, eritemas y quemaduras por radiación, enfermedad por irradiación aguda provocando los síndromes hematopoyéticos, el gastrointestinal o el cerebrovascular.
- **Riesgos químicos:** sustancias que al hacer en contacto con el cuerpo pueden ocasionar quemaduras, intoxicación o lesiones sistémicas, dependiendo del nivel de concentración de la sustancia.
- **Riesgo musculo esquelético:** principalmente por sobreesfuerzos.

- **Riesgos psicosociales:** estados variables de tensión emocional que afectan la concentración por cansancio, enfermedad, preocupación, prisa o atención a otras cosas ajenas al propio trabajo.

- **Riesgos mecánicos:** caídas por distinto nivel, pisadas sobre objetos y caídas de objetos desprendidos y superficies resbaladizas.

XII Medidas de seguridad:

- No sobrepasar la exposición de los límites de dosis recogidos en el Reglamento de Radiaciones Ionizantes

- Chequear que la fuente se encuentre en el portafuente ubicado correctamente.
- Evaluar el dispositivo de gammagrafía antes de comenzar a operarlo.
- Utilizar los equipos de seguridad asignados.
- Utilizar el dosímetro asignado.
- El Operador deberá permanecer a la mayor distancia que le permita el uso del equipo.
- No comer, beber ni fumar en los puestos de trabajo
- Evitar mantener posturas forzadas en forma prolongada, por lo que se recomienda cambios frecuentes de postura y paradas de 10 minutos cada dos horas.
- Tomar precauciones en cuanto a que los accesos y plataformas se encuentren libres de grasas o aceites.
- Mantener el área de trabajo limpia, sin manchas ni restos de productos esparcidos por el suelo.

XIII Equipos de seguridad: delantal plomado, botas de seguridad, lentes de seguridad, casco, guantes de protección mecánica, mascarillas auto filtrante, protección auditiva, arnés anti caída y elementos de amarre, ropa de trabajo con elementos reflectantes, ropa de protección contra frío y mal tiempo.

9.3. Medidas y protocolos de prevención laboral radiactiva en SteelMed

Las medidas de seguridad y protección a adoptar en el uso de la tecnología de ensayos no destructivos, gammagrafía industrial, se establecerán en dos órdenes: una de procesos administrativos y la otra de procesos operativos. En detalle:

a) Procesos administrativos.

- Los procesos establecidos para el uso de equipos de radiación ionizante serán de estricto cumplimiento para todo el personal que trabaje de forma directa con ellos, en todo tiempo y lugar (carga y descarga de equipos de gammagrafía de vehículos, desplazamiento por la ciudad o entre ciudades, instalación y operación, resguardo del equipo).

- Los procedimientos han de ser redactados de forma clara y fácil de entender, recogidos en documentos reconocidos (Manuales, fichas, actas, cartas, etc.), con copias legibles y controladas, y resguardados en lugares al alcance de todo personal interesado en su información.

- Los manuales elaborados deberán ser revisados periódicamente (anualmente como mínimo); cuando se produzcan cambios en instalaciones, equipos o procedimientos; o por requerimientos de la Comisión Superior Nuclear, CSN.

- Ha de mantenerse un libro foliado en el cual han de registrarse los datos relacionados con los procesos administrativos (número manuales, equipo y operador, control dosimétrico personal y de área, cambios de fuentes radiactivas, etc.).

- Establecimiento de una estructura organizacional en la empresa para el manejo de todo lo relacionado con las herramientas y procesos radiactivos, con cargos y funciones.

b) Procesos operacionales.

Las medidas mínimas de seguridad y prevención operacionales en el manejo de ensayos no destructivos en la empresa SteelMed, serán detalladas tomando en consideración 3 aspectos: instalaciones, equipos y personal.

b.1. Instalaciones.

- Las instalaciones, el espacio habilitado, para el uso de gammágrafos deben estar lo más separadas posible de las otras áreas de la empresa, a excepción del área de producción, pues desde ésta han de acarrear las muestras para hacer los ensayos de gammagrafía.

- Debe ser un espacio acondicionado herméticamente para brindar las mayores condiciones de seguridad posibles, tanto para el personal expuesto como para el público en general.

- Debe ser un espacio diseñado con áreas para el uso de los equipos de gammagrafía, así como para su seguro resguardo.

- Debe contar con todas las señalizaciones y advertencias internas y externas al área de los ensayos no destructivos como zona de acceso prohibido, como mecanismo de información para todos los miembros de la comunidad laboral de la empresa, pues es necesario extremar los dispositivos de información como medida de seguridad y prevención cuando se trata de usos radiactivos.

- Señalizaciones de balizamiento para acotar y señalar zonas afectadas para el personal expuesto.

- Colocar obstáculos de instalación como medios de protección para el personal expuesto y para el público en general.

b.2. Equipos.

- Los equipos de gammagrafía serán de contenedores blindados de conducto recto con sistemas de enclavamiento para garantizar siempre la posición segura de la fuente radiactiva encapsulada.

- Antes de su instalación y uso deben ser revisados exhaustivamente para verificar las óptimas prestaciones de funcionamiento y de los sistemas de seguridad.

- Los equipos de gammagrafía deben cumplir con la norma ISO 3999:2000.

- Los equipos de gammagrafía que pueden ofrecer las mejores prestaciones en la evaluación de los productos de la empresa, láminas de acero de hasta 200 mm de espesor, son los equipos con radionucleido de Co 60 con constante gamma ($R.m^2/h.Ci$) de 1,3.

- Los equipos deben ser resguardados mientras no se usen en un espacio de almacenamiento fijo o permanente debidamente acondicionado en el área para ensayos no destructivos.
- Los equipos deben contar con control remoto para su manejo, para evitar que el operador reciba altas dosis de radiación durante los periodos de ensayo.
- Antes de los ensayos es necesario recoger y comprobar los equipos de protección radiológica (placa dosimétrica, dosímetro, radiómetro y colimador) y comprobar siempre el estado de los equipos de radiación.
- Para el transporte de equipos de gammagrafía deben comprobarse previamente el estado del vehículo y la documentación, equipamiento del vehículo (triángulos, extintores, material de emergencia) y equipamiento y documentación del conductor (chaleco, linterna, pilas, equipos de primeros auxilios y PRL, carné clase 7, carta de porte, instrucciones de emergencia).
- En el transporte de equipos radiactivos, estos deben colocarse lo más lejos posible de los ocupantes y la carga debe supervisarse durante las paradas.
- Durante los ensayos verificar los niveles de radiación alrededor del gammógrafo y verificar la inexistencia de público en las zonas cercanas a la del ensayo.
- Durante el ensayo el operador debe colocarse en zona segura.
- Después de los ensayos recoger el equipo bajo estrictas medidas de seguridad y resguardarlo bajo llave en el sitio habilitado y debidamente identificado para ello.
- El área de almacenamiento de equipos deberá estar alejada de zonas donde se manejen materiales explosivos o químicos que puedan ocasionar incendios o explosiones con posible afectación del local.

b. 3. Personal expuesto y público en general.

- El operador del equipo radiactivo debe ser un profesional especializado con licencia de operador o supervisor de equipos radiactivos.
- El operador debe conocer al detalle y en profundidad el equipo de gammagrafía que maneja, familiarizándose con los manuales de uso.
- El operador antes de cada ensayo debe verificar exhaustivamente las condiciones del equipo.

- Debe estar en conocimiento de los protocolos de la empresa establecidos en manuales sobre prevención y seguridad laboral.
- El operador debe cumplir las políticas de protección y seguridad radiológica aplicables al ejercicio de sus funciones.
- Hacer uso adecuado de los equipos de protección, así como de los dispositivos de vigilancia radiológica individual que se le suministren.
- Ofrecer al responsable de la operación y funcionamiento la información de sus actividades laborales pasadas y actuales, que puedan incidir a mejorar la protección y seguridad radiológica.
- Mostrar disposición en recibir y admitir instrucciones y capacitación relacionadas con la protección y seguridad radiológica
- Comunicar de forma oportuna al titular o al responsable de la operación y funcionamiento la presencia de circunstancias que pudieran conllevar a situaciones peligrosas.
- Debe estar en capacidad de manejar situaciones de riesgo en materia de radiactividad.
- En caso de emergencias utilizar los colimadores como medios de protección técnicos.
- El público en general debe respetar y cumplir las advertencias y señalizaciones en relación con el área establecida para la realización de ensayos no destructivos con gammagrafía.

10. Conclusiones.

El desarrollo y elaboración de este trabajo ha dejado como conclusiones, entre otras cosas, el entendimiento de que las radiaciones están presentes en la vida cotidiana del hombre, bien sea generada en forma natural o producida artificialmente y que hay que saber convivir con ella aprovechando los beneficios que puede proporcionar su utilización, haciendo énfasis en el reconocimiento de los peligros que conlleva tener una exposición sin las adecuadas prevenciones ante ella y tomando medidas en consecuencia.

Por otro lado, la metodología propuesta y desarrollada en este trabajo ha permitido identificar el gran número de aplicaciones industriales de las radiaciones ionizantes con sus incontables beneficios. Sin embargo, es de obligatorio cumplimiento para las organizaciones que apliquen radiaciones en sus procesos o que tengan alguna relación con procesos radiactivos, lo establecido en las leyes y normativas promulgadas y establecidas sobre el tema.

La protección radiológica juega un papel indispensable en las organizaciones que tengan alguna relación, por mínima que sea, con radiactividad, puesto que la naturaleza de las radiaciones ionizantes conlleva un conjunto de riesgos que pueden concluir en daños transitorios o permanentes, incluso mortales, para la salud de las personas. De allí la pertinencia en el cumplimiento de las medidas de seguridad y preventivas emanadas de las recomendaciones de organismos cuya experiencia y actuaciones, nacional e internacionalmente, avalan sus posiciones en relación con tan importante tema.

La gammagrafía, dentro de las aplicaciones industriales de la radiactividad, es reconocida, con datos, como una de las técnicas con mayor índice de accidentes registrados por diversas causas en su aplicación, entre los cuales las fallas de equipos y los errores humanos son de los factores prominentes al momento de ocurrencia de incidentes que tienen como base la aplicación de estas herramientas. Es fundamental la capacitación e información, tanto para el personal que labora en contacto directo con radiaciones ionizantes como de la gente común que eventualmente puede acercarse a estas tecnologías la

organización, a través de la incorporación de capacitaciones, técnicas y herramientas en aras de minimizar los factores de riesgo.

Las organizaciones que en sus procesos contemplan el uso o aplicación de herramientas radiactivas tienen la primera responsabilidad en el cumplimiento de toda la normativa y leyes establecidas, en función de garantizar posibilidades mínimas de ocurrencia de daños, estableciendo controles firmes de procesos operativos a través del diseño y establecimiento de manuales y toda la documentación necesaria que debe estar al alcance de los trabajadores y miembros de esa comunidad empresarial. Además, es necesario mantener una vinculación permanente con los organismos del Estado, para compartir experiencias e información y mantener un flujo dinámico de saberes que permita dar respuesta siempre oportuna y eficiente en caso de ocurrencia de eventos no deseados en materia de radiactividad.



11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez, J. (2010). *Contribución del LSCD a la metrología de la dosimetría de radiaciones ionizantes en México*. Ciudad de México: Departamento de Metrología de Radiaciones Ionizantes.
- Amaro, J. (2006). *Fuentes de radiación* [En línea]. Obtenido de: <https://www.ugr.es/~amaro/radiactividad/tema7/node9.html>
- Arias, C. (s. f.). *Radiaciones ionizantes en el contexto de la seguridad e higiene en el trabajo* [En línea]. Obtenido de: http://www.fi.uba.ar/archivos/posgrados_apuntes_RadiacionesIonizantes.pdf
- Armijo, M. (2016). *Manual de protección radiológica operacional para empresa Catox Ltda. Ingeniería e inspección marítima e industrial de acuerdo a los requerimientos de la Comisión Chilena de Energía Nuclear (CCHEN)*. Tesis de Grado. Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso, Chile.
- Bushberg, J., (2020). Lesiones causadas por la radiación [En línea]. Obtenido de: <https://www.merckmanuals.com/es-us/hogar/traumatismos-y-envenenamientos/lesiones-causadas-por-la-radiaci%C3%B3n/lesiones-causadas-por-la-radiaci%C3%B3n>
- Camacho, R. (2010). *Simbología ANSI y ASME* [En línea]. Obtenido de: <https://es.slideshare.net/racamachop/simbologa-ansi-y-asme>
- Casal, E. y San Matías, A., (2011). *Manual de Protección Radiológica*. Valencia: Universitat de València.
- Cascón, A. (12 a 17 de abril, 2015). *Exámenes periódicos para personal expuesto a radiaciones ionizantes en Argentina*. Trabajo presentado en el X Congreso Regional Latinoamericano IRPA de protección y seguridad radiológica “Radioprotección: nuevos desafíos para un mundo en evolución”. Buenos Aires, Argentina.
- Cátedra Enresa. (2015). *Aprovechamiento de la radiactividad* [En línea]. Obtenido de: <http://www.catedraenresauco.com/aprovechamiento-de-la-radiactividad/>
- Chaverri, O. y Conejo, M. (2017). Radiografía Industrial: comparación entre el método tradicional y digital empleando rayos X. *Tecnología en Marcha*. Vol. 30, núm. 3pp. 119-128.
- Collado, S. (2008). Prevención de riesgos laborales: principios y marco normativo. *Revista de Dirección y Administración de Empresas*. Número 15. Diciembre. pp. 91-117.

Comunitat Valenciana. (10 de diciembre de 2010). *Ley 13/2010, de 23 de noviembre, de Protección Civil y Gestión de Emergencias*. Madrid: Boletín del Estado, BOE, núm. 300. Ref.: BOE-A-2010-19046.

Consejo de Seguridad Nuclear. (2009). *Legislación española aplicable a instalaciones De radiodiagnóstico* [En línea]. Obtenido de:

http://csn.ciemat.es/MDCSN/recursos/ficheros_md/1284051052_2411200913340.pdf

Consejo de Seguridad Nuclear. (2010). *Instrucciones IS-28, sobre las especificaciones de funcionamiento de instalaciones radiactivas*. Madrid: Consejo de Seguridad Nuclear.

Consejo de Seguridad Nuclear. (2012). *La protección radiológica de la industria, la agricultura, la docencia o la investigación / CSN*. Madrid: Consejo de Seguridad Nuclear.

Consejo de seguridad nuclear. (2015). *Guía de seguridad 5-14 (Rev. 1). Seguridad y protección radiológica de las instalaciones radiactivas de gammagrafía industrial*. Madrid: Consejo de Seguridad Nuclear

Consejo de Seguridad Nuclear. (2020). *CSN* [En línea]. Obtenido de: <https://www.csn.es/csn/transparencia>

Consejo de Seguridad Nuclear. (2020). *Energía nuclear en España* [En línea]. Obtenido de: <https://www.csn.es/en/la-energia-nuclear-en-espana>

Consejo de Seguridad Nuclear. (2020). *Industrial facilities* [En línea]. Obtenido de: <https://www.csn.es/en/instalaciones-industriales1>.

Consejería de Hacienda y Administración Pública. (s. f.) *Anexo: protección frente a radiaciones ionizantes*. [En línea]. Obtenido de:

<https://www.carm.es/web/servlet/integra.servlets.Blob?ARCHIVO=Rad%20ionizantes%20actualizado.pdf&TABLA=ARCHIVOS&CAMPOCLAVE=IDARCHIVO&CAMPOIMAGEN=ARCHIVO&IDTIPO=60&VALORCLAVE=119573>

Cueva, R. (2008). *Vigilancia médica en trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes*. Trabajo Final de Grado. Universidad de Huelva, Huelva, España,

Delgado R., Otto. Fernández F., Olaya. Leyton L., Fernando. Rodríguez C., Ana y Tagle S., Sofía. (s. f.). *Protección radiológica y de buenas prácticas en radiología dento-maxilo-facial*. Gobierno de Chile. Ministerio de la salud.

Ermacora, M. (2005). *Experiencia regulatoria argentina en gammagrafía industrial en materia de radio protección* [En línea]. Obtenido de:

https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/38/088/38088427.pdf

- Fernández, P. (19 de marzo de 1989). ¿Qué fue de la Junta de Energía Nuclear? [En línea].
El País. Obtenido de:
https://elpais.com/diario/1989/03/20/espana/606351616_850215.html
- Foro Iberoamericano de Organismos Reguladores Radiológicos y Nucleares, FORO. (2016).
Aplicación del método de la matriz de riesgo en radiografía industrial. Volumen 1: texto principal. Buenos Aires: FORO.
- Gobierno Vasco. (2015). *Plan especial de emergencia ante el riesgo radiológico de la Comunidad Autónoma de Euskadi*. Vitoria: Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco.
- González, G. y Rabin, G. (2011). *Para entender las radiaciones*. Montevideo: Oficina 6.
- Hernández, A. y Pernalette, M. (2017). Leucemia ocupacional: importancia de la prevención.
Forum Comunitario. Vol. 15, núm. 1. Ene-Jul. pp. 86-90.
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2010). *Metodología de la Investigación*. México: Mc Graw-Hill Interamericana.
<https://www.applus.com/global/es/>
- International, Standard Organization, ISO. (2004). *ISO 3999: 2004. Protección radiológica. Aparatos para radiografía gamma industrial. Especificaciones de rendimiento, diseño y pruebas*. Ginebra: ISO.
- Jefatura del Estado. (4 de mayo de 1964). Ley 25/1964 sobre Energía Nuclear. Madrid: Boletín del Estado, BOE, núm. 107. Ref: BOE-A-1964-7544
- Jefatura del Estado. (22 de abril de 1980). *Ley 15/1980 de creación del Consejo de Seguridad Nuclear*. Madrid: Boletín del Estado, BOE, núm. 100. Ref. A-1980-8650.
- Jefatura del Estado. (14 de abril de 1986). *Ley 13/1986 de fomento y coordinación general de la investigación científica y técnica*. Madrid: Boletín del Estado, BOE, núm. 93. Ref. A-1986-5479.
- Jefatura del Estado. (10 de noviembre de 1995). *Ley 31/1995 de prevención de riesgos laborales*. Madrid: Boletín del Estado, BOE, núm. 269. Ref. A-1995-24292.
- Jefatura del Estado. (12 de diciembre de 1995). *Ley 54/2003 de reforma del marco normativo de la prevención de riesgos laborales*. Madrid: Boletín del Estado, BOE, núm. 298. Ref. A-2003-22861.
- Junta de Andalucía. (s. f.). *La física del siglo XX* [En línea]. Obtenido de:
http://www.juntadeandalucia.es/averroes/centrostatic/41008970/helvia/sitio/upload/la_radiactividad.pdf

- Junta de castilla y león. (2003). *Protocolos de vigilancia sanitaria específica. Radiaciones ionizantes*. Consejería de Sanidad. Depósito Legal: VA-381/04
- López, B. y Iturbe, J. (2004). Radiactividad natural y artificial en nuestro entorno. *Ciencia*. Abril-junio. pp. 6-16.
- Mager, J. (1998). *Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo, Volumen II*. Madrid: Ministerio de Trabajo y Seguridad Social.
- Martínez, N. (2016). *Prevención de riesgos laborales en el sector de la sanidad*. (Tesis Final de Grado). Universidad de Jaén, Jaén, España.
- Mantero, J. (2013). *Avances en espectrometría alfa y gamma para su aplicación en la evaluación del impacto radiactivo de una industria NORM*. (Tesis Final de Grado). Universidad de Sevilla, Sevilla, España.
- Menéndez, S. y García, A. (2013). *Procedimientos de protección radiológica para la manipulación de fuentes no encapsuladas utilizadas en la instalación radiactiva central (IRC) de la facultad de medicina de la Universidad Complutense de Madrid (UCM)*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- Menéndez, A. y Sánchez, L. (2013). La protección radiológica en la industria nuclear española durante el franquismo, 1939-1975. *História, Ciências, Saúde*. V. 20, n. 3. Ju.-set. pp. 797-812.
- Ministerio de Industria y Energía. (22 de agosto de 1984). *Real Decreto 1522/1984 por el que se autoriza la constitución de la «Empresa Nacional de Residuos Radiactivos, S. A.» (ENRESA)*. Madrid: Boletín del Estado, BOE, núm. 201. Ref. BOE-A-1984-18431.
- Ministerio del Interior. (20 de noviembre de 2010). *Real Decreto 1564/2010, de 19 de noviembre, por el que se aprueba la directriz básica de planificación de protección civil ante el riesgo radiológico*. Madrid: Boletín del Estado, BOE, núm. 281. Ref.: BOE-A-2010-17808.
- Ministerio de Industria y Energía. (3 de diciembre de 1999). *Real Decreto 1836/1999 por el que se aprueba el Reglamento sobre instalaciones nucleares y radiactivas*. Madrid: Boletín del Estado, BOE, núm. 313. Ref. A-1999-24924.
- Ministerio de la Presidencia. (26 de julio de 2001). *Real Decreto 783/2001, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes*. Madrid: Boletín del Estado, BOE, núm. 178. Ref. A-2001-14555.
- Ministerio de la Presidencia. (18 de julio de 2009). *Real Decreto 1085/2009, de 3 de julio, por el que se aprueba el Reglamento sobre instalación y utilización de aparatos de rayos*

- X con fines de diagnóstico médico. Madrid: Boletín del Estado, BOE, núm. 173. Ref. A-2009-17932.
- Ministerio de la Presidencia. (18 de noviembre de 2010). *Real Decreto 1439/2010, de 5 de noviembre, por el que se modifica el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes, aprobado por Real Decreto 783/2001, de 6 de julio*. Madrid: Boletín del Estado, BOE, núm. 279. Ref. A-2010-17709.
- Ministerio de la Presidencia. (22 de noviembre de 2010). *Real Decreto 1440/2010, de 5 de noviembre, por el que se aprueba el Estatuto del Consejo de Seguridad Nuclear*. Madrid: Boletín del Estado, BOE, núm. 282. Ref. A-2010-17861.
- Ministerio de la Presidencia. (7 de octubre de 2011). *Real Decreto 1308/2011, de 26 de septiembre, sobre protección física de las instalaciones y los materiales nucleares, y de las fuentes radiactivas*. Madrid: Boletín del Estado, BOE, núm. 242. Ref. A-2011-15723.
- Ministerio de Trabajo. (24 de marzo de 1976). *Orden de 10 de marzo de 1976 por la que se aprueba la ordenanza de trabajo para la Junta de Energía Nuclear*. Madrid: Boletín del Estado, BOE, núm. 72.
- Muñoz, J. (2010). *Actividad # 2. Núclidos y radiactividad* [En línea]. Obtenido de: <https://www.emaze.com/@ALOWZCOR/nclidos>
- Nunes, I. (2013). *Aspectos generales de seguridad y salud en el trabajo (SST)* [En línea]. Obtenido de: [https://oshwiki.eu/wiki/Aspectos_generales_de_seguridad_y_salud_en_el_trabajo_\(SST\)](https://oshwiki.eu/wiki/Aspectos_generales_de_seguridad_y_salud_en_el_trabajo_(SST))
- Núñez-Lagos, R. (2004). La radictividad. *Rev. Real Academia de Ciencias*. Vol. 59. pp. 47-60.
- Organismo Internacional de Energía Atómica, OIEA. (28 de diciembre de 1989). *Enmienda del Estatuto del Organismos Internacional de Energía Atómica* [En línea]. Obtenido de: https://www.iaea.org/sites/default/files/statute_sp.pdf
- Organismo Internacional de Energía Atómica, OIEA. (2008). N° GS-G-1.4. *Guía de seguridad. Colección de normas de seguridad del OIEA. Documentación empleada en la regulación de las instalaciones nucleares*. Viena: OIEA.
- Organismo Internacional de Energía Atómica, OIEA. (2009). *Identificación de fuentes y dispositivos radiactivos. Manual de referencia*. Viena: OIEA.
- Organismo Internacional de Energía Atómica, OIEA. (2010). N° GSR parte 5. *Requisitos de seguridad generales, parte 5. Gestión previa a la disposición final de desechos radiactivos*. Viena: OIEA.

- Organismo Internacional de Energía Atómica, OIEA. (2011), *Guía para autorización e inspección: Radiografía industrial*. Viena: OIEA.
- Organización Mundial de la Salud. (2016). *Radiaciones ionizantes: efectos en la salud y medidas de protección* [En línea]. Obtenido de: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ionizing-radiation-health-effects-and-protective-measures>
- Pascual, A. y Gadea, E. (2001). *NTP 614: Radiaciones ionizantes: normas de protección*. Ministerio de trabajo y asunto sociales España. Madrid: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- RLA9066. (2014). “*Guía sobre Vigilancia de la Salud de las Personas Ocupacionalmente Expuestas a las Radiaciones Ionizantes*”. Programa regional del OIEA - RLA/9/066 – TSA 2. Protección Radiológica Ocupacional. [En línea]. Obtenido de: https://www.miem.gub.uy/sites/default/files/guia_sobre_vigilancia_medica_ocupacional.pdf
- Piera, J. (s. f.). *Transporte radiactivo. Medidas de protección* [En línea]. Obtenido de: <http://www.luciabotin.com/publicaciones/transportesradioactivos.pdf>
- Preciado, M. y una, V. (2010). Medidas básicas de protección radiológica. *Preciado y Luna Cancerología*. Vol. 5. pp. 25-30.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2016). *Radiación. Efectos y fuentes*. New York: PNUMA.
- Romero, A. y Sánchez, J. (2001). *Energía nuclear en España: de la JEN al Ciemat*. Madrid: Ciemat.
- Sánchez, C. (2006). Manual de protección radiológica de las instalaciones radiactivas y radiológicas de la universidad de Sevilla. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Secretaría de Salud Laboral y Desarrollo Territorial. (2013). *Cuadernillo Informativo de PRL: Radiaciones ionizantes*. [En línea]. Obtenido de: https://madrid.ugt.org/sites/madrid.ugt.org/files/node_gallery/Galeria%20Publicaciones/CUADERNILLO%20FORMACION%20PRL%202013.pdf
- Serrano, J. (s. f.) *Radiología industrial. Fundamentos. Aplicación de la radiología a la detección de defectos en soldadura. Análisis de casos prácticos. Prevención de riesgos* [En línea]. Obtenido de : https://www.academia.edu/24747101/Radiolog%C3%ADa_Industrial._Fundamentos._Aplicaci%C3%B3n_de_la_radiolog%C3%ADa_a_la_detecci%C3%B3n_de_defectos_en_soldadura._An%C3%A1lisis_de_casos_pr%C3%A1cticos._Prevenci%C3%B3n_de_riesgos

UMH – Máster universitario en PRL “Estrategia de prevención de riesgos laborales, PRL, para la implantación de dispositivos de radiografía industrial en la empresa metalmecánica STEELMED.”

Serwer, D. (1976). *The rise of radiation protection: science, medicine and technology in society, 1896-1935*. Upton: Brookhaven National Laboratory.

Shengli, N. (2011). *Protección de los trabajadores frente a la radiación*. Ginebra: OIT.

Truppa, W. (4 a 8 de septiembre, 2006). *El responsable por la seguridad radiológica en la industria. Entre el ambiente laboral y la tecnología de hoy*. Trabajo presentado en el Primer Congreso del IRPA (International Radiation Protection Association). Acapulco, Mexico.

Vásquez, A. (2009). Aplicaciones industriales de las radiaciones: equipos, instalaciones, prácticas y seguridad. *Revista Biomedicina*. Noviembre. pp. 43-49.

Vivallo, L., & Yáñez, M. (2016). *Guía para la identificación de fuentes radiactivas. Primeros actuantes. Primeras categorías* (Primera Edición). Santiago de Chile: CCHEN.



Glosario

Becquerelio (Bq): unidad de actividad radiactiva, representa una desintegración en un segundo.

Bulto de transporte: contenedor en que se transportan las fuentes selladas. Los bultos de transporte se ajustan a los reglamentos internacionales para el transporte seguro de materiales radiactivos.

Consejo de seguridad nuclear: único organismo nacional competente en materia de seguridad nuclear y protección radiológica creado mediante la Ley 15/1980 de 25 de abril.

Dispositivo: pieza de maquinaria o instrumento en que se utiliza una fuente radiactiva y que aloja la fuente en condiciones de seguridad. La fabricación de dispositivos se ajusta en general a las normas nacionales e internacionales de seguridad.

Dosímetro: sistema detector utilizado para estimar la dosis de radiación.

Dosis: término general que indica la energía depositada por la radiación en la materia (Ver dosis absorbida, dosis efectiva y dosis equivalente).

Dosis absorbida: mide la energía absorbida por un individuo en un punto del mismo. Por ejemplo en las instalaciones de tratamiento oncológico, la dosis es la unidad que se utiliza para establecer el nivel de irradiación del paciente.

Dosis equivalente: dosis absorbida por un individuo considerando el posible efecto biológico producido. La dosis equivalente es la magnitud de la protección radiológica.

Dosis equivalente efectiva: suma ponderada de las dosis equivalentes recibidas en los distintos órganos.

Electrón: partícula elemental de carga negativa unidad y de menor masa conocida.

Excitación: proceso en el que se entrega energía al núcleo, átomo o molécula, dejándolos en un estado de mayor energía.

Exposición: acción y efecto de someter a las personas a las radiaciones ionizantes

Fuente: aparato, sustancia radiactiva o instalación capaz de emitir radiaciones ionizantes o sustancias radiactivas.

Gray: unidad de dosis absorbida; equivale a 1 j/kg.

Ionización: fenómeno que ocurre cuando un átomo neutro, o una molécula, adquiere o pierde carga eléctrica, convirtiéndose en un ión positivo o negativo (catión o anión respectivamente).

Irradiación: acto de quedar expuesto a la radiación. Puede ser intencional, ejemplo, debido a la irradiación industrial utilizada para esterilizar equipo médico; o accidental, ejemplo, debido a la proximidad a una fuente que emite radiación.

Licencia: autorización concedida por la Autoridad Nacional a una entidad, instalación o un individuo, con base en una evaluación de seguridad y complementada con requisitos y condiciones específicas que debe cumplir el titular licenciado.

Licencia de capacitación: licencia específica concedida por el Consejo de Seguridad Nuclear, CSN, al personal que manipule material o equipos radiactivos, operador, y a quienes dirigen esas actividades, supervisor, en una instalación radiactiva, según se establece en el Reglamento sobre instalaciones nucleares y radiactivas, RD 1836/1999

Miembros del público: personas de la población, con excepción de los trabajadores expuestos, trabajadores no expuestos, personas en formación y estudiantes durante sus horas de trabajo.

Operador: persona provista de licencia específica concedida por el Consejo de Seguridad Nuclear, capacitada para la manipulación de material o equipos clasificados como instalación radiactiva, según se establece en el Reglamento sobre instalaciones nucleares y radiactivas, RD 1836/1999

Partícula alfa: constituida por dos protones y dos neutrones (núcleo del átomo de helio) emitida por un radionucleido.

Partícula beta: electrón o positrón emitido por un radionucleido

Penetración: distancia máxima alcanzada por una partícula radiactiva antes de perder su energía y ser absorbida en un medio determinado.

Protección radiológica: protección contra los efectos de la exposición a la radiación ionizante y medios para lograrlo.

Protón: partícula con carga eléctrica positiva unidad y de masa aproximadamente 1800 veces mayor que la del electrón.

Radiación: emisión de energía o de partículas desde una fuente.

Radiación ionizante: transferencia de energía en forma de partículas u ondas electromagnéticas de una longitud de onda igual o inferior a 100 nanómetros o una frecuencia igual a 3×10^{15} hertzios, capaces de producir iones directa o indirectamente.

Radiación electromagnética: energía en forma de ondas proveniente de la electricidad y el magnetismo, que según la energía que transporta recibe diferentes nombres: luz visible, ultravioletas, ondas de radio, microondas y otros. La partícula cuántica que constituye a estas ondas se llama fotón, y cuando tiene energías muy altas se le da el nombre de rayos X o rayos gamma.

Radiactividad: proceso en el que ciertos núcleos se desintegran en forma espontánea y aleatoria junto con la emisión de radiación

Radionucleido: átomo de núcleo inestable que se desintegra espontáneamente emitiendo partículas alfa o beta, radiación gamma, o ambas.

Radioprotección: conjunto de prácticas destinadas a evitar la exposición innecesaria a la radiación.

Rayos gama: radiación electromagnética de muy baja longitud onda, emitida por un núcleo inestable. Su poder de penetración es importante y directamente proporcional a su energía asociada.

Rayos X: radiación de naturaleza electromagnética que procede de la corteza atómica. Se producen en dispositivos especialmente diseñados cuando un haz de electrones acelerados por un potencial eléctrico choca contra un blanco metálico.

Riesgo: probabilidad de que un determinado efecto para la salud ocurra en una persona o grupo de personas como resultado de su exposición a la radiación.

SIEVERT (Sv): unidad de dosis efectiva o equivalente correspondiente a 1 Julio por Kilogramo.

Supervisor: persona provista de licencia específica concedida por el Consejo de Seguridad Nuclear, capacitada para dirigir el funcionamiento de una instalación nuclear o radiactiva.

Sustancia radiactiva: sustancia que contiene uno o más radionucleidos y cuya actividad o concentración no pueda considerarse despreciable desde el punto de vista de la protección radiológica.

Trabajador expuesto: persona sometida a una exposición a causa de su trabajo que pudiera entrañar dosis superiores a alguno de los límites de dosis para miembros del público, establecidos en el Reglamento Sobre Protección Sanitaria Contra Radiaciones Ionizantes.

Vigilancia radiológica: medición de la exposición, la dosis o la contaminación por razones relacionadas con la evaluación o control de la exposición a la radiación o a sustancias radiactivas, e interpretación de los resultados.

Anexos

