



Escuela de Ingeniería en Seguridad Laboral e Higiene Ambiental

**Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en
Ingeniería en Seguridad Laboral e Higiene Ambiental**

**Rediseño del programa de protección radiológica de la planta METALCO
S.A. ubicada en La Ceiba de Orotina**

Estudiantes:

María Fernanda Brenes Rivera

Donald Andrés Castillo Ramírez

Cartago, Enero 2021



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-
NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional.

CONSTANCIA DE DEFENSA PÚBLICA DE TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Trabajo Final de Graduación defendido públicamente ante el Tribunal Evaluador, integrado por las profesoras Ing. Gabriela Morales Martínez e Ing. Adriana Campos Fumero, la asesora académica la Ing. María Gabriela Hernández Gómez y la Coordinación de Proyectos de Graduación la Ing. Mónica Carpio Chaves; como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Seguridad Laboral e Higiene Ambiental del Tecnológico de Costa Rica.

**MARIA GABRIELA
HERNANDEZ
GOMEZ (FIRMA)** Firmado digitalmente por
MARIA GABRIELA
HERNANDEZ GOMEZ (FIRMA)
Fecha: 2021.01.29 15:27:14
-06'00'

Ing. María Gabriela Hernández Gómez
Asesora académica

**MONICA MARIA
CARPIO CHAVES
(FIRMA)** Firmado digitalmente por
MONICA MARIA CARPIO
CHAVES (FIRMA)
Fecha: 2021.01.29 15:13:07
-06'00'

Ing. Mónica Carpio Chaves
Representante de la Dirección

**ADRIANA MARIA
CAMPOS
FUMERO (FIRMA)** Firmado digitalmente por
ADRIANA MARIA CAMPOS
FUMERO (FIRMA)
Fecha: 2021.01.29 15:24:29
-06'00'

Ing. Adriana Campos Fumero
Profesora Evaluadora

TEC | Tecnológico
de Costa Rica Firmado digitalmente por MARIA
GABRIELA MORALES MARTINEZ
(FIRMA)
Motivo: Defensa proyecto
Ubicación: Cartago
Fecha: 2021.01.29 15:21:28 -06'00'

Ing. Gabriela Morales Martínez
Profesora Evaluadora

Cartago
29 de enero, 2021

Dedicatoria

Este proyecto se lo dedico en primer lugar a mi abuelo Nonis que en paz descanse, al cual le prometí a los 8 años sacar una carrera universitaria, también a mis padres y mis hermanas por todo el apoyo que me brindaron siempre, son el pilar de mi vida. Por último, a todos mis compañeros, profesores y amigos que formaron parte de mi vida universitaria, de los cuales aprendí mucho.

Donald Andrés Castillo Ramírez

Dedicatoria

Quiero dedicar este proyecto principalmente a mis padres y a mi hermano por su gran apoyo y sus consejos a lo largo de este camino.

María Fernanda Brenes

RESUMEN

Este proyecto fue realizado en la empresa METALCO S.A., localizada en La Ceiba de Orotina, la misma se dedica a la producción de aceros recubiertos y conformados, teniendo dentro de sus líneas de producción equipos emisores de radiaciones ionizantes para gammagrafía industrial. El objetivo general del proyecto consistió en el rediseño del programa de protección y seguridad radiológica, el cual es requerido para la renovación del permiso de funcionamiento sanitario de instalaciones radiológicas. La última versión de este documento se creó en el año 2015 y contaba únicamente con información relacionada al equipo Valmet. El nuevo programa incorpora los equipos Thermofisher y Portaspec, los cuales fueron adquiridos en el 2018 para la línea de galvanizado tres y el laboratorio de control de calidad respectivamente.

Como parte del proceso metodológico, se aplicaron herramientas tales como listas de verificación, cuestionarios y entrevistas; y se usaron diferentes matrices para el análisis de la información. Posterior a la aplicación de las herramientas se obtuvo que existe una oportunidad de mejora en las líneas de galvanizado dos y tres y el laboratorio de control de calidad a nivel de gestión de desechos radioactivos, señalización de las áreas, capacitación del personal y barreras físicas que protegen los equipos emisores y generadores de radiaciones ionizantes.

Como conclusión la empresa no cumple con todos los apartados del Programa de protección radiológica según lo indicado en la norma del OIEA N° SSG-8, además de que la señalización actual no cumple con los estándares indicados en la INTE 31-0-01: 2016. Ante estas necesidades se procedió a elaborar una nueva señalización, incorporar un sistema de enclavamiento en los equipos emisores y generadores de radiaciones ionizantes y establecer procedimientos para las distintas labores asociadas a estas. Por último, se recomienda la evaluación y seguimiento del programa ya que permitirá detectar oportunidades de mejora que requieran incorporarse en este programa.

Palabras claves: exposición ocupacional, gammagrafía industrial, Programa de Protección y Seguridad Radiológica, OIEA, radiaciones ionizantes.

ABSTRACT

This project was carried out in the company METALCO S.A, located in La Ceiba de Orotina which is dedicated to the production of coated and shaped steels, having within its production lines ionizing radiation equipment for industrial gammagraphy. The general objective of the project consisted in the redesign of the radiation protection and safety program, which is required for the renewal of the health operating permit for radiological facilities. The latest version of this document was created in 2015 and contained only information related to Valmet equipment. The new program incorporates the Thermofisher and Portaspec equipment, which were acquired in 2018 for galvanizing line three and the quality control laboratory respectively.

As part of the methodology process, tools such as checklist, questionnaires and interviews were applied; and different matrices were used for the analysis of the information. After the application of the tools, it was obtained that there is an opportunity for improvement in the galvanizing lines two, three and the quality control laboratory at the level of radioactive waste management, signaling of the areas, training of personnel and physical barriers that protect equipment emitting and generating ionizing radiation. In conclusion, the company does not comply with all the Radiation Protection Program as indicated in the IAEA standard N° SSG-8, in addition to the fact that the current signage fails with the standards indicated in the INTE 31-0-01: 2016.

Given these needs, a new signaling was developed, incorporating an interlocking system in ionizing radiation emitting and generating equipment, and establishing procedures for the different tasks associated with these.

Finally, the evaluation and monitoring of the program is recommended since it will be able to detect opportunities for improvement that require incorporation into this program.

Key words: Occupational exposure, industrial gammagraphy, radiation protection and safety program, IAEA, ionizing radiation.

ÍNDICE GENERAL

I.	Introducción	1
A.	Identificación de la empresa	1
1.	Visión y misión	1
2.	Antecedentes	1
3.	Ubicación geográfica	2
4.	Organigrama de la organización	2
5.	Cantidad de empleados	4
6.	Mercado	4
7.	Proceso productivo y productos	4
B.	Planteamiento del problema	7
C.	Justificación del proyecto	8
D.	Objetivos del proyecto	10
1.	Objetivo general	10
2.	Objetivos específicos	10
E.	Alcances y limitaciones del trabajo	10
1.	Alcances	10
2.	Limitaciones	11
II.	Marco Teórico	12
III.	Metodología	17
A.	Tipo de investigación	17
B.	Fuentes de información	17
1.	Fuentes primarias	17
2.	Fuentes secundarias	19
3.	Fuentes terciarias	19
C.	Población y muestra	19
D.	Operacionalización de variables	20
E.	Descripción de las herramientas	24
1.	Fase de diagnóstico para la identificación de condiciones de trabajo	24
2.	Fase de evaluación de la exposición a radiaciones ionizantes	29
3.	Fase de diseño de medidas de control	31
F.	Plan de análisis	33
1.	Fase de diagnóstico para la identificación de condiciones de trabajo	35

2.	Fase de evaluación de la exposición a radiaciones ionizantes.....	37
3.	Fase de diseño de medidas de control	38
IV.	Análisis de la situación actual.....	40
A.	Identificación de las condiciones de trabajo con exposición a radiaciones ionizantes.....	40
1.	Encuesta higiénica y entrevista al encargado de Salud Ocupacional.....	40
2.	Entrevista a los trabajadores	43
3.	Lista de verificación de la seguridad de las instalaciones y actividades	45
4.	Entrevista al encargado de Salud Ocupacional	47
5.	Entrevistas a otros funcionarios.....	48
6.	Lista de verificación de distintivos de señalización.....	49
7.	Lista de verificación de distintivos para la señalización de radiaciones ionizantes	50
8.	Lista de verificación de seguridad radiológica	50
9.	Lista de verificación de fuentes de radiación y aplicación coercitiva	51
B.	Evaluación de la exposición a radiaciones ionizantes	53
1.	Informes de dosimetrías ambientales.....	53
2.	Informes de dosimetrías de área	58
C.	Conclusiones.....	60
D.	Recomendaciones.....	62
V.	Alternativa de solución	63
A.	Introducción.....	63
B.	Rediseño del Programa de Protección Radiológica	63
VI.	Bibliografía.....	182
VII.	Apéndices.....	187
VIII.	Anexos	222

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Selección de la muestra por herramienta	20
Cuadro 2. . Operacionalización de variables del proyecto	21
Cuadro 3. Descripción de los dispositivos de seguridad radiológica por equipo ..	42
Cuadro 4. Dosis efectiva reportada para el cristalino, cuerpo entero y superficie en el mes de agosto del 2020 para los equipos Valmet, Thermofisher y Portaspec	54
Cuadro 5. Matriz comparativa de la dosis efectiva máxima y mínima para el cristalino, superficie y cuerpo entero en los equipos Valmet, Thermofisher y Portaspec, contra la dosis máxima permitida por año en el Decreto No 24037-S	57
Cuadro 6. Matriz comparativa de la dosis efectiva reportada en los informes de dosimetría de área por año contra la dosis efectiva máxima permitida para cuerpo entero indicado en el Decreto No 24037-S	59
Cuadro 7. Matriz de Involucrados del Programa de Protección Radiológica de METALCO S.A.	9
Cuadro 8. Matriz RACI del Programa de Protección Radiológica	13
Cuadro 9. Tipo de zona según el área de trabajo	15
Cuadro 10. Dimensiones requeridas para la señalización de las zonas controladas.....	18
Cuadro 11. Cantidad, costo, vida útil y proveedor de la señalización para las zonas controladas en distintos materiales	19
Cuadro 12. Dimensiones de los equipos Valmet y Thermofisher	20
Cuadro 13. Dimensiones de la malla electro soldada del sistema de enclavamiento	20
Cuadro 14. Requerimientos y costo de las alternativas de la malla electrosoldada del sistema de enclavamiento de los equipos Valmet y Thermofisher	22
Cuadro 15. Costo de las alternativas de los sistemas de enclavamiento para puertas	23
Cuadro 16. Costo de las luces de emergencia para los equipos Thermofisher y Valmet	24
Cuadro 17. Costo de las luces de emergencia para el laboratorio de control de calidad.....	25
Cuadro 18. Matriz comparativa de las alternativas de diseño basada desde una perspectiva económica, ética relacionada con la salud y seguridad laboral, operativa, ambiental y equidad relacionada con el impacto sociocultural	28
Cuadro 19. Características de la ubicación y altura de los equipos que integran la alternativa de diseño	32
Cuadro 20. Codificación asignada a los documentos de acuerdo a su tipo	36
Cuadro 21. Temario y cronograma de las capacitaciones para los operarios en relación a las radiaciones ionizantes.....	103
Cuadro 22. Cronograma de actividades del Programa de Protección Radiológica (PPR)	107
Cuadro 23. Presupuesto del Programa de Protección Radiológica.....	142

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Organigrama de la empresa METALCO S.A., en la Sede de La Ceiba de Orotina	3
Figura 2. Diagrama de flujo de las líneas de galvanizado	6
Figura 3. Plan de análisis	34
Figura 4. Tiempo de laborar en el área de trabajo de las 55 personas ocupacionalmente expuestas a radiaciones ionizantes	44
Figura 5. Porcentaje de cumplimiento de los ítems evaluados durante la entrevista a los trabajadores	45
Figura 6. Porcentaje de cumplimiento de los apartados de la lista de verificación de la seguridad de las instalaciones y actividades	46
Figura 7. Porcentaje de cumplimiento de la lista de verificación de seguridad radiológica de las instalaciones de irradiación de rayos gamma, electrones y rayos X.....	51
Figura 8. Vista lateral de la distribución de la radiación ionizante del equipo Thermofisher	55
Figura 9. Vista superior de la distribución de la radiación ionizante del equipo Thermofisher	55
Figura 10. Estructura del Programa de Protección Radiológica	1
Figura 11. Diseño de la señalización de las líneas de galvanizado dos y tres y el laboratorio de control de calidad	16
Figura 12. Alternativa de malla electrosoldada 1	21
Figura 13. Alternativa de malla electrosoldada 2.....	21
Figura 14. Vista Frontal de la alternativa de diseño para el equipo Thermofisher	33
Figura 15. Vista superior equipo Valmet	33
Figura 16. Vista frontal derecha de la alternativa de diseño para el equipo Valmet	33
Figura 17. Entrada del laboratorio de control de calidad	34
Figura 18. Vista lateral del laboratorio de control de calidad	34
Figura 19. Vista superior del laboratorio de control de calidad.....	34
Figura 20. Diagrama de codificación de documentos.....	36
Figura 21. Procedimientos de trabajo con sus respectivos documentos de referencia	37
Figura 22. Colocación del dosímetro personal de TLD	92

I. INTRODUCCIÓN

A. Identificación de la empresa

La empresa donde se desarrolló el proyecto corresponde a METALCO S.A., localizada en La Ceiba de Orotina de Alajuela. A continuación, se detalla su misión y visión.

1. Visión y misión

La misión de la empresa es la siguiente:

“Somos la empresa líder en la producción de aceros recubiertos y conformados, orientamos nuestros esfuerzos a maximizar la vida útil del acero, para brindar la mejor relación costo-beneficio a nuestros consumidores.

Buscamos generar valor a nuestros clientes, dirigiendo nuestras acciones a la búsqueda constante de la excelencia con una amplia disposición de servicio y fundamentados en los principios de respeto, honestidad y lealtad.

Al cumplir con lo anterior, contribuimos al desarrollo y mejoramiento de la calidad de vida de la sociedad, de todos los miembros de nuestra organización y a fortalecer la confianza de nuestros accionistas” (METALCO, 2012).

La declaración visión de la empresa consiste en:

“Seremos la compañía líder en el mercado del acero, ofreciendo soluciones sostenibles e innovadoras con nuestros productos y servicios, cumpliendo las expectativas de nuestros clientes” (METALCO, 2012).

2. Antecedentes

METALCO S.A. fue fundada en 1965, año en el cual adoptó el nombre actual; ya que anteriormente pertenecía a la empresa Metal Company S.A., con sede en Costa Rica. Actualmente, es una empresa consolidada en la producción de aceros recubiertos y pintados; así como también, en la fabricación de tubos y perfiles. Con

más de 50 años de ofrecer a sus clientes productos de alta calidad, ha logrado un reconocimiento en el área de la construcción, por lo que sus actividades se enfocan en un mejoramiento continuo de sus procesos productivos y la comercialización de sus productos, dentro de los que se encuentran láminas y cubiertas para techo galvanizado, metaluminizado y pintado, perfiles tipo C y Z, tubos galvanizados y en hierro negro, entre otros.

3. Ubicación geográfica

La empresa METALCO S.A. cuenta con distintas sedes a lo largo de Latinoamérica, específicamente en Guatemala, Honduras, Costa Rica, El Salvador, Nicaragua, Colombia y República Dominicana.

A nivel nacional, cuenta en su área productiva con cuatro plantas de proceso (productos largos, productos recubiertos y productos planos 1 y 2), las cuales se localizan en La Ceiba de Orotina de Alajuela, kilómetro 70.5 sobre la ruta costanera 27. Además, también tiene un centro de distribución y ventas ubicado en la calle 101, diagonal a Bodega Plywood Park en Colima de Tibás de San José.

4. Organigrama de la organización

En la siguiente figura se detalla el organigrama general de la organización. Es importante resaltar la relación directa que se tuvo en el presente estudio con el Departamento de Salud Ocupacional y Ambiente, el cual está conformado por un coordinador y dos técnicos en Salud Ocupacional, así como con el cuerpo médico de empresa, que está compuesto por un médico del trabajo, un médico de empresa y una enfermera, y cuyo servicio es brindado por la empresa Sermed S.A.

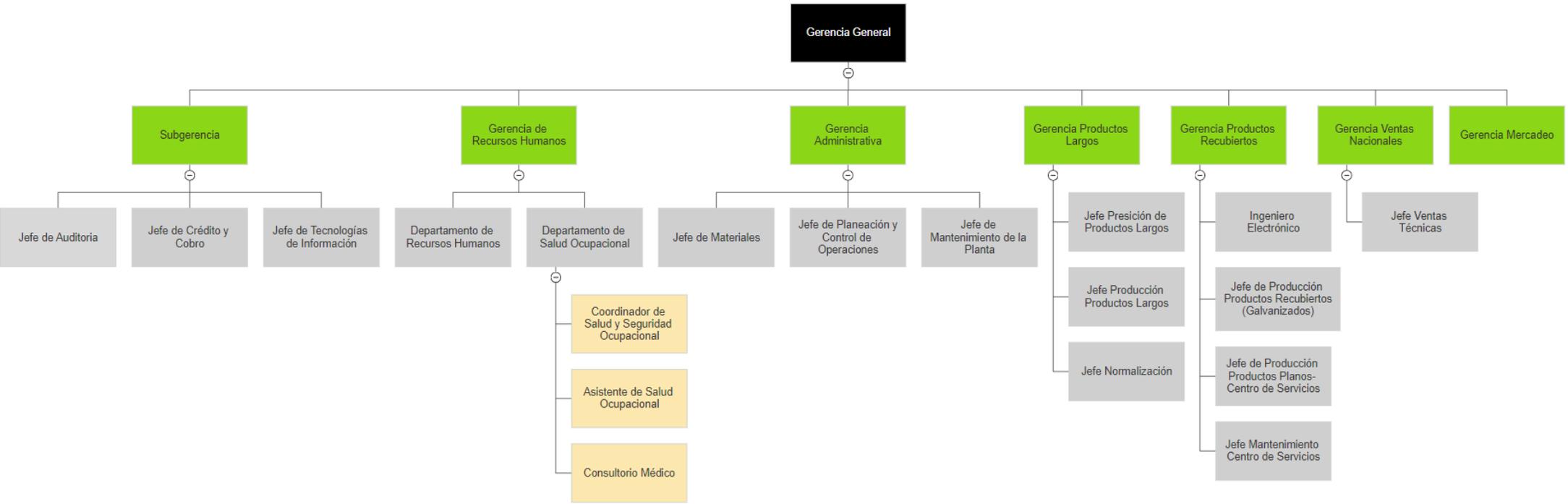


Figura 1. Organigrama de la empresa METALCO S.A., en la Sede de La Ceiba de Orotina

Fuente: González, 2020.

5. Cantidad de empleados

Actualmente, la empresa METALCO S.A. cuenta con 715 colaboradores en sus distintas sedes. En la planta localizada específicamente en La Ceiba de Orotina hay 615 empleados, de los cuales 195 son operarios, 297 son ayudantes, 95 son asistentes y supervisores, 19 son coordinadores y 9 colaboradores pertenecen a gerencia.

6. Mercado

Los productos con los que cuenta METALCO S.A. en Costa Rica son para ventas nacionales e internacionales. Las bobinas galvanizadas, metaluminizadas y/o pintadas son distribuidas entre los distintos clientes y empresas, tanto en el territorio costarricense como fuera de él.

7. Proceso productivo y productos

El proceso productivo dado en las líneas de galvanizado de La Ceiba de Orotina de Alajuela se compone de ocho secciones (ver figura 1), para el desarrollo del presente proyecto se tomaron en consideración la sección inicial, la sección de cromatado y la sección antifinger. En general, las líneas de galvanizado cuentan con las siguientes secciones:

- **Sección inicial** (recepción de la bobina, verificación de anomalías y montaje de la bobina).
- **Sección tensión-nivelado** (proceso de aplanado de la lámina y se regula la presión de los rodillos).
- **Sección de salida** (verifican el espesor del material hierro negro y galvanizado, el ancho, el peso, la dureza, la superficie de la lámina y evaluación del producto terminado y galvanizado).
- **Sección de pintado** (verificación del estado del equipo de producción, preparación de la pintura, aplicación de la pintura y evaluación del acabado de la superficie).

- **Sección limpieza** (Se remueve toda la suciedad, aceite y finos de hierro de las láminas).
- **Sección cromatado** (verificación del nivel de solución de cromo).
- **Sección baño de zinc** (control sobre las variables de composición en el baño, temperatura, nivel de baño, limpieza de la superficie del baño y la concentración de aluminio).
- **Sección antifinger** (verificación del nivel del tanque, el buen funcionamiento de las bombas, los rodillos escurridores, las bandejas y control de las condiciones de producción).

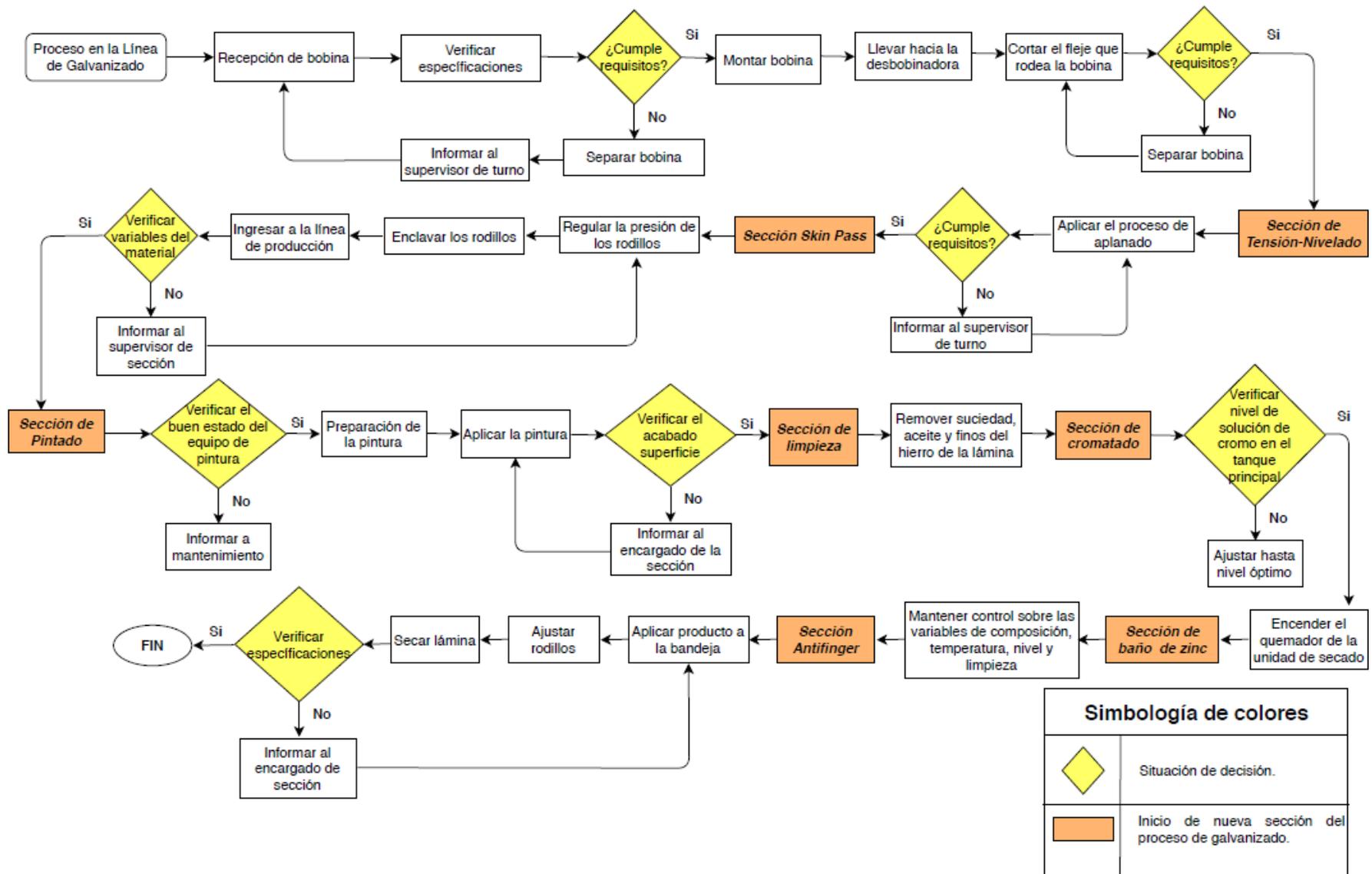


Figura 2. Diagrama de flujo de las líneas de galvanizado

Para METALCO S.A. es importante que los clientes adquieran productos que excedan sus expectativas, por ello cuenta con una amplia gama de productos, los cuales se describen a continuación:

- **Láminas:** lisa, ondulada, rectangular, teja colonial, teja Toledo, canaleta estructural, Metalock y Metaldeck.
- **Tuberías:** estructural, industrial, para malla, cañería, cédula 40 y E.M.T.
- **Perfiles:** tipo C, Z y muro seco.
- **Accesorios:** láminas de policarbonato, tornillería para cubiertas de techo, cumbresas, botaguas, sujetadores para láminas Metalock, uniones galvanizadas o negras para tubería de cañería.

B. Planteamiento del problema

En la empresa METALCO S.A. existe la necesidad de una actualización del Programa de Protección Radiológica (ver apéndice 1), debido a que la última versión creada en el año 2015 únicamente contempla el equipo emisor de radiación ionizante Valmet, localizado en la línea de galvanizado dos. En el año 2018, como parte de la mejora continua e innovación tecnológica, se incorporaron dos equipos nuevos emisores de radiación ionizante: Thermofisher, ubicado en la línea de galvanizado tres y Portaspec, ubicado en el laboratorio de control de calidad.

Además, dentro de los lineamientos establecidos en el Decreto N° 24037-S "Reglamento sobre Protección contra Radiaciones Ionizantes", el Ministerio de Salud otorga una licencia de permiso de funcionamiento por un periodo de 5 años, el cual se renovó por última vez en el año 2015; por ende, en el año 2020 corresponde una nueva renovación de este permiso. En este momento, la empresa no ha podido presentar la solicitud debido a que el Ministerio de Salud generó un decreto para iniciar el trámite de permisos hasta el 5 de enero del 2021, debido a la emergencia sanitaria por COVID-19.

Para mantener el permiso de funcionamiento, una vez que es otorgado, el Ministerio de Salud exige que se cuente con un programa de Protección Radiológica actualizado, que contemple todos los equipos que presenten una fuente radioactiva; ya que, al incumplir con esta directriz se procede al retiro del

mismo. Además, según el artículo 16 del Decreto N° 24037-S antes mencionado, es fundamental que en todo centro de trabajo donde se empleen fuentes emisoras de radiaciones ionizantes, se cuente con procedimientos de protección radiológica en las operaciones que se lleven a cabo en el lugar.

C. Justificación del proyecto

Según registros del Organismo Internacional de Energía Atómica (IAEA, por sus siglas en inglés, 2020), se refleja que la incorrecta aplicación de directrices de seguridad y protección radiológica puede resultar en accidentes radioactivos, como los sucedidos en el año 1984 en Ciudad Juárez de México, la isla del río Susquehanna en Pensilvania y Chernóbil en Ucrania; así como en Fukushima, Japón en el año 2011, entre otros; que han generado una exposición a radiación ionizante, tanto al personal operativo, como a terceras personas y al medio ambiente, implicando pérdidas económicas considerables, daño en los ecosistemas y severos problemas en la salud e incluso la muerte.

Por otra parte, uno de los objetivos estratégicos de la empresa METALCO S.A. es la mejora continua e innovación tecnológica; es así que, ante la necesidad de mejorar la calidad de sus productos se incorporaron dos equipos de radiaciones ionizantes Thermofisher y Portaspec, que consisten en generadores a base de principio electrónico, en adición al equipo Valmet; los mismos se ubican en las siguientes áreas:

- **Valmet:** línea de galvanizado dos, 20 personas expuestas de los puestos mecánicos, eléctricos y operadores.
- **Thermofisher:** línea de galvanizado tres, 20 personas expuestas de los puestos mecánicos, eléctricos y operadores.
- **Portaspec:** laboratorio de control de calidad, 15 personas expuestas que son auditores de control de calidad.

Estos equipos emisores y generadores de radiaciones ionizantes utilizan pastillas de Americio 241 como fuente radioactiva para su funcionamiento, lo cual, según la última actualización de la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (2004) resalta la importancia de controlar la exposición a la

radiación emitida por este elemento radioactivo, dado que comúnmente se logra concentrar en huesos, pulmones e hígado, además puede alterar el material genético de las células y esto puede inducir al desarrollo de cáncer en estas regiones.

Por lo tanto, el Departamento de Salud Ocupacional y Ambiente de METALCO S.A. identificó, mediante su análisis interno de riesgos laborales, la necesidad de realizar una evaluación de la exposición ocupacional a radiaciones ionizantes en varios de sus procesos, debido a la incorporación de los dos equipos mencionados anteriormente. Por ende, se debe implementar nuevos monitoreos y controles, teniendo en cuenta los factores condicionantes como: el tiempo de funcionamiento de la fuente, la distancia con respecto a la fuente y el control de calidad de la fuente; dando consigo la necesidad de un rediseño del programa de protección radiológica existente, ya que este sólo estaba diseñado para un equipo.

METALCO S.A. al manejar equipos emisores de radiaciones ionizantes debe cumplir con diferentes disposiciones legales para la instalación, uso, transporte y control de los equipos, las cuales se establecen en la Ley General de Salud No. 5395 en el artículo 248 (2020), donde indica que "Ninguna persona podrá instalar o utilizar aparatos o equipos destinados a la producción de luz ultravioleta y de radiaciones ionizantes o sustancias, natural o artificialmente radioactivas, en la industria o en la investigación industrial o científica no médica sin obtener licencia de la Comisión de Energía Atómica, previa aprobación del Ministerio de Salud".

Para mantener dicha licencia, es necesario presentar un Programa de Protección Radiológica que contemple todos los equipos involucrados con fuentes radioactivas. El programa actual únicamente incluye el equipo Valmet, ya que este fue diseñado en el 2015 y se incorporaron dos nuevos equipos emisores de radiación ionizante tres años después; por lo tanto, no se cumple con lo establecido en Ley General de Salud No. 5395, exponiéndose así al retiro de la licencia del permiso de funcionamiento de la empresa.

D. Objetivos del proyecto

1. Objetivo general

Rediseñar el programa de protección radiológica de la empresa METALCO S.A., ubicada en La Ceiba de Orotina, para la renovación del permiso de funcionamiento sanitario en instalaciones radiológicas.

2. Objetivos específicos

- Identificar las condiciones de trabajo con exposición a radiaciones ionizantes en la línea de galvanizado dos, línea de galvanizado tres y laboratorio de control de calidad.
- Evaluar la exposición de los trabajadores ocupacionalmente expuestos a radiaciones ionizantes emitidas por los equipos Thermofisher, Valmet y Portaspec.
- Diseñar medidas de control ingenieriles y administrativas para la radiación dispersa provocada por los equipos Thermofisher, Valmet y Portaspec, cumpliendo con el reglamento de Protección contra Radiaciones Ionizantes.

E. Alcances y limitaciones del trabajo

1. Alcances

El presente proyecto final de graduación busca cumplir con las directrices establecidas en la legislación nacional, específicamente con el Reglamento sobre Protección contra las Radiaciones Ionizantes, Decreto 24037-S y mantener la licencia de la Comisión de Energía Atómica por los próximos cinco años.

Además, procura identificar y evaluar los niveles y condiciones de exposición ocupacional a las radiaciones ionizantes generadas por los equipos Valmet, Portaspec y Thermofisher en la línea de galvanizado dos, la línea de galvanizado tres y el laboratorio de control de calidad de la empresa METALCO S.A.

También se pretende que los controles ingenieriles y administrativos desarrollados para la radiación dispersa, provocada por los equipos Thermofisher, Portaspec y Valmet, sean efectivos y estén dentro de la capacidad económica de la empresa, explorando distintas alternativas en el diseño de barreras, sistema de enclavamiento, ubicación, distanciamiento y monitoreo.

El rediseño del Programa de Protección Radiológica ayudará a la empresa a mejorar la gestión administrativa en relación a las radiaciones ionizantes de forma técnica y eficaz, mediante el manejo seguro de las fuentes radiológicas y de la exposición de los trabajadores en la línea de galvanizado dos, la línea de galvanizado tres y el laboratorio de control de calidad de la empresa.

2. Limitaciones

En el presente proyecto de graduación no se logró obtener información de los aspectos técnicos del equipo Valmet, dado que el mismo fue incorporado a la empresa en el año 1994; por ende, la información técnica disponible es muy escasa debido a la antigüedad del activo.

Además, no se realizaron las 55 dosimetrías personales que se tenían contempladas, ya que la empresa realizó ajustes en el presupuesto del año 2020 debido a la emergencia sanitaria por COVID-19. Por otro lado, las mediciones a radiaciones ionizantes (dosimetría ambiental y de área) fueron subcontratadas por METALCO S.A. a Importaciones e inversiones Colé S.A. y Proxtronic, ya que el Decreto N° 24037-S establece que las mismas deben ser realizadas por entes que estén debidamente acreditados y autorizados por el Ministerio de Salud.

II. MARCO TEÓRICO

La radiación ionizante es uno de los grandes descubrimientos del ser humano, él mismo le ha ido encontrando aplicaciones de gran utilidad tanto en la industria como en la medicina moderna. Según la Organización Mundial de la Salud (2016) “las radiaciones ionizantes son un tipo de energía liberada por los átomos en forma de ondas electromagnéticas o partículas. La desintegración espontánea de estos átomos se le conoce como radiactividad, y la energía excedente emitida es una forma de propagación de la radiación ionizante”.

Las radiaciones ionizantes emitidas por partículas pueden ser alfa, beta, rayos X y gamma (Consejo de Seguridad Nuclear, 2015). Los equipos incorporados en la empresa METALCO S.A. emiten radiaciones ionizantes gamma, las cuales proceden de la desintegración de los núcleos inestables de algunos elementos radiactivos; este tipo de radiaciones son bastante penetrantes y para frenarlas se precisa una lámina de plomo (Secretaría de Salud Laboral y Desarrollo Territorial, 2017).

Según el Organismo Internacional de Energía Atómica (2013), una de las aplicaciones industriales más frecuentes de la radiación ionizante es la radiografía para el ensayo no destructivo de elementos de equipo. La radiografía industrial sirve para verificar la integridad física del equipo. La integridad estructural de los equipos y estructuras afecta no solo a la seguridad y calidad de los productos, sino también a la protección de los trabajadores, el público y el medio ambiente.

El impacto que tengan las radiaciones ionizantes en el cuerpo humano va a depender de la dosis. Según Andiasco, Blanco & Buzzi (2014) existen tres tipos de dosis relacionadas con las radiaciones, las cuales se presentan a continuación:

- **Dosis absorbida.** Es la energía suministrada por la radiación a la unidad de masa de tejido biológico. En el Sistema Internacional de Unidades (SI), su unidad es el gray (Gy), que es igual a J/kg.
- **Dosis equivalente.** Es la dosis absorbida corregida por el distinto daño que producen los distintos tipos de radiaciones induciendo a efectos biológicos en función de la radiación. Según el SI, su unidad es el sievert (Sv),

diferenciándolo de las dosis absorbidas con el fin de indicar la consideración de daño biológico.

- **Dosis efectiva.** Es la dosis equivalente corregida por la diferente sensibilidad al daño de los distintos órganos y tejidos. Se ha adjudicado para su medición el factor de peso (WT), cuyo valor será distinto dependiendo de cada órgano.

El OIEA (2004) establece que todo trabajador debe ser controlado de forma que no se rebasen los siguientes límites de dosis:

- Dosis efectiva de 20 mSv/año como promedio de un período de cinco años consecutivos.
- Una dosis efectiva de 50 mSv en cualquier año.
- Una dosis equivalente al cristalino de 150 mSv/año.
- Una dosis equivalente a las extremidades inferiores y superiores o la piel de 500 mSv/año.

A nivel nacional se adoptó el reglamento del Organismo Internacional de Energía Atómica, mediante el Decreto 24 037-S “Reglamento sobre Protección contra las Radiaciones Ionizantes”, en el cual se indican los límites de dosis para la totalidad del organismo (20 mSv/año), para manos, pies y piel (500 mSv/año); y para el cristalino (150 mSv/año). Además, se incluyen también los límites anuales para el público, el cual se indica que para la totalidad del organismo (1 mSv/año), para manos, pies y piel (50 mSv/año); y para el cristalino (15 mSv/año) (Procuraduría General de la República de Costa Rica, 2009).

En un artículo de Arias (2006, citado por CIPR, 1990) se menciona que según estimaciones realizadas por la Comisión Internacional de Protección contra las Radiaciones (CIRP) los trabajadores que se exponen a dosis pequeñas y a tasas de dosis de radiación bajas en su lugar de trabajo tienen una probabilidad de 4 % de morir de un cáncer radio-inducido por cada sievert (Sv) de dosis efectiva recibida.

De acuerdo con el Consejo de Seguridad Nuclear (2012), la exposición a radiaciones puede darse de tres maneras:

- **Planificadas.** estas ocurren cuando se da una introducción y operación deliberada de fuentes de radiación para la obtención de algún beneficio.
- **De emergencia.** Este tipo de exposición puede ocurrir en exposiciones planificadas, por ejemplo, cuando hay accidentes; y requieren acciones urgentes para evitar consecuencias no deseadas.
- **Existentes.** estas son exposiciones que ya se están produciendo cuando se plantea la necesidad de decidir si hay que protegerse contra ellas.

Por su parte, una vez determinado el tipo de radiaciones ionizantes en el área de trabajo se debe realizar una evaluación de la exposición a radiaciones ionizantes, con el fin de conocer posteriormente si existen medidas adecuadas para controlar la exposición radiológica de los trabajadores y establecer si están dentro de los límites de dosis pertinentes. Así mismo se debe tener en cuenta si la protección se optimiza de forma que la magnitud de las dosis individuales, el número de personas expuestas y las probabilidades de que se den exposiciones se hayan mantenido en el valor más bajo (OIEA, 2010).

El instrumento utilizado para realizar la evaluación de las dosis emitidas por las radiaciones ionizantes es el dosímetro de radiación, este podrá utilizarse en monitoreo ambiental o en un monitoreo personal. El monitoreo ambiental determina la dosis en zonas o ambientes en general. La unidad usada en los dispositivos de medición es el rem, donde 100 rem equivale a un sievert (Estévez, R; 2018).

En un estudio realizado por Wdowiak et al. (2019), aluden que los efectos de las radiaciones ionizantes en los seres vivos dependen directamente del tamaño de la dosis y el tipo de radiación ionizante. Por otro lado, los autores mencionan que los efectos biológicos dependen de las condiciones de irradiación como la tasa de dosis, método de fraccionamiento de dosis, masa, tipo y oxigenación de los tejidos irradiados.

Es importante mencionar que los efectos nocivos producidos por las radiaciones ionizantes se pueden clasificar en dos tipos: somáticos (se manifiestan en el individuo expuesto) y hereditarios (se presentan en la descendencia del individuo irradiado) (Puerta et al., 2020).

Según el OEIA (2011) existen diferentes formas de protegerse de las radiaciones ionizantes, y específicamente de los rayos gamma, para esto se pueden emitir controles sobre la fuente emisora de radiación ionizante, el medio ambiente y los individuos expuestos. Para poder emitir medidas de protección correctas se deben tener en consideración los siguientes factores:

- **Distancia.** Aumentando la distancia entre el operador y la fuente de radiaciones ionizantes, la exposición disminuye en la misma proporción en que aumenta el cuadrado de la distancia. En muchos casos basta con alejarse lo suficiente de la fuente de radiación para que las condiciones de trabajo sean aceptables.
- **Tiempo.** Disminuyendo al máximo el tiempo de exposición, se reducirán las dosis. Es importante que las personas que vayan a realizar operaciones con fuentes de radiación estén capacitadas.
- **Blindaje.** En el caso de que los dos factores anteriores no sean suficientes, será necesario interponer un espesor de material absorbente, entre el operador y la fuente de radiación.

Para incluir controles dentro de la industria, es necesario que estén alineados con el Programa de Protección Radiológica, este tiene como fin poner en práctica la responsabilidad de la alta dirección en lo relativo a la protección y la seguridad radiológica, mediante la adopción de estructuras de dirección y gestión, políticas, procedimientos y disposiciones en materia de organización, acordes con la índole y la magnitud de los riesgos radiológicos (OEIA, 2015). Dicho programa es importante ya que sirve como una herramienta de la gestión de medidas para la protección de la salud frente a los riesgos que puedan afectar a las personas y al medio ambiente a causa del uso de la radiación ionizante.

Como menciona el OEIA (2013), dentro de los alcances del programa de protección radiológica se debe abarcar la estructura de gestión que posee la empresa, sus políticas, responsabilidades, procedimientos y disposiciones finales. Es importante que se establezcan dichos apartados, ya que contribuyen a controlar los peligros de este tipo de radiación, optimizar las medidas de protección

radiológica tanto administrativas como ingenieriles, prevenir o reducir la exposición a las radiaciones ionizantes y mitigar las consecuencias de los incidentes.

Es importante que, como complemento al Programa de Protección Radiológica, se cuente con una preparación y respuesta para casos de emergencia radiológica en relación con todas las instalaciones y actividades, así como con las fuentes que puedan causar exposición a radiaciones (OIEA, 2018). Tras determinar los peligros y evaluar las posibles consecuencias de una emergencia, se deben utilizar estos elementos como base para establecer disposiciones de preparación y respuesta para casos de emergencia radiológica, disposiciones que deberán ser proporcionales a los peligros constatados y a las posibles consecuencias de la emergencia.

Por otra parte, el marco legal nacional en materia de radio protección está regulado por la Ley General de Salud No 5395, aprobada por la Asamblea Legislativa el 30 de octubre del año 1973. Dicha ley establece el ordenamiento necesario para que sea el Ministerio de Salud, a través de la Sección de Control de Radiaciones Ionizantes del Departamento de Sustancias Tóxicas y Medicina del Trabajo, quien establezca todos los controles necesarios a fin de proteger la salud de la población expuesta directamente y en forma aledaña a los efectos nocivos de las radiaciones ionizantes.

Por último, Costa Rica cuenta con el Decreto 24037-S “Reglamento sobre Protección contra las Radiaciones Ionizantes”, donde se definen los requisitos que deben cumplir las instalaciones radiactivas, equipos emisores de radiaciones ionizantes y personal que trabaja en el área donde se encuentren los equipos; para la obtención del permiso sanitario de funcionamiento respectivo.

III. METODOLOGÍA

A. Tipo de investigación

El proyecto se desarrolló con el tipo de investigación descriptivo, explicativo y aplicado. Fue de carácter descriptivo porque se detallaron las condiciones de exposición a radiaciones gamma en las líneas de galvanizado dos y tres y el laboratorio de control de calidad de la empresa. Además, fue de carácter explicativo, ya que en el análisis de los resultados obtenidos se buscó el porqué de los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa-efecto (Morales, 2012). En la fase de diseño, el proyecto fue de tipo aplicado porque se desarrollaron varias soluciones al problema encontrado aplicando conocimientos nuevos, que dieron como resultado insumos innovadores y procesos seguros (Lozada, 2014).

B. Fuentes de información

Existen tres tipos de fuentes de información: primarias, secundarias y terciarias. Durante la investigación se emplearon las siguientes:

1. Fuentes primarias

1.1 Normativas y reglamentos nacionales

- ✓ Ley N° 4383. Ley básica de energía atómica para usos pacíficos.
- ✓ Reglamento sobre Protección contra las Radiaciones Ionizantes N°24037-S.

1.2 Normativas y reglamentos de la empresa

- ✓ Reglamento para el ingreso a la zona supervisada.

1.3 Consulta a trabajadores y supervisores de la empresa

1.4 Normativa internacional

- ✓ UNE 73302 Distintivos para señalización de radiaciones ionizantes.

- ✓ NTP 614: Radiaciones ionizantes: normas de protección.
- ✓ ISO 45001: Sistemas de Gestión de la seguridad y salud en el trabajo – Requisitos con orientación para su uso.

1.5 Documentos internacionales

- ✓ OIEA, 2004. Protección Radiológica Ocupacional, Austria.
- ✓ Normas de seguridad del OIEA:
 - N° GSR Parte 4 "Evaluación de la seguridad de las instalaciones y actividades".
 - N° SSG-11 "Seguridad radiológica en la radiografía industrial".
 - N° TS-G-1.4 "Sistema de gestión para el transporte seguro de materiales radiactivos".
 - N° SSG-8 "Seguridad radiológica de las instalaciones de irradiación de rayos gamma, electrones y rayos x".
 - N° GSR "Preparación y respuesta para casos de emergencia nuclear o radiológica".
 - IAEA-TECDOC-1526 "Inspección de las fuentes de radiación y aplicación coercitiva".

1.6 Proyectos de Graduación de egresados de la Escuela de Ingeniería en Seguridad Laboral e Higiene Ambiental

- ✓ Programa de Gestión de los Desechos Radiactivos en los Hospitales de la Caja Costarricense del Seguro Social en los Servicios de Medicina Nuclear, de Carpio, M. & Chavarría, K. (2007).
- ✓ Propuesta de Programa de Protección Radiológica para equipos generadores de radiaciones ultravioleta, láser y rayos x, en Trimpot Electrónicas LTDA., de Bonilla, D. (2015).

- ✓ Exposición Ocupacional a Radiaciones Ionizantes en el Laboratorio de Aplicaciones con Radiaciones Ionizantes del Instituto Tecnológico de Costa Rica, de Olmos, E. (2020)

2. Fuentes secundarias

- ✓ Páginas web de agencias gubernamentales: *International Commission on Radiological Protection (ICRP)*, *International Atomic Energy Agency (IAEA)*, *Occupational Safety and Health Administration (OSHA)*, *United State Environmental Protection Agency (EPA)*, *Centers for disease Control and Prevention (CDC)* y *American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH)*.
- ✓ Página web: OIEA y OMS.

3. Fuentes terciarias

- ✓ Bases de datos: e- libro, EBSCO, Proquest, AENOR, Science Direct y *National Center for Biotechnology information NCBI*.

C. Población y muestra

Para la muestra se seleccionó el método de muestreo no probabilístico, debido a que para la definición de la misma no se usaron fórmulas de probabilidad, sino que obedeció a criterios de los sustentantes, tales como: la relación directa entre el puesto de trabajo y el contacto directo con la fuente emisora; los años de laborar en el puesto y el contacto directo o indirecto del trabajador con la fuente emisora (Hernández et al., 2014).

Como población de estudio se utilizó el 100 % del personal ocupacionalmente expuesto a las radiaciones ionizantes en las líneas de galvanizado dos y tres, y el laboratorio de control de calidad (55 personas); para esto se realizaron visitas periódicas a la empresa, en donde se solicitó el listado de todo el personal por puesto para identificarlos. Además, se consideró la rotación del personal, los cuales se encuentran distribuidos en tres turnos (6:00 a.m. – 2:00 p.m., 2:00 p.m. – 10:00

p.m. y 10:00 p.m.- 6:00 a.m.) y la empresa también cuenta con una jornada continua (24/7).

En el siguiente cuadro se detalla la selección de la muestra para la aplicación de las distintas herramientas relacionadas con el equipo o fuente de gammagrafía industrial, definida de acuerdo con las circunstancias de trabajo mencionadas anteriormente.

Cuadro 1. Selección de la muestra por herramienta

Herramienta	Personal muestreado
Entrevista semiestructurada al Médico de trabajo	1
Entrevista semiestructurada al encargado de Salud Ocupacional	1
Entrevista semiestructurada al encargado de Proveeduría	1
Entrevista semiestructurada al encargado del Departamento de Recursos Humanos	1
Entrevista semiestructurada al Gerente General	1
Encuesta a los trabajadores expuestos a radiación ionizante	55

Cabe destacar que, la dosimetría ambiental y la dosimetría de área fueron realizadas por la empresa Importaciones e inversiones Cole S.A. y Proxtronics. Para la dosimetría ambiental realizaron tres mediciones por equipo (Superficial, cristalino y cuerpo entero), para un total de 9 mediciones entre los tres equipos. Para la dosimetría de área se tomaron 4 puntos alrededor de cada máquina, para un total de 12 mediciones, a una distancia de 0.5 m.

D. Operacionalización de variables

A continuación, se presenta la operacionalización de variables de los objetivos específicos planteados en el proyecto.

Cuadro 2. Operacionalización de variables del proyecto

Objetivos específicos	Variable	Conceptualización	Indicadores	Herramientas de evaluación
<p>Identificar las condiciones de trabajo con exposición a radiaciones ionizantes en la línea de galvanizado dos, línea de galvanizado tres y laboratorio de control de calidad</p>	<p>Condiciones de trabajo con exposición a radiaciones ionizantes</p>	<p>Conjunto de características del entorno de trabajo y acciones específicas del personal de la empresa, en relación a los procesos administrativos, fuentes emisoras y puestos del personal ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes de las líneas de galvanizado dos y tres; y el laboratorio de control de calidad.</p>	<p>Porcentaje de cumplimiento de medidas administrativas e ingenieriles actuales</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Lista de verificación "Evaluación de la seguridad de las instalaciones y actividades" • Entrevista semiestructurada al encargado de Salud Ocupacional
			<p>Porcentaje de cumplimiento del apartado de Política y objetivos de Salud y Seguridad de la empresa</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Lista de verificación de políticas y objetivos
			<p>Cantidad de controles administrativos actuales</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Entrevista semiestructurada al encargado del Departamento de Recursos Humanos y Gerente General
			<p>Frecuencia de realización de exámenes médicos</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Entrevista semiestructurada al médico de trabajo
			<p>Grado de cumplimiento del manejo seguro de la fuente radioactiva</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Entrevista semiestructurada al encargado de Proveeduría • Lista de verificación "Sistema de gestión para el transporte seguro de materiales radiactivos" • Lista de verificación "Seguridad radiológica de las instalaciones de irradiación de rayos gamma, electrones y rayos x"

Objetivos específicos	Variable	Conceptualización	Indicadores	Herramientas de evaluación
Continuación objetivo específico 1			Cantidad de trabajadores expuestos	<ul style="list-style-type: none"> Encuesta higiénica
			Distancia del trabajador con respecto a la fuente	
			Jornadas de trabajo y tiempo de exposición	<ul style="list-style-type: none"> Encuesta a los 55 trabajadores ocupacionalmente expuestos a radiaciones ionizantes
			Medidas actuales de mitigación contra radiaciones ionizantes	
			Porcentaje de cumplimiento de los procedimientos de trabajo que involucren los equipos de gammagrafía industrial	<ul style="list-style-type: none"> Lista de verificación "Inspección de las fuentes de radiación y aplicación coercitiva"
			Frecuencia de capacitación y/o entrenamiento del personal ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes	
Existencia de señalización y etiquetado de las áreas en las que se encuentran los equipos emisores y generadores de radiaciones ionizantes	<ul style="list-style-type: none"> Lista de verificación "Distintivos para señalización de radiaciones ionizantes" 			
Evaluar la exposición de los trabajadores ocupacionalmente expuestos a radiaciones ionizantes emitidas por los equipos Thermofisher, Valmet y Portaspec	Exposición ocupacional a radiaciones ionizantes	Nivel de radiación ionizante al que se encuentra el personal ocupacionalmente expuesto a los equipos Thermofisher, Portaspec y Valmet en las líneas de galvanizado dos y tres y el laboratorio de control de calidad.	Dosis efectiva en mSv/año	<ul style="list-style-type: none"> Informe de resultados de la dosimetría ambiental Informe de resultados de la dosimetría de área Matriz comparativa contra los requisitos del Decreto N° 24037-S

Objetivos específicos	Variable	Conceptualización	Indicadores	Herramientas de evaluación
Diseñar medidas de control ingenieriles y administrativos para la radiación dispersa provocada por los equipos Thermofisher, Valmet y Portaspec, cumpliendo con el reglamento de Protección contra Radiaciones Ionizantes	Controles ingenieriles	Técnicas y medidas para controlar la radiación ionizante emitida por los equipos Thermofisher, Valmet y Portaspec en las líneas de galvanizado dos y tres y el laboratorio de control de calidad, que permitan disminuir los riesgos por exposición.	Grado de cumplimiento de la propuesta del sistema de protección para las fuentes radioactivas	<ul style="list-style-type: none"> Matriz de cumplimiento basada en la norma OIEA N° SSG-11 "Seguridad radiológica en la radiografía industrial"
			Tiempo de implementación del control propuesto	<ul style="list-style-type: none"> Matriz comparativa de propuestas de controles ingenieriles.
			Recursos humanos, económicos y tecnológicos con los que cuenta la organización	
			Viabilidad (económica, operativa y de seguridad laboral) de los diseños	
	Controles administrativos	Métodos y estrategias organizacionales para que las tareas se realicen según la planificación operacional establecida para el mejoramiento de la seguridad ante las radiaciones ionizantes.	Cantidad de requisitos que incluye el programa de protección radiológica	<ul style="list-style-type: none"> Estructura de la propuesta según la norma OIEA "Seguridad radiológica de las instalaciones de irradiación de rayos gamma, electrones y rayos x"
			Cantidad de responsables	<ul style="list-style-type: none"> Matriz RACI
			Cantidad de capacitaciones a realizar al personal ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes	<ul style="list-style-type: none"> Cuadro de capacitación
			Cantidad de actividades del Programa de Protección Radiológica	<ul style="list-style-type: none"> Cronograma de actividades

E. Descripción de las herramientas

A continuación, se describen las diferentes herramientas utilizadas para el cumplimiento de los objetivos planteados:

1. Fase de diagnóstico para la identificación de condiciones de trabajo

Para el desarrollo del primer objetivo específico se utilizaron las herramientas que se explican a continuación.

1.1 Entrevista semiestructurada

Una entrevista semiestructurada es un tipo de entrevista en la cual se sigue un esquema fijo de preguntas para la persona entrevistada y el entrevistador tiene una mayor libertad para ajustarse a las características de la persona a quien entrevista, ya que se pueden realizar preguntas que inicialmente no estaban preparadas, pero que durante el transcurso de la entrevista son necesarias para recopilar más información relevante en el estudio (Díaz et al., 2013).

En el presente proyecto se aplicaron distintas entrevistas, las cuales se detallan a continuación:

- **Entrevista al encargado de Salud Ocupacional** (ver Apéndice 2). La finalidad de esta entrevista fue conocer el manejo de los controles administrativos e ingenieriles por parte del departamento de Salud Ocupacional con respecto al personal ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes y los equipos Thermofisher, Valmet y Portaspec. Se compone de 22 preguntas.
- **Entrevista al encargado del Departamento de Recursos Humanos y Gerente General** (ver Apéndices 3 y 4). Las entrevistas aplicadas recopilaron información acerca de los controles administrativos implementados en la empresa y el seguimiento e importancia que estos tienen para los mismos. Las dos entrevistas se componen de 10 preguntas.
- **Entrevista al médico de trabajo** (ver Apéndice 5). La entrevista al médico de trabajo se basó principalmente en conocer la frecuencia de realización de exámenes médicos, si se contaban con registros de personal afectado por las

radiaciones ionizantes y si se contaban con protocolos de atención de emergencia ante afectaciones por las radiaciones ionizantes. Se compone de 10 preguntas.

- **Entrevista al encargado de Proveeduría** (ver Apéndice 6). El objetivo de esta entrevista fue recopilar información acerca de las características que deben cumplir los equipos con fuente radioactiva previa a la adquisición de estos. Se compone de 6 preguntas.

1.2 Listas de verificación

Las listas de verificación son instrumentos que contienen apartados sobre cumplimiento o incumplimiento de aspectos o requisitos con respecto a distintas variables, en este caso relacionadas a las radiaciones ionizantes, estas son previamente seleccionadas y basadas en reglamentos o normas (Keipi et al., 2005).

Las listas propuestas son de un formato simple, el cual consta de categorías donde se describe el criterio a evaluar, luego se tienen tres casillas, la primera opción es "SÍ", esta se aplica cuando se cumple con el criterio de la norma, la segunda opción es "NO", esta aplica cuando no se cumple el apartado y por último se encuentra la opción "N/A", utilizada cuando no aplica el apartado analizado. Además, las mismas tienen como fin contextualizar de forma general o específica los distintos porcentajes de cumplimiento y así aportar en la toma de decisiones asertivas. A continuación, se describen las listas de verificación utilizadas en el presente proyecto:

- **Lista de verificación "Evaluación de la seguridad de las instalaciones y actividades"**

Esta lista de verificación está basada en la Norma N° GSR Parte 4 "Evaluación de la seguridad de las instalaciones y actividades" (ver Apéndice 7) y tiene como fin establecer los requisitos de aplicación general que deben cumplirse en la evaluación de la seguridad de las instalaciones y actividades, prestándole especial atención a los aspectos que abarcan la selección del emplazamiento, el diseño y el funcionamiento de la instalación. La evaluación de la seguridad se lleva

a cabo a lo largo de toda la vida de la instalación o de toda la actividad, para asegurar que el diseño previsto (o el real) cumpla todos los requisitos de seguridad pertinentes (OIEA, 2010). Por lo tanto, en el presente proyecto se utilizó esta lista de verificación para identificar los controles administrativos e ingenieriles en relación a los equipos Thermofisher, Valmet y Portaspec con los que cuenta la empresa actualmente.

- **Lista de verificación de políticas y objetivos**

Esta lista de verificación se basa en la Norma ISO 45001: "Sistemas de Gestión de la seguridad y salud en el trabajo" (ver Apéndice 8), específicamente en los apartados de política y objetivos. El fin de esta norma es proporcionar un marco de referencia para gestionar los riesgos y oportunidades para la seguridad y salud en el trabajo.

En el presente proyecto se utilizó esta herramienta para la recolección de datos, enfocada en los aspectos generales de la empresa (políticas, objetivos, recursos), con el fin de determinar el nivel de compromiso e involucramiento de la empresa con la seguridad y salud en el trabajo. Esta lista consta de dos apartados, el primero es la Política de seguridad y salud en el trabajo con 10 ítems, el segundo apartado corresponde a objetivos de seguridad y salud en el trabajo con 8 ítems y, por último, el apartado de planificación con 8 ítems.

- **Lista de verificación "Seguridad radiológica de las instalaciones de irradiación de rayos gamma, electrones y rayos x"**

Se diseñó una lista de verificación basada en la Norma N° SSG-8 "Seguridad radiológica de las instalaciones de irradiación de rayos gamma, electrones y rayos x" (ver Apéndice 8), la cual tiene como fin formular recomendaciones acerca de cómo cumplir los requisitos con respecto a las instalaciones de irradiación. Además, proporciona recomendaciones prácticas específicas sobre el diseño y el funcionamiento seguros de los irradiadores de rayos gamma, por haces de electrones y con rayos X, destinadas a las entidades explotadoras y los diseñadores de esas instalaciones, así como a los órganos reguladores (OIEA, 2015).

En el presente proyecto se utilizó esta lista de verificación para conocer acerca de las condiciones de las instalaciones, características de los equipos, mantenimiento de los equipos, medidas de control administrativas e ingenieriles y la existencia de procedimientos de trabajo. Esta lista está conformada por cuatro apartados y 26 ítems distribuidos entre los mismos.

- **Lista de verificación “Inspección de las fuentes de radiación y aplicación coercitiva”**

Esta lista de verificación está basada en la norma IAEA-TECDOC-1526 "Inspección de las fuentes de radiación y aplicación coercitiva" (ver Apéndice 10). Su propósito es facilitar enfoques prácticos de los procesos de inspección y aplicación de medidas coercitivas durante la utilización fuentes de radiación, que pueden tener necesidad de modernizar o tal vez de establecer programas nacionales de reglamentación de la seguridad radiológica para cumplir los requisitos de aplicación mundial (OIEA, 2010).

En el presente proyecto se utilizó esta lista de verificación para identificar el cumplimiento de la correcta aplicación de procedimientos de trabajo en la línea de galvanizado dos, línea de galvanizado tres y el laboratorio de control de calidad de la empresa. Esta lista contiene cinco apartados, los cuales son: inspección del equipo (4 ítems), procedimientos (9 ítems), medidas de control (8 ítems), formación del personal (3 ítems) y gestión de desechos radioactivos (1 ítem).

- **Lista de verificación “Distintivos para señalización de radiaciones ionizantes”**

Esta lista de verificación está basada en la norma INTE 31-07-01:2016 “Requisitos para la aplicación de colores y señalización de seguridad e higiene en los centros de trabajo” (ver apéndice 11), la cual tiene como fin determinar las características de los distintivos para señalización de zonas y materiales donde pueda existir riesgos derivados de las radiaciones ionizantes (UNE, 2018).

En el presente proyecto se utilizó esta lista de verificación para identificar la existencia de señalización en las dos líneas de galvanizado y el laboratorio de control de calidad de METALCO S.A. Está conformada por los apartados de señalización y etiquetado, con 12 ítems en total.

1.3 Encuesta higiénica

La encuesta higiénica es una herramienta utilizada para recopilar información de aquellos factores presentes en el ambiente laboral que pueden dañar la salud de los trabajadores (Naroki et al., 2009). En el presente estudio se utilizó esta herramienta con el fin de conocer características generales de la empresa, datos de los trabajadores (sexo, edad y actividad que realizan), la jornada laboral, el tiempo de exposición, descripción de los procedimientos de trabajo, identificación de las fuentes radioactivas y equipos utilizados, orden y limpieza de las líneas de galvanizado y el laboratorio de control de calidad, mantenimiento de los equipos, dispositivos de seguridad radiológica, áreas de señalización, equipo de protección personal, medidas de control (ingenieril y administrativas), dosimetrías realizadas, vigilancia médica y desechos.

La encuesta higiénica (ver Apéndice 12) consta de 14 categorías, donde se describe el criterio a evaluar, luego se tienen tres casillas, la primera opción es “SÍ”, esta se aplica cuando se cumple con el criterio de la norma, la segunda opción es “NO”, esta aplica cuando no se cumple el apartado. Además, cuenta con casillas para poder anotar observaciones o bien describir mejor el apartado en evaluación.

1.4 Encuesta a los trabajadores de las líneas de galvanizado

La encuesta es una herramienta utilizada para obtener o contrastar información (Martin, 2011); en el presente estudio se utilizó para conocer las características del personal expuesto a las radiaciones ionizantes, como, por ejemplo: la jornada laboral, su respectivo tiempo de exposición, si han recibido capacitación, cumplimiento de parte de la empresa en relación a las condiciones de trabajo seguras, conocimiento sobre las radiaciones ionizantes y las condiciones

de riesgo que estas conllevan. Toda esta información es valiosa para relacionar posibles efectos a la salud y para la propuesta de medidas y controles.

La encuesta (ver Apéndice 13) consta de algunas categorías donde se describe el criterio a evaluar, luego se tienen tres casillas, la primera opción es “Sí”, esta se aplica cuando se cumple con el criterio de la norma, la segunda opción es “NO”, esta aplica cuando no se cumple el apartado. También se cuenta con preguntas de selección múltiple.

2. Fase de evaluación de la exposición a radiaciones ionizantes

2.1 Informes de dosimetría ambiental

La dosimetría ambiental es una herramienta que se utiliza para medir los niveles de radiación ionizante en el ambiente (Cherry, 2010). En el presente proyecto se contó con los informes de las dosimetrías ambientales mensuales brindados por la empresa Proxtronics CR con el fin de conocer los niveles de radiación (mSv/año). Estos informes son brindados por medio de una base de datos, en los cuales aparecen los resultados obtenidos tanto para la superficie, como el cristalino y cuerpo. A continuación, se detalla información relevante de los equipos para este apartado:

- **Valmet:** Localizado en la línea de galvanizado dos, este equipo ingresó en el año 1994, por lo que para el presente proyecto se utilizaron las dosimetrías ambientales mensuales a partir de enero del 2015 hasta agosto del 2020.
- **Thermofisher:** Localizado en la línea de galvanizado tres, este equipo ingresó en julio del año 2018, por lo que para el presente proyecto se utilizaron los informes de las dosimetrías ambientales mensuales a partir de agosto del 2018 hasta agosto del 2020.
- **Portaspec:** Localizado en laboratorio de control de calidad, este equipo ingresó en julio del año 2018, por lo que para el presente proyecto se utilizaron los informes de las dosimetrías ambientales mensuales a partir de agosto del 2018 hasta agosto del 2020.

Por una solicitud de confidencialidad por parte de la empresa estos informes de dosimetría ambiental no serán adjuntados en este documento.

2.2 Informe de dosimetría de área

La dosimetría de área es una herramienta que se utiliza para la estimación de las dosis en lugares o zonas donde puedan acceder o permanecer trabajadores durante exposiciones a radiaciones ionizantes (Cherry, 2010). En el presente estudio se utilizó el informe anual con los resultados de la dosimetría de área brindado por Inversiones e Importaciones Colé S.A. con el fin de determinar los niveles de radiación ionizante emitidos por los equipos Thermofisher, Portaspec y Valmet en las zonas restringidas de las líneas de galvanizado dos y tres y el laboratorio de control de calidad. A continuación, se detalla información relevante para los equipos anteriormente mencionados:

- **Valmet:** Localizado en la línea de galvanizado dos, este equipo ingresó en el año 1994, por lo que para el presente proyecto se utilizaron las dosimetrías de área anual a partir del año 2015 hasta el año 2020.
- **Thermofisher:** Localizado en la línea de galvanizado tres, este equipo ingresó en julio del año 2018, por lo que para el presente proyecto se utilizaron los informes de las dosimetrías de área anual a partir del 2018 hasta el año 2020.
- **Portaspec:** Localizado en laboratorio de control de calidad, este equipo ingresó en julio del año 2018, por lo que para el presente proyecto se utilizaron los informes de las dosimetrías de área anual a partir del año 2018 hasta el año 2020.

Por una solicitud de confidencialidad por parte de la empresa los informes de dosimetría de área no serán adjuntados en este documento.

2.3 Matriz comparativa contra los requisitos del Decreto N° 24037-S

Una matriz comparativa es una tabla que muestra información comparativa de las características de una misma categoría (Liñan, 2008). En el presente

proyecto se utilizó esta herramienta con el fin de comparar los niveles reportados en los informes de dosimetría ambiental, contra los niveles mSv/año indicados en el decreto N° 24037-S, para esta comparación se utilizaron los informes de dosimetría ambiental del equipo Valmet a partir de enero del 2015 hasta agosto 2020, del equipo Thermofisher a partir de agosto del 2018 hasta agosto 2020 y del equipo Portaspec a partir de agosto del 2018 hasta agosto del 2020.

Además, se realizó la comparación de la dosis efectiva para cuerpo entero de los informes de la dosimetría de área contra el valor de dosis efectiva para cuerpo entero indicado en el Decreto N° 24037-S, con la diferencia de que los informes utilizados son anuales, iniciando para el equipo Valmet a partir del año 2015 hasta el año 2020, para el equipo Thermofisher a partir del año 2018 hasta el año 2020 y el equipo Portaspec a partir del año 2018 hasta el año 2020.

3. Fase de diseño de medidas de control

A continuación, se describen las herramientas utilizadas para el diseño de las medidas de control tanto ingenieriles como administrativas para los equipos Valmet, Thermofisher y Portaspec.

3.1 Matriz de cumplimiento basada en la norma N° SSG-11 "Seguridad radiológica en la radiografía industrial"

Para lograr determinar el grado de cumplimiento de la propuesta del sistema de protección para las fuentes radioactivas, se utilizó una matriz de cumplimiento basada en la norma N° SSG-11 "Seguridad radiológica en la radiografía industrial". Esta matriz (ver apéndice 13) tiene como fin especificar los requisitos básicos para la protección de las personas contra la radio exposición y para la seguridad de las fuentes de radiación ionizante. La aplicación de estos requisitos ayuda a asegurar que las dosis se mantengan en el nivel más bajo que pueda razonablemente alcanzarse, y contribuye a prevenir incidentes o mitigar sus consecuencias (OIEA, 2013).

Esta matriz consta de una columna con especificaciones indicadas en la norma para la protección contra las radiaciones ionizantes, de manera horizontal se establece una fila con una casilla de “Sí” en caso de que se cumpla con el apartado y “No” en caso de que el diseño propuesto no cumpla con las especificaciones descritas en la misma.

3.2 Matriz comparativa de propuestas de control ingenieril

Una matriz comparativa es una tabla que muestra información comparativa de características de una misma categoría (Liñan, 2008). En este apartado se utiliza la misma para determinar el tiempo de implementación del control propuesto, los recursos requeridos (humanos, económicos y tecnológicos) y la viabilidad (económica, operativa y de seguridad laboral) con el fin de seleccionar la propuesta que mejor se adapte a las necesidades de la empresa. Esta matriz contará en una columna con los apartados anteriormente mencionados, mientras en una fila se colocarán los nombres de los tres diseños con dos casillas debajo con la leyenda “contenido” y “No contenido”.

3.3 Estructura de la propuesta de solución

Con el fin de determinar cantidad de partes que incluye el programa de protección radiológica se utilizó como referencia la estructura propuesta en la Norma N° SSG-8 "Seguridad radiológica de las instalaciones de irradiación de rayos gamma, electrones y rayos x", esto evitó que se omitieran apartados y sirvió de guía en la conformación del Programa de Protección Radiológica.

3.4 Matriz RACI

Una matriz de asignación de responsabilidades permite determinar los roles que tienen las personas que participan en un proyecto, así como las responsabilidades que le son conferidas (Figuerola, 2012). La matriz RACI se usó para asignar roles a quienes ejecutan los diferentes apartados del Programa de Protección Radiológica propuesto. De esta manera, se logra que las actividades planteadas sean desarrolladas por los involucrados.

3.5 Cuadro de capacitación

Para cumplir con la cantidad de capacitaciones a realizar durante la implementación del Programa de Protección Radiológica se diseñó un cuadro de capacitaciones. El mismo está compuesto con el tema por abarcar, materiales requeridos, equipos, fechas tentativas de aplicación y el tema correspondiente a brindar en dicha sesión.

3.6 Cronograma de actividades del Programa de Protección Radiológica

Para establecer de manera gráfica una estimación del tiempo requerido para la ejecución de las actividades de implementación del Programa de Protección Radiológica se utilizó un cuadro con fechas tentativas durante el año para el cumplimiento de estas mediante la Microsoft Excel.

F. Plan de análisis

Con el fin de describir el uso de las herramientas descritas en el apartado anterior, se detalla a continuación la correcta utilización de las herramientas y el respectivo tratamiento de los resultados obtenidos para alcanzar los objetivos propuestos (ver Figura 3).

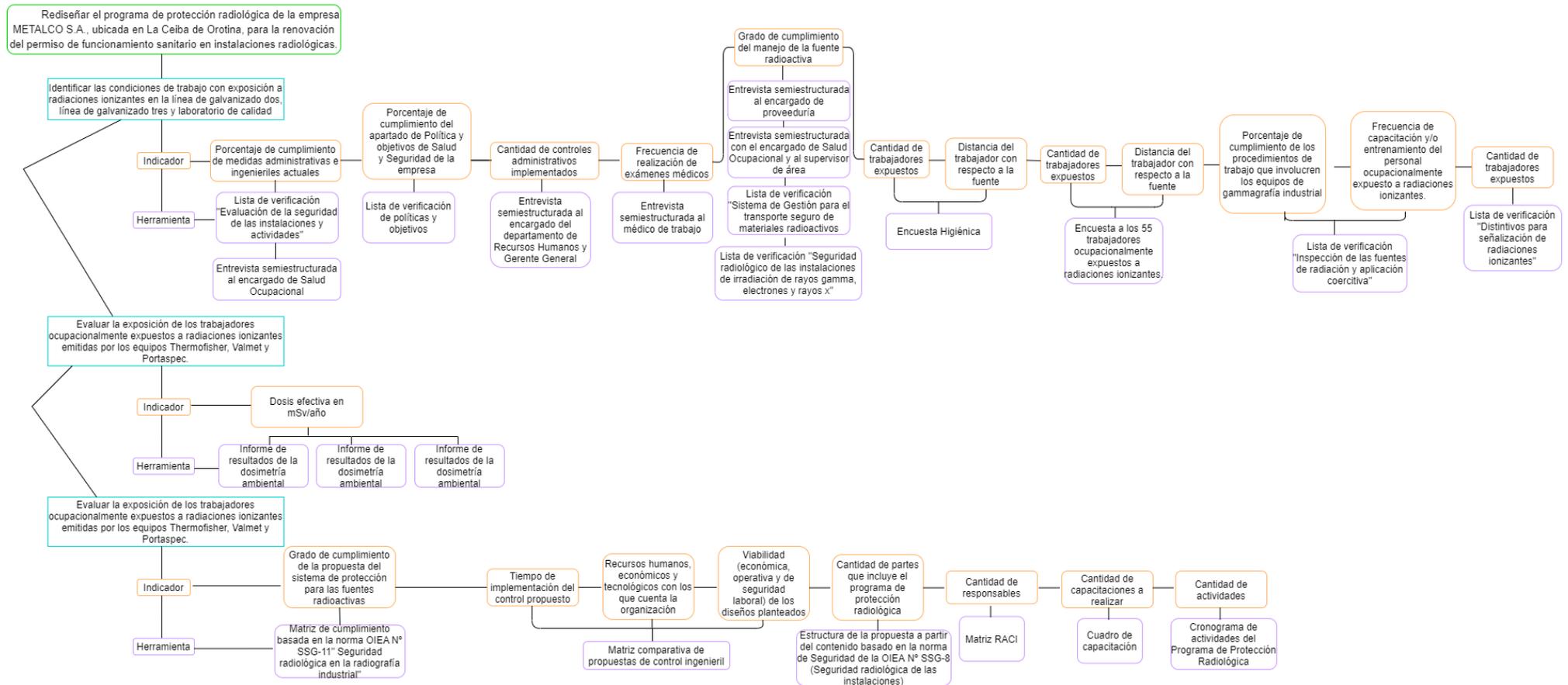


Figura 3. Plan de análisis

1. Fase de diagnóstico para la identificación de condiciones de trabajo

Para lograr el cumplimiento del primer objetivo, se realizó una recopilación general de datos relacionados con el programa de protección radiológica del año 2015, esto con el fin de conocer la actualidad de la empresa y detectar las oportunidades de mejora que fueron incorporadas en el rediseño del Programa de Protección Radiológica. Es por esta razón, que la mayoría de las herramientas utilizadas para este objetivo permitieron identificar las condiciones de trabajo actuales en las líneas de galvanizado dos y tres y el laboratorio de calidad.

Como primer paso se aplicó una encuesta higiénica, que permitió conocer acerca de la cantidad de trabajadores expuestos y las distancias de los mismos con respecto a la fuente, además, se obtuvieron datos de los trabajadores (sexo, edad, actividad que realizan), la jornada laboral, el tiempo de exposición que tienen con los equipos, la descripción de los procedimientos de trabajo, identificación de las fuentes radioactivas y equipos utilizados, orden y limpieza de las líneas de galvanizado, mantenimiento de los equipos, dispositivos de seguridad radiológica, áreas de señalización, equipo de protección personal, medidas de control (ingenieril y administrativas), dosimetrías realizadas, vigilancia médica y desechos de las fuentes radioactivas.

Posteriormente, se inició con la identificación de las medidas administrativas e ingenieriles actuales para las líneas de galvanizado dos y tres y el laboratorio de control de calidad, esto se logró por medio de una lista de verificación basada en la norma de seguridad del OIEA N° GSR Parte 4 "Evaluación de la seguridad de las instalaciones y actividades". Así mismo se codificaron las respuestas con el fin de obtener el porcentaje de cumplimiento, posteriormente se utilizó Microsoft Excel para tabular los resultados mediante tablas dinámicas y diseñar gráficos de bloques para una mejor comprensión, este procedimiento se aplicó para todas las listas de verificación aplicadas en el presente proyecto.

En adición a lo anterior, se complementó esta lista de verificación con una entrevista semiestructurada al encargado de Salud Ocupacional, para obtener una mejor explicación acerca de los controles existentes en relación a los equipos

Thermofisher, Valmet y Portaspec. También se realizaron entrevistas al encargado del Departamento de Recursos Humanos y al Gerente General para determinar la cantidad de controles administrativos implementados por la empresa, y al médico de trabajo para conocer la frecuencia de realización de exámenes médicos al personal ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes.

Para determinar los aspectos generales de la política y objetivos en salud y seguridad ocupacional se utilizó una lista de verificación basada en la ISO 45001, con el fin de identificar el alcance de estos aspectos en relación a las radiaciones ionizantes. Conociendo el porcentaje de cumplimiento de ambos apartados con respecto a la lista de verificación, se determinará si se deben realizar modificaciones tanto a la política como a los objetivos en Seguridad y Salud.

Para conocer el grado de cumplimiento del manejo seguro de la fuente fue importante conocer cómo es el proceso de gestión de la fuente radioactiva actual, esto involucra desde la compra del equipo hasta su correcto desecho. Para identificar los aspectos considerados en la compra de los equipos con fuente radioactiva se realizó una entrevista al encargado de Proveeduría, el cual realiza las compras de los nuevos equipos. Además, se efectuó una revisión de las fichas técnicas de los equipos Portaspec y Thermofisher, con la finalidad de conocer cómo están conformados, su forma de operar, los sistemas de protección que tienen y el tipo de fuente radioactiva.

Continuando con el apartado de transporte, se utilizó una lista de verificación para conocer el grado de cumplimiento en relación con la norma de seguridad del OIEA N° TS-G-1.4 "Sistema de gestión para el transporte seguro de materiales radiactivos" y adicionalmente se aplicó una entrevista semiestructurada al encargado de Salud Ocupacional con el fin de identificar las condiciones del transporte de la fuente radioactiva.

Para el grado de cumplimiento en los procedimientos de la colocación, el almacenamiento y puesta en marcha de los equipos emisores de fuentes radioactivas se utilizó una lista de verificación basada en la norma de seguridad del OIEA N° SSG-8 "Seguridad radiológica de las instalaciones de irradiación de rayos

gamma, electrones y rayos x", identificando así puntos de mejora en dichos procedimientos.

Abarcando el apartado de desecho de la fuente radioactiva, se realizó una identificación de los protocolos que tiene la empresa para el manejo de los desechos radioactivos, esto se dio por medio de una lista de verificación basada en la norma de seguridad del OIEA N° SSG-8 "Seguridad radiológica de las instalaciones de irradiación de rayos gamma, electrones y rayos x" y se entrevistó al encargado de Salud Ocupacional para complementar esta información.

Los aspectos generales del entorno laboral también se identificaron por medio de una lista de verificación basada en la norma IAEA-TECDOC-1526 "Inspección de las fuentes de radiación y aplicación coercitiva", esto permitió conocer el grado de cumplimiento de los procedimientos de trabajo en la línea de galvanizado dos, línea de galvanizado tres y el laboratorio de control de calidad de la empresa y la frecuencia de capacitación del personal ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes.

Por último, para identificar la existencia y cumplimiento de la correcta señalización de la línea de galvanizado dos, línea de galvanizado tres y el laboratorio de control de calidad, se realizó una lista de verificación basada en la INTE 31-07-01 esto permitió el hallazgo de oportunidades de mejora para las mismas.

La información obtenida en esta sección permitió identificar los puntos de mejora a nivel de controles administrativos e ingenieriles, además se logró detectar algunas inconformidades según los reglamentos de la OIEA y el Decreto N° 24037-S que serán incorporadas en el rediseño de Programa de Protección Radiológica.

2. Fase de evaluación de la exposición a radiaciones ionizantes

Este objetivo tiene como finalidad conocer los niveles de exposición a radiaciones ionizantes, para esto, se accedió a los informes de las dosimetrías ambientales realizadas por la empresa Proxtronix CR, desde el año 2015 hasta la última evaluación efectuada en agosto del 2020. Los informes de las dosimetrías

ambientales fueron obtenidas gracias al software ProXdos TM, en el cual se encuentran los informes mensuales de los tres equipos.

Con respecto a los informes de resultados de las dosimetrías de área, estas fueron ejecutadas por la empresa Inversiones e Importaciones Colé S.A. en las mismas fechas, las mismas son realizadas de manera anual.

Posteriormente, para la dosimetría ambiental se tomó la dosis efectiva máxima reportada y la dosis efectiva mínima reportada desde enero del 2015 hasta agosto del 2020 para el equipo Valmet, con respecto a los equipos Thermofisher y Portaspec, se obtuvieron de igual manera la dosis máxima y mínima reportada, pero a partir de agosto del 2018 hasta agosto del 2020. Estos valores fueron comparados mediante una matriz comparativa con la dosis máxima permitida para cuerpo entero, superficie y cristalino establecidos en el Decreto N° 24037-S, con el fin de conocer si estos valores sobrepasan lo indicado en Decreto anteriormente mencionado.

3. Fase de diseño de medidas de control

Este objetivo tiene como fin diseñar las medidas de control ingenieriles y administrativas para los equipos Thermofisher, Valmet y Portaspec en las líneas de galvanizado dos y tres y el laboratorio de control de calidad, para el diseño de los controles ingenieriles y el rediseño del Programa de Protección Radiológica se tomó como referencia el Decreto N°24037-S y las normas del OIEA que se detallan en este apartado.

Para las propuestas de diseño de los controles ingenieriles se determinó el grado de cumplimiento del sistema de protección de las fuentes radioactivas, mediante una matriz de cumplimiento basada en la norma de seguridad del OIEA N° SSG-11 “Seguridad radiológica en la radiografía industrial”, que permitió revisar que los diseños estén en línea contra lo que indica dicha normativa.

Con el fin de seleccionar una de las propuestas de diseño para el control de las fuentes radioactivas se utilizó una matriz comparativa en donde se evaluaron aspectos como: el tiempo de implementación del control propuesto, los recursos

requeridos en cada diseño (humano, económico y tecnológico) y la viabilidad económica, operativa y de seguridad, con base en los resultados obtenidos en los apartados anteriormente mencionados se eligió la mejor propuesta de diseño.

Por último, para el diseño de los controles administrativos se tomó en consideración la cantidad de partes que incluye el Programa de Protección Radiológica, utilizando la estructura propuesta en la norma OIEA “Seguridad radiológica de las instalaciones de irradiación de rayos gamma, electrones y rayos x”.

Para asignar las distintas actividades por realizar dentro del Programa de Protección Radiológica y quién estaba a cargo de estas, se utilizó una matriz RACI para una mejor comprensión y distribución de estas. Con relación a la cantidad de capacitaciones a realizar, se utilizó un cuadro de capacitación donde se incluyó el tema por tratar, el responsable y los materiales que se requieren. Con respecto a la cantidad de actividades por realizar, se utilizó un cronograma de actividades del Programa de Protección Radiológica, que permitió tener un mejor control y distribución de los temas relacionados con aspectos físicos de la Radiación ionizante, efectos a la salud, procedimientos de trabajo y responsabilidades indicadas en el Decreto N°24037-S.

IV. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

A. Identificación de las condiciones de trabajo con exposición a radiaciones ionizantes

A continuación, se describen los principales hallazgos encontrados después de la aplicación de las herramientas propuestas para el cumplimiento del primer objetivo.

1. Encuesta higiénica y entrevista al encargado de Salud Ocupacional

A partir de la encuesta higiénica, se logró identificar la cantidad de trabajadores expuestos a las radiaciones ionizantes: en la línea de galvanizado dos laboran 20 personas, en la línea de galvanizado tres laboran 20 personas y en el laboratorio de control de calidad laboran 15 personas; con un rango de edad que va desde los 23 años hasta los 55 años. Además, dentro de estas áreas se encuentran cuatro puestos relacionados con los equipos Thermofisher, Valmet y Portaspec, los cuales corresponden a operadores, ajustadores (panelistas), personal de mantenimiento y de limpieza.

También se obtuvo que, de los 55 trabajadores el 98 % son hombres, esto debido al tipo de labor que se desarrolla, el 2 % restante corresponde a mujeres que trabajan en el laboratorio de control de calidad, razón por la cual la empresa cuenta con un protocolo para la protección radiológica de mujeres embarazadas. El proceso productivo dentro de las líneas de galvanizado dos y tres es realizado durante los siete días de la semana. Además, los turnos de trabajo son rotativos, eso sí, ninguno supera las 8 horas laborales.

En relación con la existencia de procedimientos de trabajo, en el último Programa de Protección Radiológica del año 2015 se incluyen solamente los procedimientos de trabajo del equipo Valmet, ya que este fue incorporado en el año 1994, a diferencia de los equipos Thermofisher y Portaspec, que ingresaron en el año 2018; actualmente estos últimos dos equipos cuentan con procedimientos de trabajo que involucran inspecciones antes y después de su utilización.

Se logró identificar el isótopo con el cual funciona el equipo Valmet, este es el único que utiliza dos pastillas de Americio 241, que tienen una vida media de 432 años (ATSDR, 2004). Por otra parte, los equipos Thermofisher y Portaspec tienen un funcionamiento de principio electrónico (utilizado para rayos X) con una vida media de 15 años. Actualmente, el Programa de Protección Radiológica no cuenta con un procedimiento para la correcta gestión de los desechos radioactivos para ninguno de los tres equipos.

Además, cabe destacar que en el año 2018 se le realizó al equipo Valmet un *up break*, el cual dejó de lado el funcionamiento analógico para pasar a un funcionamiento digital y se le realizó un blindaje en las pastillas de Americio 241 como medida de seguridad para la radiación ionizante.

Como parte de los procesos de limpieza en las áreas donde se encuentran los equipos, se permite el ingreso de personal de limpieza únicamente cuando los mismos están apagados, este proceso se realiza durante la mañana y la tarde, con una duración máxima de 20 minutos.

Por otra parte, en relación con el mantenimiento de los equipos de radiaciones ionizantes, se obtuvo que existen procedimientos de mantenimiento que se manejan por medio del sistema SAP, el cual realiza una ruta de inspección preventiva cada mes. El encargado de llevar a cabo el mantenimiento es el ingeniero en Mantenimiento Industrial de la empresa, quien efectúa los registros de las pruebas y controles ejecutados y completa las bitácoras del mantenimiento correctivo, en caso de que se realicen.

Se identificó que existen distintos dispositivos de seguridad para cada equipo, los cuales se detallan en la siguiente tabla:

Cuadro 3. Descripción de los dispositivos de seguridad radiológica por equipo

Equipo	Dispositivo	Descripción	Localización
Thermofisher	Barrera física	Obstáculo o cerca que impide el acceso al área donde se localiza el equipo.	Línea de galvanizado tres
	Luces de acceso	Dispositivo de señalización luminosa que regula la entrada al área donde se ubica el equipo y consta de tres luces (roja, amarilla y verde).	Línea de galvanizado tres
Valmet	Blindaje	Cubierta resistente de metal que sirve para evitar el paso de las radiaciones ionizantes.	Línea de galvanizado dos
	Barrera física	Obstáculo o cerca que impide el acceso al área donde se localiza el equipo.	Línea de galvanizado dos
	Luces de acceso	Dispositivo de señalización luminosa que regula la entrada al área donde se ubica el equipo y consta de tres luces (roja, amarilla y verde).	Línea de galvanizado dos
Portaspec	Barrera física	Obstáculo o cerca que impide el acceso al área donde se localiza el equipo.	Laboratorio de control de calidad
	Luces de acceso	Dispositivo de señalización luminosa que regula la entrada al área donde se ubica el equipo y consta de tres luces (roja, amarilla y verde).	Laboratorio de control de calidad

Como se puede observar en el cuadro anterior, todos los equipos cuentan con dispositivos de seguridad, más existe la necesidad de sustituir la barrera física de los tres porque ésta tiene una altura de 90 cm, lo cual hace que sea sencilla de superar por parte de los operarios, además que cuenta con un picaporte que puede ser manipulado fácilmente por el personal.

Adicionalmente, se determinó la existencia de la señalización de tipo informativa y preventiva (ver apéndice 14) en las tres áreas en estudio, las cuales contienen un encabezado en anaranjado con el fondo negro, un pictograma de radiaciones ionizantes en color amarillo con negro y un texto de seguridad complementaria con las letras de color negro con el fondo blanco.

En referencia al equipo de protección personal utilizado por los operarios se encuentran taponos auditivos, cubre bocas, guantes de cuero anti-cortaduras, anteojos de protección, pantallas faciales y overoles de algodón térmico. Todo el equipo mencionado anteriormente no es de utilidad para la protección contra las radiaciones ionizantes, pero sí para otros riesgos presentes en el proceso

productivo como lo son el ruido, agentes biológicos, agentes químicos, partículas proyectadas y cortaduras.

La vigilancia médica es fundamental para el control de las radiaciones ionizantes; por lo tanto, en METALCO S.A. se cuenta con un Consultorio Médico, cuyos servicios son atendidos por medio de consultoría por parte de la empresa Sermed S.A., la misma realiza exámenes pre-empleo y exámenes periódicos para verificar que las radiaciones ionizantes no estén afectando la salud de los operarios. Cabe destacar que los resultados de los exámenes son comunicados a los trabajadores y hasta el momento no se han presentado casos relacionados a exposición a radiaciones ionizantes.

Por último, a nivel de desechos radioactivos la empresa actualmente no genera estos, debido a que el único desecho que se puede producir es la pastilla de Americio 241 correspondiente al equipo Valmet, la cual como se mencionó anteriormente, tiene una vida media de 432 años, siendo así un desecho que se originará a largo plazo.

2. Entrevista a los trabajadores

La entrevista aplicada al personal de la línea de galvanizado dos, línea de galvanizado tres y el laboratorio de control de calidad fue de gran relevancia en el presente proyecto, ya que se logró conocer y confirmar ciertas variables, tales como: los rangos de edad de los operarios, el departamento al que pertenecen (limpieza, mantenimiento u operario), el tiempo de laborar en el área de trabajo, la sección a la cual pertenecen (entrada, logística, embalaje, potes y salida) y las medidas actuales implementadas por la empresa para la mitigación de las radiaciones ionizantes.

Se obtuvo que el personal ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes está seccionado mayoritariamente en dos rangos de edades: el primer bloque tiene un rango de edad de 20 a 40 años, representando un 40 % de la población; el segundo bloque tiene un rango de edad de 41 a 50 años, representando un 40 % de la población; y, por último, el tercer bloque tiene un rango de edad de 51 a 71 años, que representa a un 20 % de la población en estudio.

Además, el nivel mínimo de escolaridad de la población es el sexto grado de escuela. Todos estos datos son relevantes al momento de planificar las capacitaciones, ya que determina la metodología y el nivel de vocabulario a utilizar para que el mensaje que se vaya a transmitir sea recibido por el personal de forma efectiva.

Por otra parte, se obtuvo el tiempo de laborar en las áreas de trabajo mencionadas anteriormente de todo el personal ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes, los resultados se muestran en la siguiente figura.

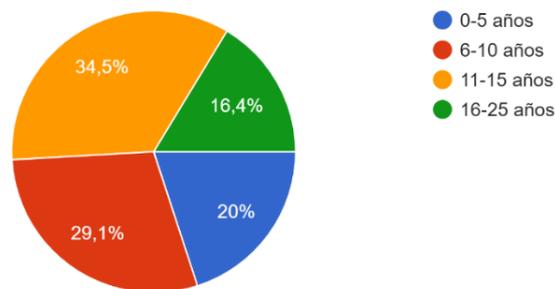


Figura 4. Tiempo de laborar en el área de trabajo de las 55 personas ocupacionalmente expuestas a radiaciones ionizantes

A partir de la figura 4, se pudo identificar que el 83.6 % de los operarios ocupacionalmente expuestos tienen más de 5 años de laborar en las líneas de galvanizado dos y tres y el laboratorio de control de calidad. Por tanto, es un personal que tiene conocimientos sobre las radiaciones ionizantes, sus efectos y los equipos que emiten las radiaciones ionizantes, ya que cada dos años deben realizar exámenes sobre estos temas y aprobarlos con nota mínima de 80, para posteriormente ser reportados ante el Ministerio de Salud.

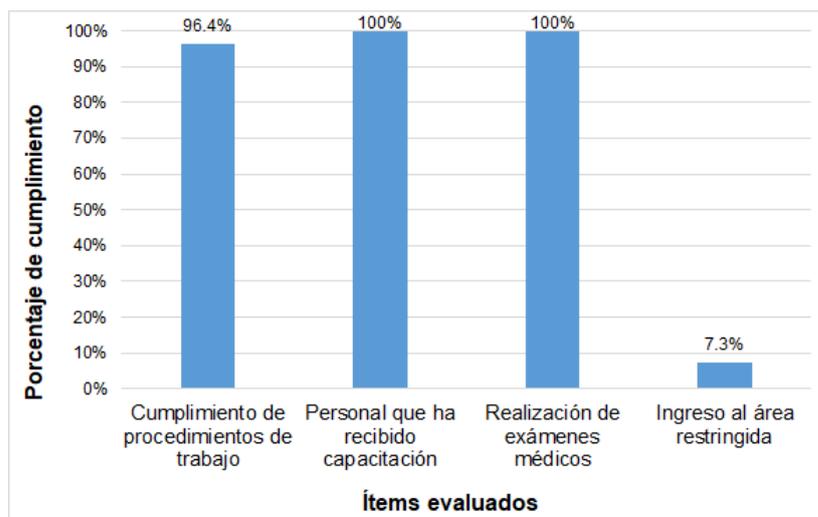


Figura 5. Porcentaje de cumplimiento de los ítems evaluados durante la entrevista a los trabajadores

Por último, en la figura 5 se observa que el 96.4 % de los operarios entrevistados indicaron que cumplen con los procedimientos de trabajo establecidos; el 100 % ha recibido capacitación referente al riesgo que implica la exposición a radiaciones ionizantes y sus efectos a la salud; y el 100 % se han realizado exámenes médicos en los últimos seis meses. Además, el 7.3 % de los entrevistados indicaron que ingresan al menos una vez a la semana al área controlada, permaneciendo en la misma máximo 10 minutos.

3. Lista de verificación de la seguridad de las instalaciones y actividades

De acuerdo con los resultados de la lista de verificación de la seguridad de las instalaciones y actividades, se obtuvo un cumplimiento general del 96.33 %. Los apartados evaluados fueron protocolos de emergencia, las medidas de control administrativas e ingenieriles y la evaluación de la seguridad de las instalaciones y los equipos emisores de radiación ionizante. En la siguiente figura se detallan los porcentajes de cumplimiento por apartado.

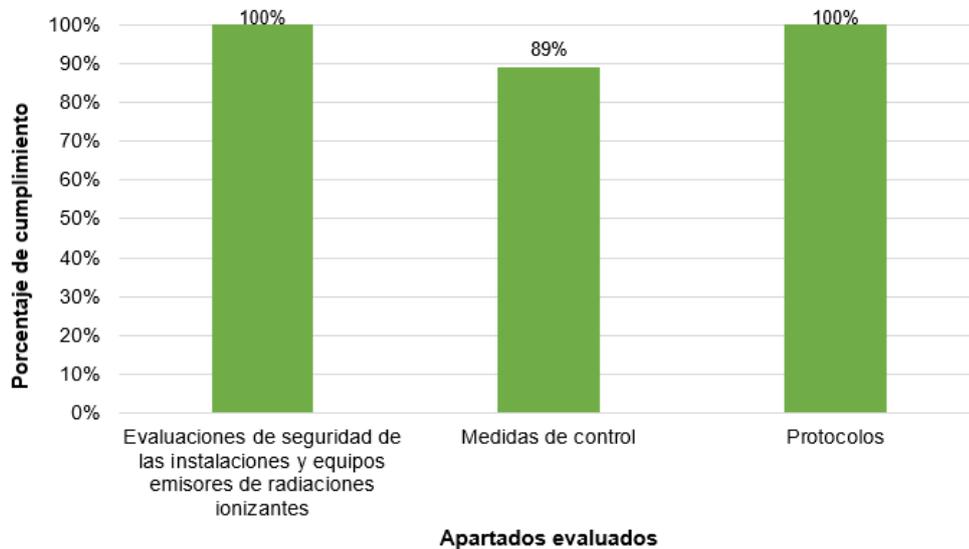


Figura 6. Porcentaje de cumplimiento de los apartados de la lista de verificación de la seguridad de las instalaciones y actividades

Para el apartado de “Evaluaciones de seguridad de las instalaciones y los equipos de radiaciones ionizantes” existe un cumplimiento del 100% de los requisitos indicados en la normativa, dentro de los requisitos aprobados resalta las evaluaciones realizadas mensualmente por el Responsable de Protección Radiológica en relación a la seguridad y riesgos radiológicos asociados a los equipos emisores de radiación ionizante y sus actividades.

A nivel de protocolos de emergencia y procedimientos para la evaluación de las instalaciones, METALCO S.A. cumple con la asignación de responsabilidades, organización y capacitación del personal, coordinación, procedimientos, equipos e instalaciones y simulacros, según lo indicado en la norma del OIEA N° GSR Parte 4.

Por último, en el apartado de medidas de control ingenieril y administrativo, existe un cumplimiento del 89%, esto se debe a que, si bien los tres equipos cuentan con barreras físicas (Barandas de 1.10 m), estas no son las indicadas en la normativa, la cual menciona que los equipos emisores de radiación ionizante

deben contar con un sistema de enclavamiento con bloqueo de interruptores, siendo fundamental, ya que le permite a la empresa asegurarse de que el personal de la planta no ingrese sin autorización a la zona controlada.

4. Entrevista al encargado de Salud Ocupacional

La entrevista realizada al encargado de Salud Ocupacional permitió obtener información en relación a las capacitaciones recibidas por el personal sobre las radiaciones ionizantes, las cuales se realizan cada dos años a todo el personal. Los temas tratados son: los principios básicos de las radiaciones ionizantes, equipos de protección personal, afectaciones en la salud y formas de prevención, protocolos a seguir en caso de emergencia radiológica, entre otros. Además, el encargado de Salud Ocupacional es el Responsable de Protección Radiológica, contando con más de ocho años de experiencia en este cargo y anualmente recibe capacitaciones de 80 horas en temas relacionados a Radiaciones Ionizantes por parte del Ministerio de Salud.

También se obtuvo información sobre los controles administrativos e ingenieriles de las radiaciones ionizantes emitidas por los equipos, dentro de los cuales mencionó: señalización, procedimientos de trabajo, barreras físicas, luces de control de acceso, capacitaciones, rotación del personal y exámenes médicos. Algunas de medidas fueron revisadas mediante la lista de verificación basada en la norma de seguridad del OIEA N° GSR Parte 4 "Evaluación de la seguridad de las instalaciones y actividades" con el fin de determinar si cumplen con los requerimientos establecidos en dicha norma.

Por otra parte, mencionó que METALCO S.A. no frecuenta transportar materiales radioactivos; cuando es requerido incluir dentro de la empresa algún equipo que contenga una fuente radioactiva, se coordina con el proveedor para que el mismo sea el responsable del transporte e instalación del equipo, más no existen procedimientos para la evaluación del cumplimiento por parte del proveedor contra lo que indica el Decreto N° 24037-S para dicha actividad.

5. Entrevistas a otros funcionarios

La vigilancia radiológica de los puestos está a cargo del médico de trabajo, quien aseguró que anualmente se realizan exámenes médicos a todos los trabajadores ocupacionalmente expuestos a radiaciones ionizantes. Los resultados son comunicados a cada trabajador, son archivados y registrados desde el año 2004 en una plantilla con la finalidad de manejar un control de los análisis de laboratorio. De momento, METALCO S.A. no ha presentado ningún operario con problemas a la salud asociados a las radiaciones ionizantes.

Es importante mencionar que, según los resultados obtenidos por el Departamento de Recursos Humanos, antes de realizar cualquier contratación se solicita exámenes pre-empleo, con el fin de comprobar que los trabajadores no presenten alguna patología que pueda afectar la realización de las actividades laborales.

Por otra parte, se debe recalcar que se ha trabajado en la implementación de una cultura preventiva dentro de la organización, esto se refleja en la frecuencia de inducciones (para el personal nuevo) y capacitaciones (anuales en su mayoría) sobre los riesgos al trabajo por parte del Departamento de Recursos Humanos en conjunto con el Departamento de Salud Ocupacional. Un indicador de dicha labor es que desde el año 2004 no se ha recibido ninguna incapacidad relacionada con efectos a la salud por causa de las radiaciones ionizantes, lo cual hace ver que se ha trabajado en las medidas de seguridad de las líneas de galvanizado y el laboratorio de control de calidad, además de los procedimientos de trabajo seguros establecidos.

Asimismo, el compromiso de la alta gerencia es importante para el Programa de Protección Radiológica, por lo que contar con su respaldo se vuelve vital en la consecución de los objetivos del mismo. A partir de la entrevista realizada al Gerente General, se confirmó que a lo interno de la empresa existe un compromiso y una responsabilidad en relación a la seguridad de sus operadores, esto se ve reflejado en la existencia de las políticas de salud y seguridad de la organización; además, indicó que existe un porcentaje anual del presupuesto de la organización

que está destinado para la capacitación de los trabajadores ocupacionalmente expuestos a radiaciones ionizantes, este es de un 4 % del mismo.

Por último, cuando METALCO S.A. realiza la compra de un equipo emisor de radiaciones ionizantes contempla características como la potencia, el mantenimiento del equipo, la vida útil de mismo y el costo. Al momento de realizar la compra, se verifica que el transporte e instalación del mismo esté a cargo del proveedor, esto con el fin de cumplir con los requisitos que indica el Decreto N° 24037-S en cuanto a transporte. Además, no se contempla la gestión del desecho de la fuente radioactiva del equipo adquirido, ya que se basan en la vida media de la misma, más se debe establecer procedimientos para la correcta gestión del desecho radioactivo.

6. Lista de verificación de distintivos de señalización de radiaciones ionizantes

Al aplicar la lista de verificación basada en la UNE 73302 “Distintivos para la señalización de radiaciones ionizantes”, se obtuvo en el apartado de señalización un cumplimiento del 67 %, ya que la zona controlada no cuenta con los requisitos de señalización indicados en la norma UNE 73302 y en la INTE-31-07-01:2016 para el de riesgo de irradiación externa. Actualmente, la señalización de la empresa cuenta con un encabezado con la leyenda “Advertencia”, la cual es correcta, pero incumple con el color de fondo y le falta el pictograma de advertencia, además incumple con el panel del pictograma y el texto complementario.

Por otro lado, en el apartado de etiquetado existe un cumplimiento del 100 %, dado que los equipos que contienen fuentes de radiación se encuentran correctamente etiquetados y de manera visible. Lo anterior, evidencia el compromiso de METALCO S.A. de cumplir con lo estipulado en el Decreto N° 24037-S.

7. Lista de verificación basada en la ISO 45 001 para el apartado de política y objetivos de seguridad y salud en el trabajo

Posterior a la aplicación de la lista de verificación basada en la ISO 45001 del año 2018 para el apartado de política y objetivos de seguridad y salud en el trabajo se obtuvo que el grado de cumplimiento general alcanzado es del 98 %, lo cual indica que ambos apartados que componen esta lista se encuentran muy bien estructurados, tanto así que el apartado de política de seguridad y salud en el trabajo alcanzó el 100 % de cumplimiento.

Por otra parte, la obtención del 98 % para el apartado de objetivos en seguridad y salud en el trabajo se debe a que la norma menciona que se deben incorporar mecanismos para la mejora a partir de los resultados de la evaluación de riesgos, lo cual, no está indicado en los objetivos de seguridad y salud actuales de la empresa, así como tampoco cuáles serán dichos mecanismos de mejora.

Una política en SST es un gran respaldo para el Programa de Protección Radiológica, ya que en la misma se indican las responsabilidades de la empresa en materia de salud ocupacional, además de la asignación de recursos para la prevención de accidentes y enfermedades laborales, esto facilita la implementación de controles ingenieriles y administrativos, así como capacitaciones del personal y vigilancia médica de los trabajadores.

8. Lista de verificación de seguridad radiológica

En la figura 7, se muestran los resultados obtenidos al aplicar la lista de verificación basada en la norma del OIEA N° SSG-8 “Seguridad radiológica de las instalaciones de irradiación de rayos gamma, electrones y rayos x”.

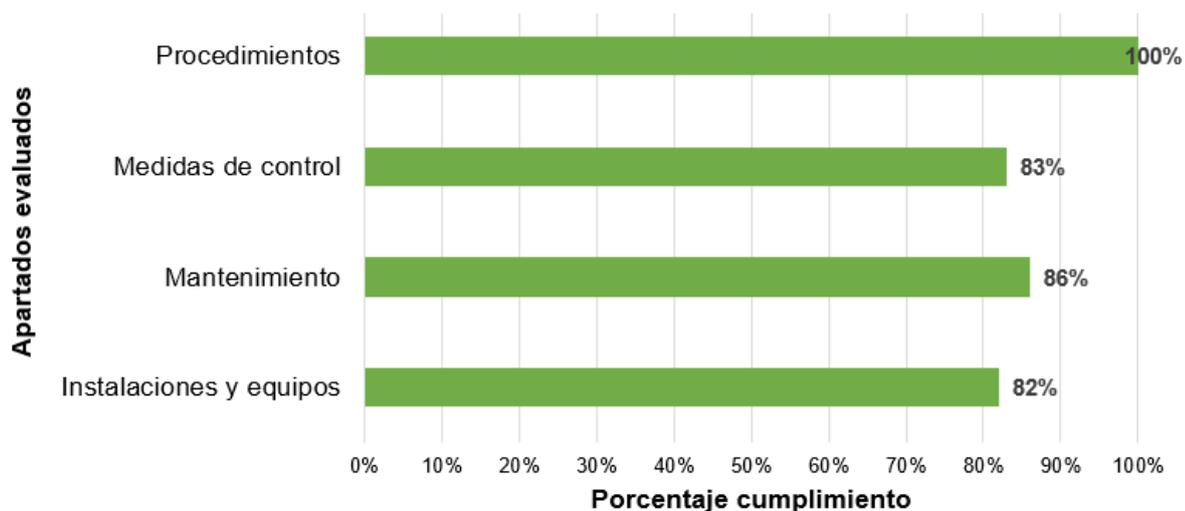


Figura 7. Porcentaje de cumplimiento de la lista de verificación de seguridad radiológica de las instalaciones de irradiación de rayos gamma, electrones y rayos X

Como se observa en la figura 7 el único apartado que cumple al 100 % con lo que indica la norma del OIEA es el de procedimientos, en el cual se contempla la existencia de planes de contingencia ante un incidente. Por otra parte, a nivel de medidas de control, existe un incumplimiento porque el personal ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes, no utiliza el dosímetro personal durante toda su jornada de trabajo.

En el apartado de mantenimiento, no se cuenta con un procedimiento para el reporte de fugas en alguna fuente sellada radioactiva; por lo tanto, para el rediseño del Programa de Protección Radiológica se debe incorporar. Por último, a nivel de instalaciones y equipos, existe un incumplimiento a nivel de dispositivos de seguridad; si bien es cierto, los equipos emisores de radiaciones ionizantes cuentan con blindajes, accesos restringidos y señalización, no hay una implementación de sistemas de enclavamiento de seguridad ni de alarmas de emergencia en caso de sobrepasar los niveles de dosis máximos permitidos por el Decreto N° 24037-S.

9. Lista de verificación de fuentes de radiación y aplicación coercitiva

La lista de verificación basada en la norma del OIEA-TECDOC-1526 “Inspección de las fuentes de radiación y aplicación coercitiva” contaba con cinco apartados de los cuales todos obtuvieron un 100 % de cumplimiento, lo que hace referencia a que existe un alto compromiso por parte de la empresa en cuanto a la

protección máxima de los trabajadores ocupacionalmente expuestos a radiaciones ionizantes.

Es importante aclarar que actualmente las empresas proveedoras de los equipos Thermofisher y Portaspec son las encargadas de gestionar los desechos radioactivos que se vayan a generar al final de la vida útil de estos, más METALCO S.A. no tiene contemplado un procedimiento de gestión de residuos radioactivos en caso de que estas empresas no puedan hacerse cargo de dicha labor. Por otra parte, el equipo Valmet no cuenta con ningún procedimiento para la gestión de desechos radioactivos generados por este, ya que la empresa se basa en la vida media de las pastillas de americio (432 años), más no tiene contemplado alguna falla o desactualización del equipo que requiera su retiro de la planta y por ende la correcta gestión de los desechos radioactivos.

Por otro lado, la empresa cuenta con un registro para realizar las diferentes inspecciones por medio del sistema SAP. En este sistema se registra cuando fue la última vez que se realizó un mantenimiento y la próxima vez que se tendría que hacer el mismo. Además, este sistema también registra los trabajadores que ingresan a las zonas controladas, el número de minutos que se encuentran ahí y la razón por la que ingresaron.

Cabe mencionar que las capacitaciones son impartidas por el Responsable de Protección Radiológica (que es el encargado de Salud Ocupacional) y estas se realizan cada dos años, cuando los operadores deben renovar sus permisos de funcionamiento. En cada capacitación es indispensable que los trabajadores pasen un examen elaborado por el Responsable de Protección Radiológica, el cual tiene una nota de aprobación de 80, para poder ser presentado ante el Ministerio de Salud y los mismos obtengan la licencia para operar los equipos y permanecer en la zona supervisada.

A nivel general se identificó que la empresa debe incorporar procedimientos para la correcta gestión de los desechos radioactivos, procedimientos para el reporte de fugas en alguna fuente sellada y protocolos de verificación del cumplimiento del Decreto N°24037-S, en relación a los requisitos para el correcto transporte de fuentes radioactivas. También existe una oportunidad de mejora en

los controles ingenieriles actuales, ya que, aunque se cuenta con barreras físicas y un monitoreo de las dosis efectivas emitidas por los equipos, estas no son las indicadas por el OIEA en sus distintas normas de seguridad, además, se debe mejorar la señalización existente para que cumpla con la Norma INTE-31-07-01: 2016.

En relación a la parte administrativa, la oportunidad de mejora existente es a nivel de capacitaciones, ya que el personal recibe únicamente una capacitación cada dos años, en donde existen factores como el cambio del personal, aparición de nuevos riesgos asociados a los equipos, falta de simulacros de emergencia radiológica y falta de conocimiento de los efectos a la salud que pueden aumentar la probabilidad de que ocurra un accidente por impericia.

B. Evaluación de la exposición a radiaciones ionizantes

1. Informes de dosimetrías ambientales

De acuerdo con los controles establecidos por METALCO S.A., mensualmente se contrata a la empresa Proxtronic CR, con el fin de realizar dosimetrías ambientales y así medir el impacto de las radiaciones en el medio ambiente y en los lugares donde se ubican los equipos Thermofisher, Valmet y Portaspec.

Como parte del servicio de dosimetrías brindado por Proxtronic CR, esta empresa entrega un informe mensual al Responsable de Protección Radiológica, que contiene la información sobre la dosis de radiación ionizante mensual emitida en las líneas de galvanizado dos y tres y el laboratorio de control de calidad. El Responsable de Protección Radiológica es el encargado de informar los resultados obtenidos a cada uno de los colaboradores de dichas áreas.

En el cuadro 4, se presentan los resultados obtenidos en la última dosimetría ambiental realizada en el mes de agosto del 2020 para los equipos Valmet, Thermofisher y Portaspec.

Cuadro 4. Dosis efectiva reportada para el cristalino, cuerpo entero y superficie en el mes de agosto del 2020 para los equipos Valmet, Thermofisher y Portaspec

Zona Equipo	Superficie (mSv/año)	Cristalino (mSv/año)	Cuerpo entero (mSv/año)
Valmet	0	0.12	0
Thermofisher	0.16	0.16	0.16
Portaspec	0	0	0

Según el cuadro 4, para el equipo Valmet se reporta una dosis efectiva mayor a nivel del cristalino, siendo la misma de 0.12 mSv/año, para superficie y cuerpo entero se reporta una dosis de 0 mSv/año. Estos resultados están relacionados con la dirección en la que se emite la radiación, ya que para el cristalino el dosímetro ambiental debe estar cerca de la cabeza, a diferencia de la medición de superficie donde el equipo se encuentra a la altura de la cadera y cuerpo entero en el que se coloca por debajo de cualquier protección que se utilice (camisa, pantalón, overol, etc.).

En relación con el equipo Thermofisher, se reporta una dosis efectiva equitativa para cristalino, cuerpo entero y superficie, siendo está de 0.16 mSv/año, de igual manera está relacionado con la dirección en la cual se emite la radiación. Con las dosis efectivas actuales para los tres equipos emisores y generadores de radiaciones ionizantes, existe un nivel de riesgo bajo, ya que en comparación con las dosis efectivas indicadas en el Decreto N°24037-S se encuentran muy lejos de superar dichos valores.

Sin embargo, se debe evitar la exposición a largo plazo, ya que según la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (2004) la exposición prolongada a la radiación emitida por el Americio 241, hace que comúnmente se concentren en huesos, pulmones e hígado, además puede alterar el material genético de las células y esto puede inducir al desarrollo de cáncer en estas regiones.

En las figuras 8 y 9, se muestra la distribución (Eje z), distancia máxima (eje x y y) y dirección en la cual se emite la radiación ionizante de este equipo. El círculo

rojo simboliza el alcance máximo para la dosis efectiva de cuerpo entero y el círculo azul simboliza el alcance máximo para la dosis efectiva superficial

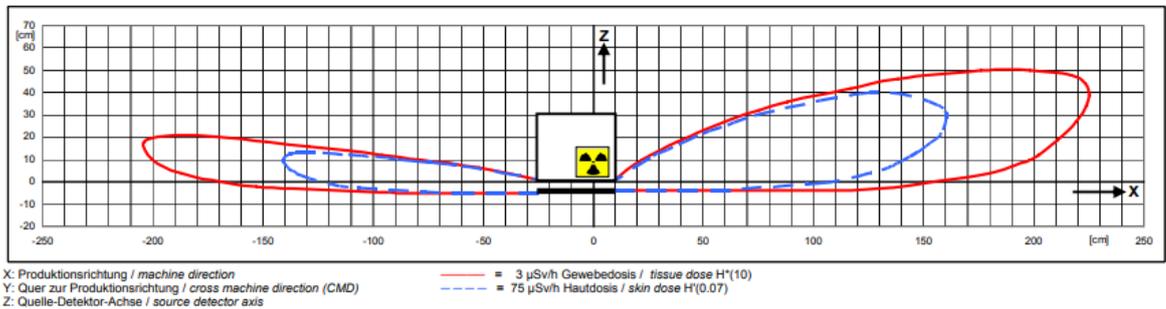


Figura 8. Vista lateral de la distribución de la radiación ionizante del equipo Thermofisher

Fuente: Manual del equipo Thermofisher

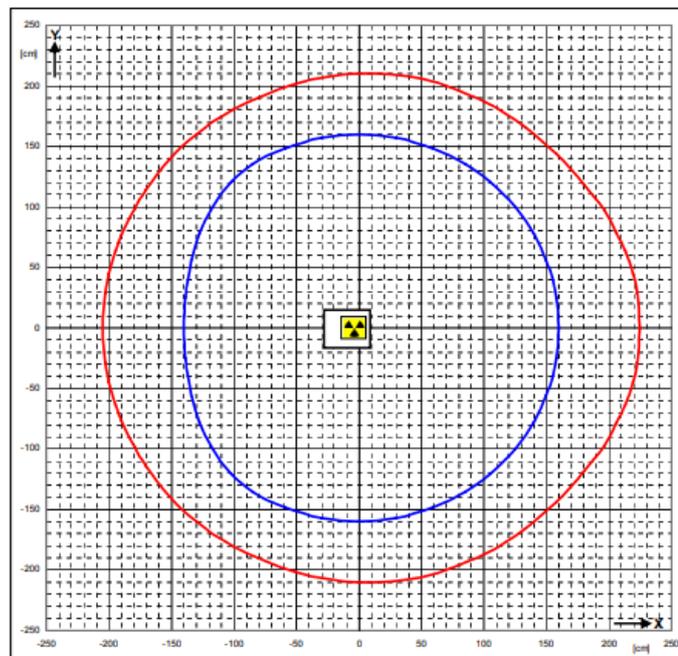


Figura 9. Vista superior de la distribución de la radiación ionizante del equipo Thermofisher

Fuente. Manual del equipo Thermofisher.

La información mostrada en las figuras anteriores fue relevante para determinar las características de los controles ingenieriles y administrativos propuestos, ya que se indica el alcance máximo que tiene el equipo cuando está en funcionamiento y la distribución de la radiación ionizante emitida.

Por último, para el equipo Portaspec se reportó para el cristalino, cuerpo entero y superficie una dosis efectiva de 0 mSv/año, esto puede estar relacionado con el funcionamiento a base de principio electrónico (ánodo y cátodo) y el diseño que tiene este equipo (encerramiento y llave para la operación).

Para identificar las dosis máximas y mínimas reportadas en las dosimetrías ambientales mensuales de los tres equipos en estudio, se obtuvieron estos datos de los reportes de los años 2015 al 2020 del equipo Valmet y de los años 2018 al 2020 para los equipos Thermofisher y Portaspec, cuyos resultados se presentan en el cuadro 5 y se contrastan contra la dosis máxima permitida indicada en el Decreto N° 24037-S.

Cuadro 5. Matriz comparativa de la dosis efectiva máxima y mínima para el cristalino, superficie y cuerpo entero en los equipos Valmet, Thermofisher y Portaspec, contra la dosis máxima permitida por año en el Decreto No 24037-S

Equipo	Superficie (mSv/año)			Cristalino (mSv/año)			Cuerpo entero (mSv/año)		
	Valor mínimo reportado	Valor máximo reportado	Dosis efectiva máxima (Decreto N° 24037-S)	Valor mínimo reportado	Valor máximo reportado	Dosis efectiva máxima (Decreto N° 24037-S)	Valor mínimo reportado	Valor máximo reportado	Dosis efectiva máxima (Decreto N° 24037-S)
Valmet	0	0.37	500	0	0.34	150	0	0.34	20
Thermofisher	0	0.46		0	0.26		0	0.14	
Portaspec	0	0.31		0	0.28		0	0.28	

Como se evidencia en el cuadro 5, de acuerdo con los valores establecidos en el Decreto N°24037-S, la dosis efectiva máxima permitida para superficie es de 500 mSv/año, para cristalino es de 150 mSv/año y para cuerpo entero es de 20 mSv/año, por lo que las dosis efectivas máximas reportadas en las mediciones ambientales para cada área no superan los límites establecidos en el Decreto, estos resultados son producto de los sistemas de protección que tienen los equipos (blindaje de las pastillas de Americio 241 y la fuente sellada del ánodo y cátodo de los equipos Thermofisher y Portaspec).

Estos resultados obtenidos son importantes ya que indica que se deben aplicar controles ingenieriles a nivel de distanciamiento con el fin de evitar que los trabajadores ocupacionalmente expuestos se acerquen sin previa autorización al equipo emisor de radiaciones ionizantes.

2. Informes de dosimetrías de área

Dentro de los controles que tiene la empresa, anualmente se contrata a Inversiones e Importaciones Colé S.A., con el objetivo de realizar las dosimetrías de área, las cuales consisten en medir el nivel de irradiación en puntos estratégicos de la zona supervisada para determinar si en estos puntos existe una exposición a radiaciones ionizantes. Dicha empresa es la encargada de brindarle un informe de los resultados anuales sobre las dosimetrías de área al Responsable de Protección Radiológica, con el fin de conocer si se requieren nuevos controles referentes a la distancia, tiempo y blindaje.

A continuación, se muestra la matriz comparativa de las dosimetrías de área para los equipos emisores y generadores de radiaciones ionizantes entre los años 2015 al 2020, contra la dosis efectiva máxima permitida para cuerpo entero indicado en el Decreto N° 24037-S.

Cuadro 6. Matriz comparativa de la dosis efectiva reportada en los informes de dosimetría de área por año contra la dosis efectiva máxima permitida para cuerpo entero indicado en el Decreto No 24037-S

Equipo	Dosis efectiva acumulada (mSv/año)						
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Decreto N° 24037-S
Valmet	0.0035	0.0035	0.0035	0.004	0.004	0.004	20
Thermofisher	-	-	-	0.004	0.004	0.004	
Portaspec	-	-	-	0.004	0.004	0.004	

Como se observa en el cuadro 6, el equipo emisor de radiaciones ionizantes Valmet se mantuvo constante en el periodo comprendido entre los años 2015 al 2017, dado que la dosis efectiva fue de 0.0035 mSv/año; mientras que en los siguientes tres años aumentó la dosis efectiva a 0.004mSv/año y luego de eso se ha mantenido constante. Los resultados obtenidos para este equipo demuestran que están por debajo del límite de referencia establecido por el Decreto N° 24037-S, el cual es de 20 mSv/año para el área de cuerpo entero.

En el caso de los equipos Thermofisher y Portaspec, no se tienen las dosis registradas para los años 2015, 2016 y 2017, ya que estos dos equipos se adquirieron hasta el año 2018. Los registros de estas mediciones se empezaron a recopilar a partir del año 2018, obteniendo una dosis de 0.004 mSv/año para los años 2018, 2019 y 2020, las cuales están por debajo según lo estipulado en el Decreto N° 24037-S.

A partir de los resultados anteriores, se puede evidenciar que, aunque las dosis se encuentren por debajo de lo indicado en el Decreto N° 24037-S, es importante mantener los tiempos y distancias, con el fin de que el personal no sufra efectos a la salud asociados con este tipo de radiación de las fuentes radioactivas, las cuales tienden a acumularse en huesos, hígado y pulmones a largo plazo.

C. Conclusiones

- La empresa actualmente no cuenta con procedimientos para la correcta gestión de los desechos radioactivos del equipo Valmet, ya que la vida media de las pastillas de Americio 241 es de 432 años; más no se ha contemplado, la desactualización del equipo o bien un daño en su funcionamiento, que requiera gestionar los desechos radioactivos.
- Los equipos emisores y generadores de radiaciones ionizantes no cuentan con un sistema de enclavamiento de seguridad ni alarmas de emergencia en caso de sobrepasar los niveles de dosis máxima permitidas, por lo que estarían incumpliendo con lo estipulado en la norma OIEA N° SSG-8 “Seguridad radiológica de las instalaciones de irradiación de rayos gamma, electrones y rayos x”.
- Actualmente, los equipos emisores y generadores de radiaciones ionizantes cuentan con barreras físicas, las cuales tienen una altura media que facilita el ingreso del personal al área controlada sin ninguna autorización ni supervisión.
- Se debe actualizar la señalización existente en la línea de galvanizado dos, línea de galvanizado tres y el laboratorio de control de calidad, ya que no cumple con los requisitos especificados en la norma UNE 73302 “Distintivos para la señalización de radiaciones ionizantes” e INTE 31-07-01:2016 “Requisitos para la aplicación de colores y señalización de seguridad e higiene en los centros de trabajo”.
- Existe un compromiso de la Gerencia General en proporcionar condiciones de trabajo seguras y saludables para la prevención de daños y deterioro de la salud de los trabajadores, en relación con la exposición a radiaciones ionizantes; siendo este un punto importante en la implementación del Programa de Protección Radiológica.
- El personal ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes no utiliza dosímetros personales durante su jornada de trabajo, por lo que hay un incumplimiento de acuerdo con lo indicado en la norma OEIA N° SSG-8” Seguridad radiológica de las instalaciones de irradiación de rayos gamma, electrones y rayos x”.

- Actualmente, la empresa no cuenta con procedimientos para el reporte de fugas en alguna fuente sellada radioactiva, lo cual hace que el personal ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes sea vulnerable a una sobreirradiación, teniendo como consecuencia efectos adversos a la salud de estos.
- Las dosimetrías realizadas por los distintos proveedores demuestran que las radiaciones emitidas por los equipos Thermofisher, Valmet y Portaspec se encuentran por debajo de los valores límites indicados en el Decreto N° 24037-S; sin embargo, es importante implementar controles que aseguren los tiempos y distancias con respecto a la fuente de radiación ionizante, con el fin de evitar efectos a la salud a mediano y largo plazo basados en las dosis efectivas actuales.

D. Recomendaciones

- Se debe crear un Programa de Protección Radiológica que:
 - ✓ Incorpore la política de seguridad laboral de la empresa, plantee objetivos, metas, asigne responsabilidades y cuente con un procedimiento para verificar el cumplimiento legal en materia de radiaciones ionizantes.
 - ✓ Genere procesos de trabajo seguro y capacitación para las actividades que involucren los equipos Thermofisher, Valmet y Portaspec en las líneas de galvanizado dos y tres y el laboratorio de control de calidad.
 - ✓ Plantee un rediseño de las barreras físicas actuales con el fin de evitar el fácil acceso a la zona controlada por parte del personal no autorizado, cumpliendo con lo estipulado en la norma OIEA N° SSG-8, además de la incorporación de sistemas de enclavamiento y alarmas de emergencia.
 - ✓ Genere un proceso de capacitación, control y mejora continua de dicho programa.
 - ✓ Cuente con un procedimiento para la gestión adecuada de los desechos radioactivos, a fin de que su disposición se haga según las pautas legales que indica el Ministerio de Salud.
- Se debe contar con una lista de verificación para que la organización revise que el proveedor cumple con los requisitos en relación a la seguridad del transporte de las fuentes radioactivas de acuerdo con la norma N° TS-G-1.4 “Sistema de Gestión para el transporte seguro de materiales radioactivos”.
- Se debe actualizar la señalización existente en las líneas de galvanizado dos y tres y el laboratorio de control de calidad para cumplir con lo estipulado en la INTE 31-07-01:2016.
- El personal ocupacionalmente expuesto cuenta con un nivel mínimo de escolaridad del sexto grado, por lo que es un factor a considerar al plantear la metodología y el vocabulario a utilizar a la hora de realizar las capacitaciones.

V. ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN

A. Introducción

Para la propuesta de solución se elaboró el rediseño del Programa de Protección Radiológica, en el cual se incorporaron los tres equipos emisores y generadores de radiaciones ionizantes presentes en la empresa, con el fin de cumplir con los requisitos indicados en el Decreto N° 24037-S. Este programa fue rediseñado según los lineamientos de la guía de seguridad específica N° SSG-11 del OIEA, con el objetivo de abordar las necesidades identificadas en el análisis de la situación actual.

Además, dentro del Programa de Protección Radiológica se incluyó como parte de los controles administrativos, los procedimientos de trabajo y el rediseño de la señal de advertencia, basada en la INTE 31-07-01:2016 para las radiaciones ionizantes de las líneas dos y tres de galvanizado y el laboratorio de control de calidad. A nivel ingenieril se propuso el diseño de una malla electrosoldada en conjunto con un sistema de enclavamiento basado en la norma de seguridad N° SSG-11 del OIEA, para los equipos Thermofisher y Valmet; y, por último, la incorporación de una torre de señalización para el ingreso al laboratorio de control de calidad donde se encuentra el equipo Portaspec.

B. Rediseño del Programa de Protección Radiológica

A continuación, se presenta el Programa de Protección Radiológica para las líneas de galvanizado dos y tres y el laboratorio de control de calidad de la empresa METALCO S.A. ubicada en La Ceiba de Orotina. Este programa está basado en los apartados que indica la norma del OIEA N° SSG-11.



PROGRAMA DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

BASADO EN LA GUÍA DE SEGURIDAD ESPECÍFICA DEL OIEA
Nº SSG-11 Y EL DECRETO DE REGULACIÓN DE RADIACIONES
IONIZANTES Nº 24037-S

METALCO S.A.

LA CEIBA DE OROTINA, ALAJUELA – ENERO, 2021

Tabla de contenido

A. ASPECTOS GENERALES	2
1. Introducción	2
2. Objetivos del Programa	3
3. Alcance	3
4. Metas	4
5. Definiciones	4
B. COMPROMISO CON EL PROGRAMA DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA ..	7
1. Política de Salud y Seguridad Ocupacional	7
2. Recursos	7
C. PARTICIPACIÓN EN EL PROGRAMA	10
1. Asignación de responsabilidades	10
D. CONTROLES PARA LOS EQUIPOS VALMET, THERMOFISHER Y PORTASPEC	14
1. Clasificación de las zonas de trabajo	14
2. Controles ingenieriles	15
3. Controles administrativos	35
3.1 Procedimientos de trabajo	35
3.2 Vigilancia radiológica de las zonas de trabajo	99
3.4 Vigilancia de la salud de los trabajadores expuestos.....	100
E. EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO DEL PROGRAMA.....	105
F. Cronograma del programa	106
G. Presupuesto del programa	142
H. Conclusiones	143
I. Recomendaciones	144

En la siguiente figura 10, se brinda una representación gráfica de los apartados que están presentes en el Programa de Protección Radiológica (PPR).

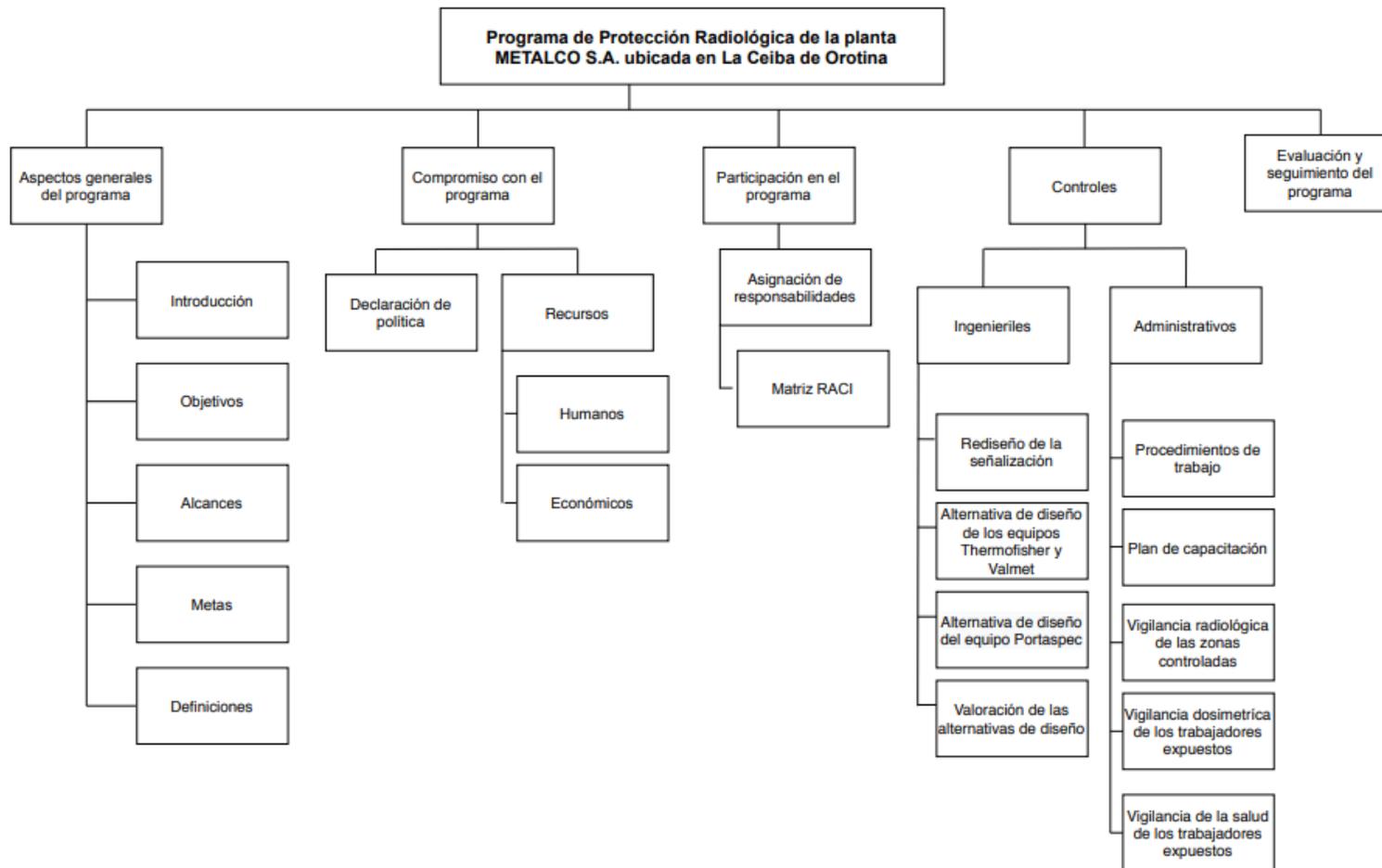


Figura 10. Estructura del Programa de Protección Radiológica

A. ASPECTOS GENERALES

1. Introducción

De acuerdo con los resultados obtenidos en el apartado IV. Análisis Actual, se propone un rediseño del Programa de Protección Radiológica, de manera que abarque los aspectos indicados en el Decreto N° 24037-S, garantizando así la protección de la salud del personal de la empresa ante los riesgos radiológicos que puedan derivarse de los equipos Valmet, Thermofisher y Portaspec.

Dentro de este Programa de Protección Radiológica se han incluido diversos procedimientos que permiten un desarrollo seguro de las actividades laborales manteniendo las dosis de exposición por debajo de lo establecido en el Decreto N° 24037-S, así como la inclusión de la política y compromisos de la empresa, requerimientos de planificación, implementación, verificación, controles ingenieriles y administrativos, los cuales en conjunto conforman el programa.

Según los datos obtenidos en la identificación de las condiciones de trabajo con exposición a radiaciones ionizantes en la línea de galvanizado dos, línea de galvanizado tres y laboratorio de control de calidad, se enfocaron los controles tanto administrativos como ingenieriles con la finalidad de mejorar la gestión en cuanto a la protección radiológica y facilitando las indicaciones necesarias para el funcionamiento de las partes del programa.

2. Objetivos del Programa

2.1 Objetivo general

El objetivo de este programa es cumplir con todos los requisitos legales nacionales e internacionales, asegurando la protección del personal ocupacionalmente expuesto con respecto a los efectos de las radiaciones ionizantes.

2.2 Objetivos específicos

- Desarrollar procedimientos de trabajo que garanticen la seguridad de los operarios ante las radiaciones ionizantes.
- Asignar responsabilidades dentro de la organización para el cumplimiento de los procedimientos establecidos en este programa.
- Establecer controles ingenieriles y administrativos que permitan un desarrollo seguro de las actividades laborales.

3. Alcance

El presente Programa de Protección Radiológica busca establecer procedimientos de trabajo para los equipos Valmet, Thermofisher y Portaspec, que garanticen la seguridad y salud del personal ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes en las líneas dos y tres de galvanizado y el laboratorio de control de calidad, así como medidas de control tanto ingenieriles como administrativas que permitan condiciones de trabajo seguras. Todas las acciones y recomendaciones establecidas dentro de este programa serán aplicables para todos los trabajadores ocupacionalmente expuestos, visitantes, contratistas y personal administrativo.

4. Metas

- Informar a todos los involucrados (internos y externos), sus responsabilidades y roles dentro del Programa de Protección Radiológica en un periodo máximo de un mes, a partir de la publicación oficial de este programa en la empresa.
- Formar al 100 % del personal de la empresa ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes en temas asociados a este agente físico.
- Establecer controles ingenieriles y administrativos, que se encuentren dentro de las capacidades económicas de la empresa en un plazo de dos meses.

5. Definiciones

Los términos que a continuación se presentan sirven para aclarar e interpretar cualquier información dentro del presente programa y fueron tomados del Reglamento sobre Protección contra las Radiaciones Ionizantes del Consejo de Salud Ocupacional, publicado en La Gaceta No 48 del miércoles 8 de marzo de 1995.

- **Embalaje:** Conjunto de todos los componentes necesarios para alojar completamente el contenido radiactivo, como, por ejemplo: uno o varios recipientes, materiales absorbentes, estructuras de separación, blindajes, dispositivos de amortiguamiento, refrigeración, absorción y cualesquiera otros.
- **Exposición:** Término empleado en protección radiológica tanto en un sentido cuantitativo, específicamente definido, como en sentido general.
- **Historial dosimétrico:** Documento o conjunto de ellos, que certifican las dosis recibidas por una persona expuesta a las radiaciones ionizantes, durante su preparación académica y durante toda su vida laboral.
- **Fuente Sellada:** Fuente radiactiva cuya estructura de contención es tal que impide, en condiciones normales de empleo, toda dispersión del material radiactivo al medio ambiente.
- **Justificación:** Término empleado en protección radiológica que establece, como principio, que la autoridad competente no debe autorizar ninguna

práctica que se traduzca en una exposición del ser humano a las radiaciones, a menos que la introducción de dicha práctica produzca beneficio neto positivo.

- **Licencia:** Autorización otorgada por la autoridad competente a quién realiza la práctica o al titular de la instalación, por medio de la cual, bajo ciertas condiciones, autoriza la construcción, operación (permiso sanitario de funcionamiento) y cierre definitivo.
- **Límite:** Valor de una magnitud que no debe sobrepasarse.
- **Monitoreo de área:** Es la medición de los niveles de exposición a radiaciones ionizantes en los recintos inmediatamente adyacentes a las zonas controladas, y en casos excepcionales a las zonas supervisadas.
- **Operador:** Persona autorizada, por la autoridad competente, para realizar actividades directamente vinculadas a la operación de fuentes radiactivas o equipos emisores de radiaciones ionizantes, en condiciones de seguridad radiológica.
- **Optimación:** Concepto que impone que el diseño y uso de fuentes emisoras de radiaciones ionizantes y las prácticas correspondientes, deben ser tales que se tengan la seguridad que las exposiciones se reduzcan el valor más bajo que sea razonablemente posible, teniendo en cuenta los factores económicos y sociales.
- **Procedimiento:** Secuencia lógica de pasos o actividades que permiten cumplir en forma completa y segura una determinada tarea, que involucra personas, equipos, instrumentos, insumos y un determinado ambiente físico.
- **Protección y seguridad radiológica:** Protección a las personas contra la exposición a la radiación, así como los medios para prevenir accidentes y atenuar las consecuencias de estos, si ocurrieran.
- **Radiaciones ionizantes:** Radiación de energía suficientemente alta, capaz de producir pares de iones en una materia o en materias biológicas.
- **Responsable de la Protección Radiológica:** Personal natural o perteneciente al cuerpo técnico de una instalación donde utilicen radiaciones ionizantes, quien ejercerá labores en el campo de la protección radiológica, independientemente de sus labores como técnico.

- **Sección:** Sección de control de radiaciones ionizantes.
- **Sentido General:** Acción a someter, estar sometido o expuesto, tanto personas como material, a las radiaciones ionizantes. Sinónimo de irradiación.
- **Sentido Cuantitativo** ionizante del aire, producida por radiación electromagnética, por unidad de masa.
- **Sievert (Sv):** Unidad empleada para dosis equivalente, puede presentarse en submúltiplos miliSievert (mSv).
- **Titular de la licencia de funcionamiento:** Persona natural o jurídica a la cual la autoridad competente le ha otorgado una autorización para realizar actividades específicas con fuentes o equipos emisores de radiaciones ionizantes.
- **Trabajador ocupacionalmente expuesto:** Persona que realiza actividades directa o indirectamente vinculadas con el uso o manipulación de material radiactivo dentro de una instalación u opere equipos generadores de radiaciones ionizantes.
- **Vigilancia radiológica:** Conjunto de medidas y procedimientos orientados a evaluar el impacto de las radiaciones ionizantes en las personas y el público en general.
- **Zona controlada:** Área de acceso restringido y sometida a un programa de vigilancia radiológica.
- **Zona supervisada:** Área de acceso no controlado, en la cual las condiciones de protección radiológica deben mantenerse bajo permanente revisión, aun cuando en ellas no son normalmente necesarios programas especiales de vigilancia radiológica.

B. COMPROMISO CON EL PROGRAMA DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

1. Política de Salud y Seguridad Ocupacional

La Gerencia General ha definido y autorizado la política de Salud y Seguridad Ocupacional, estableciéndose como la guía que debe obligatoriamente seguir e implementar todos los colaboradores de la organización. Esta política es apropiada a la naturaleza y magnitud de los riesgos laborales que METALCO S.A. presenta, se revisa periódicamente para asegurar que continúe siendo adecuada para la organización. A continuación, se describe la Política de Salud y Seguridad Ocupacional:

“METALCO S.A., mantiene como compromiso el asegurar y proveer protección a todos los colaboradores, mediante la aplicación de normas de seguridad e higiene; cumpliendo con las regulaciones y normas vigentes en el área de Seguridad e Higiene Industrial; garantizando la salud física y mental de los trabajadores, manteniendo un equilibrio social y ambiental. METALCO S.A fundamenta su gestión de seguridad en una labor preventiva y permanente” (METALCO, 2020).

Esta política fue realizada por la gerencia y el departamento de Salud Ocupacional. Dicha política fue publicada y difundida a todo el personal, para obtener así su cooperación y participación, siguiendo el ejemplo manifestado y demostrado por la Gerencia General.

2. Recursos

A continuación, se detallan los recursos necesarios para la implementación del Programa de Protección Radiológica dentro de la empresa METALCO S.A.

2.1 Económicos

Los gastos monetarios están relacionados con el tiempo y materiales invertidos en los controles ingenieriles y administrativos, además de las actividades de trabajo, cumplimientos legales, mantenimiento de los equipos y otras actividades que se lleven a cabo producto de la puesta en marcha del programa. Adicionalmente, como gasto indirecto de la implementación de este programa se encuentran los gastos asociados a las mejoras de este cuando así lo requiera.

Por último, se contempla el costo de la implementación de la alternativa de diseño para los tres equipos cuyo valor total para la implementación de las tres alternativas de diseño es de ¢ 474 521.

2.2 Humanos

Se refiere a los trabajadores tanto a nivel administrativo como operativo, que deben participar en las actividades que se indica en el Programa de Seguridad Radiológica y que permitan la implementación de este en las líneas de galvanizado dos y tres y el laboratorio de control de calidad. En el cuadro 7 se denotan las personas involucradas internas de la empresa en el programa, indicando clave, clasificación, actividad, su nivel de influencia e interés dentro de la organización y las responsabilidades a cargo.

Cuadro 7. Matriz de Involucrados del Programa de Protección Radiológica de METALCO S.A.

Involucrado	Clave	Clasificación	Actividad	Nivel de influencia	Nivel de interés	Responsabilidades
Responsable de Protección Radiológica	RPR	Interno	Implementación del programa	Alto	Alto	Revisar el cumplimiento del programa e identificar nuevos peligros asociados. Clasificar los puestos de trabajo en zonas controladas y supervisadas
Gerente General	GG	Interno	Aprobación de presupuesto	Alto	Bajo	Mantener informado
Encargado de Proveeduría	EP	Interno	Participación en el programa	Bajo	Alto	Mantener informado
Proveedores	PR	Externo	Participación en el programa	Bajo	Alto	Mantener informado
Gerente de recubiertos	GR	Interno	Participación en el programa	Bajo	Bajo	Mantener informado
Gerente de Recursos Humanos	RH	Interno	Participación en el programa	Bajo	Bajo	Mantener informado
Departamento de Salud Ocupacional	DSO	Interno	Implementación y seguimiento del programa	Alto	Alto	Monitorear el cumplimiento de lo estipulado en el programa
Encargado de mantenimiento	EM	Interno	Participación en el programa	Bajo	Alto	Mantener informado
Personal ocupacionalmente expuesto	POE	Interno	Participación en el programa	Bajo	Alto	Monitorear

C. PARTICIPACIÓN EN EL PROGRAMA

A continuación, se describen las responsabilidades de los involucrados del presente programa:

1. Asignación de responsabilidades

1.1 Gerente General

La responsabilidad recae sobre el representante legal de la empresa, el cual a su vez delega y autoriza el cumplimiento de los procedimientos contenidos en este programa, mediante la asignación de recursos humanos, económicos y la supervisión para la ejecución de estos.

El Gerente General tendrá como función firmar y tramitar la documentación correspondiente a los permisos de instalación y desecho de los equipos emisores y generadores de radiaciones ionizantes, además se encargará de la aprobación para la implementación del Programa de Protección Radiológica.

1.2 Departamento de Salud Ocupacional

Dicho departamento se encargará de evaluar los riesgos asociados a la exposición a radiaciones ionizantes que puedan afectar la seguridad y salud de los trabajadores, así mismo deberán de realizar las inspecciones de seguridad e informes de las distintas fuentes emisoras y generadoras de radiaciones ionizantes conjunto al encargado de mantenimiento.

Por otra parte, el Departamento de Salud Ocupacional tendrá que supervisar el cumplimiento de las normas y procedimientos establecidos en este programa, además de comunicar a la alta gerencia sobre la incorporación de nuevas medidas en caso de ser requeridas y los resultados obtenidos de la implementación del programa.

Por último, el Departamento de Salud Ocupacional será el responsable de llevar un control de las dosimetrías ambientales y de área, así como los registros médicos de los trabajadores ocupacionalmente expuestos.

1.3 Responsable de Protección Radiológica

El Responsable de Protección Radiológica será el encargado de mantener las dosimetrías al día, así como realizar el seguimiento, clasificar los puestos de trabajo en zonas controladas y/o supervisadas, actualizar el programa y hacer cumplir con las actividades propuestas en el Programa de Protección Radiológica.

Además, deberá realizar un informe periódico a la Gerencia General acerca de todas las deficiencias que puedan incidir en la seguridad de las instalaciones y en la protección de los trabajadores expuestos y miembros del público. Por último, se le delegará la responsabilidad de impartir las capacitaciones para el personal ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes.

1.4 Gerente de Recursos Humanos

El Gerente de Recursos Humanos será el responsable de comunicar el Programa de Protección Radiológica a las distintas gerencias que se encuentran asignadas en la matriz de responsabilidades para su implementación, además tendrá la función de recibir y atender la solicitud de capacitación por parte del Responsable de Protección Radiológica para llevar a cabo las capacitaciones de repaso en temas de Seguridad Radiológica.

1.5 Gerencia de Recubiertos

La Gerencia de Recubierto deberá de implementar los procedimientos abarcados en este programa y establecer las responsabilidades dentro de sus procesos, en lo relativo al funcionamiento y operación de los equipos emisores y generadores de radiaciones ionizantes.

Además, se encargará de informar al Responsable de Protección Radiológica sobre las actividades de mantenimiento, cambios de operadores, fallos de los equipos, capacitación del personal o cualquier efecto a la salud que presente un trabajador ocupacionalmente expuesto.

1.6 Encargado de Mantenimiento

El encargado del mantenimiento de equipos e instalaciones tendrá como función la coordinación y realización de todos de mantenimientos correctivos y preventivos, ingresos, sustituciones o traslados de los equipos emisores y generadores de radiaciones ionizantes, con la finalidad de contar con todas las medidas de seguridad según lo establece este programa.

1.7 Personal ocupacionalmente expuesto

Es responsabilidad del personal ocupacionalmente expuesto de seguir los procedimientos de seguridad radiológica en cuanto al uso de los equipos emisores y generadores de radiaciones ionizantes, además de utilizar los controles propuestos por el Responsable de Protección Radiológica y el Departamento de Seguridad Ocupacional.

2. Matriz RACI

A continuación, se muestra la matriz de asignación de responsabilidades (RACI), en el cual se incorpora al personal que se encuentran en la matriz de involucrados del Programa de Protección Radiológica de METALCO S.A.

Cuadro 8. Matriz RACI del Programa de Protección Radiológica

Actividad	Responsables						
	RPR	GG	GR	RH	DSO	EM	POE
Implementación del programa							
Guiar la implementación del Programa de Protección Radiológica en METALCO S.A.	A	P	P	P	R	P	P
Capacitar a los trabajadores a cumplir los procedimientos	R		P				
Poner en práctica y cumplir con los procedimientos de trabajo.	I		P				
Reportar condiciones inseguras que se presenten en las áreas de trabajo	P		P			I	R
Participación de los colaboradores en las capacitaciones establecidas en el programa.	R		P	A		P	P
Supervisar la ejecución de las actividades propuestas en el programa.	R		I				P
Control y seguimiento del Programa							
Ejecutar el procedimiento para la evaluación del programa y control de resultados.	R				P		
Establecer oportunidades de mejora para el programa.	R				P		
Actualización del programa							
Revisar los contenidos del programa	R				P		
Verificar la existencia de nuevos procesos o cambios en los existentes	R				P		
Realizar modificaciones en el programa	R				P		
Leyenda							
R: Responsable	A: Aprueba	P: Participa	C: Consulta	I: Informa			
Abreviaturas: RPR: Responsable de Protección Radiológica; GG: Gerencia General; GR: Gerencia de Recubiertos; RH: Recursos Humanos; DSO: Departamento de Salud Ocupacional; EM: Encargado de Mantenimiento; POE: Personal ocupacionalmente expuesto.							

D. CONTROLES PARA LOS EQUIPOS VALMET, THERMOFISHER Y PORTASPEC

Esta sección detalla los tipos de zonas de trabajo según el Decreto N° 24037-S, posteriormente los controles propuestos como alternativa de solución a raíz de las necesidades encontradas en el apartado IV. Los controles tanto ingenieriles como administrativos están basados según lo establecido en la Guía de Seguridad específica N°SSG-11 de la OIEA.

1. Clasificación de las zonas de trabajo

Según el Decreto N° 24037-S es importante que se definan zonas controladas y vigiladas en las áreas cercanas a las fuentes emisoras y generadoras de radiaciones ionizantes. El Responsable de Protección Radiológica será el encargado de clasificar los puestos de trabajo en zonas controladas y supervisadas, donde se ubican los equipos emisores y generadores de radiaciones ionizantes. La clasificación de las zonas de trabajo se realizará teniendo en cuenta la dosis de radiación anual que pueden recibir los trabajadores ocupacionalmente expuestos con base en las dosimetrías ambientales y de área.

Las zonas controladas son áreas de acceso restringido y sometidas a un programa de vigilancia radiológica; mientras que las zonas supervisadas son áreas de acceso no controlado, en donde las condiciones de protección radiológica deben mantenerse bajo revisión por parte del Responsable de Protección Radiológica, aun cuando en ellas no son normalmente necesario algún programa especial de vigilancia radiológica.

Por lo tanto, se tendrá en cuenta la clasificación anteriormente mencionada para cada área de las líneas dos y tres de galvanizado y el laboratorio de control de calidad con el fin de evitar que los trabajadores no autorizados ingresen a dichas áreas. A continuación, se presenta la clasificación para cada área:

Cuadro 9. Tipo de zona según el área de trabajo

Área	Tipo de Zona
Entrada a las líneas de galvanizado	Zona Supervisada
Laboratorio de control de calidad (Portaspec)	Zona Controlada
Embalaje	Zona Supervisada
Potes (Thermofisher y Valmet)	Zona Controlada
Salida	Zona Supervisada

2. Controles ingenieriles

A continuación, se presenta el detalle de la propuesta de controles ingenieriles para los equipos Valmet, Thermofisher y Portaspec.

2.1 Rediseño de la señalización

La norma nacional de referencia utilizada para el rediseño de la señalización es la INTE 31-07-01:2016 “Salud y seguridad en el trabajo. Requisitos para la aplicación de colores y señalización de seguridad e higiene en los centros de trabajo”, la cual establece las especificaciones para el uso de colores, símbolos, formas y dimensiones en la aplicación de la señalización de seguridad en los centros de trabajo.

Esta señalización cumple con las necesidades identificadas en el apartado de situación actual, donde la señalización existente asociada a la prevención de las radiaciones ionizantes no cumplía con los requisitos indicados en la norma, por ende, esta señal será colocada en las entradas de las zonas controladas (donde se encuentran los equipos) en las líneas dos y tres de galvanizado y el laboratorio de control de calidad, para los equipos Valmet, Thermofisher y Portaspec respectivamente.

2.1.1 Requisitos de las señales para las zonas controladas

Las señales de seguridad deben:

- a)** Estar ubicadas de tal manera que puedan ser fácilmente observadas e interpretadas por las personas.
- b)** Ofrecer la posibilidad real de cumplir con lo indicado en la señal.
- c)** Atraer la atención de las personas a los que está destinado el texto de seguridad específico.

- d) Dar a conocer el peligro con anticipación, las consecuencias de interactuar con el mismo y la acción específica para evitarlo.
- e) Conducir a una interpretación única.
- f) Estar sujetas a un mantenimiento preventivo y correctivo.

2.1.2 Diseño y dimensiones de la señalización para las áreas controladas

Para el diseño de la señalización correspondiente a las líneas dos y tres de galvanizado y el laboratorio de control de calidad se creó la siguiente propuesta basada en la norma nacional INTE 31-07-01:2016, la misma se observa en la siguiente figura:

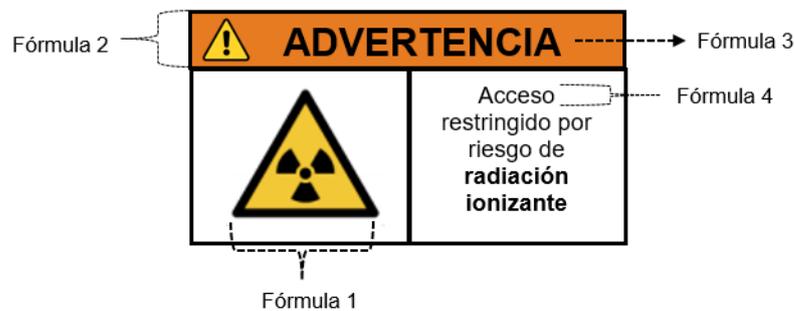


Figura 11. Diseño de la señalización de las líneas de galvanizado dos y tres y el laboratorio de control de calidad

Para calcular las dimensiones de la señalización se deben aplicar las siguientes fórmulas:

Fórmula 1. Área del panel del pictograma: La relación entre el área mínima, A, del área del panel del pictograma y la distancia de observación, d, a la que debe poder comprenderse, se expresa por la fórmula siguiente:

$$A = d^2 / 2000 \quad (1)$$

Donde,

A = Área del panel del pictograma, en cm².

d = distancia de observación, en cm.

Fórmula 2. Altura del panel del encabezado: La relación entre la altura, H_1 , del panel del encabezado y la distancia de observación, d , a la que debe poder comprenderse, se expresa por la fórmula siguiente:

$$H_1 = d / 100 \quad (2)$$

Donde,

H = Altura del panel del encabezado, en cm.

d = distancia de observación, en cm.

Fórmula 3. Tamaño del texto del encabezado: La relación entre la altura, H_2 , del texto del encabezado y la distancia de observación, d , a la que debe poder comprenderse, se expresa por la fórmula siguiente:

$$H_2 = d / 200 \quad (3)$$

Donde,

H = Altura del texto del encabezado, en cm.

d = distancia de observación, en cm.

Nota: El tamaño del texto del encabezado debería ser al menos 50 % mayor que el tamaño del texto complementario.

Fórmula 4. Tamaño del texto complementario: La relación entre la altura, H_3 , del texto complementario y la distancia de observación, d , a la que debe poder comprenderse, se expresa por la fórmula siguiente:

$$H_3 = d / 300 \quad (4)$$

Donde,

H = Altura del texto del encabezado, en cm.

d = distancia de observación, en cm.

Nota: El tamaño del texto del encabezado debería ser al menos 50 % mayor que el tamaño del texto complementario.

En el cuadro 10, se detallan las dimensiones que deben tener los distintos apartados que conforman la señalización propuesta.

Cuadro 10. Dimensiones requeridas para la señalización de las zonas controladas

Parte de la señal	Distancia de observación (cm)	Fórmula	Resultado de la fórmula
Área del pictograma	2000	$A = (2000)^2 / 2000$	2000 cm ² (44.72 cm por lado)
Altura del encabezado	2000	$H_1 = 2000 / 100$	20 cm
Tamaño del texto del encabezado	2000	$H_2 = 2000 / 200$	10 cm
Tamaño del texto complementario	2000	$H_3 = 2000 / 300$	6.66 cm

2.1.3 Materiales de la señal para las zonas controladas

Para la construcción de la señal de seguridad se proponen tres tipos de materiales, los cuales fueron aluminio, metacrilato y PVC, de estos se elegirá un tipo para construir la señal, dicha elección se basa en razones económicas, ambientales, éticas, socioculturales y operativas. A continuación, se describen las características de estos materiales.

Cuadro 11. Cantidad, costo, vida útil y proveedor de la señalización para las zonas controladas en distintos materiales

Material	Cantidad	Grosor (mm)	Costo unitario con IVA (€)	Total (€)	Vida útil (años)	Proveedor
Aluminio	3	3	32 337	97 012	¹ 80	Mesllings
PVC	3	3	10 170	30 510	² 15	IT Impresión total
Lámina de Metacrilato	3	3	24 702	74 106	³ 10	Publi Ideas

Nota: El costo unitario se calculó con un IVA del 13 %

Fuente: ¹ (Cubiertas del centro, 2018), ² (Facio, 2006), ³ (Emcoplastic, 2016).

2.2 Alternativa de diseño para el equipo Valmet y Thermofisher

Las alternativas de diseño para los equipos Valmet y Thermofisher se elaboraron desde la perspectiva de asegurar que el personal no ingrese al área controlada donde se encuentra en funcionamiento el equipo, no se incluye al equipo Portaspec debido a la infraestructura del laboratorio de control de calidad, el cual ya cuenta con una restricción para el ingreso del personal.

Para llevar a cabo el diseño, se utilizó la norma de seguridad del OIEA N° SSG-11 "Seguridad radiológica en la radiografía industrial", donde se indica que:

“Los recintos blindados deberían estar provistos de sistemas de seguridad adecuados en las puertas de acceso para que las personas no puedan entrar cuando esté expuesta una fuente de radiación. Debería instalarse un sistema de enclavamiento mecánico o eléctrico para que la fuente no quede expuesta a menos que esté cerrada la puerta” (OIEA, 2013, p.49).

A continuación, se detallan las dimensiones de ambos equipos, lo cual permitió buscar distintas opciones para la construcción del sistema de enclavamiento que se describe más adelante.

Cuadro 12. Dimensiones de los equipos Valmet y Thermofisher

Variable	Dimensión (m)	
	Valmet	Thermofisher
Largo	3.2	3.12
Ancho	0.85	0.814
Alto	1.70	1.67

Seguidamente, se indican los requerimientos de este sistema el cual estará compuesto por una malla electrosoldada, luces de emergencia y un dispositivo de enclavamiento.

2.2.1 Malla electrosoldada

Las dimensiones de la malla electrosoldada se establecieron con el fin de mantener una distancia mínima de 2 m entre la fuente radioactiva y los operarios, debido a las características del isótopo del Americio 241, ya que las radiaciones emitidas por el mismo no tendrán un alcance mayor a esta distancia (Ver figura 8). A continuación, se muestran las dimensiones requeridas para la malla electrosoldada.

Cuadro 13. Dimensiones de la malla electro soldada del sistema de enclavamiento

Variable	Dimensión (m)
Largo	4.2
Ancho	4.814
Alto	1.90

Para la incorporación de la malla electrosoldada se propusieron dos alternativas, la primera (Ver figura 12 con fines ilustrativos) consiste en que METALCO S.A. construirá la malla con materiales sobrantes de los procesos productivos y algunos materiales adquiridos en una ferretería. La construcción e instalación estará a cargo de los operarios de METALCO S.A. y bajo la supervisión del Ingeniero en Mantenimiento.



Figura 12. Alternativa de malla electrosoldada 1

Fuente: Mallarapid,2020

Como segunda alternativa para la malla electrosoldada (Ver figura 13) se propuso la compra de la misma por medio de la empresa IDH Direct, que se especializa en el diseño de resguardos para equipos industriales, dicha empresa se encargaría del diseño e instalación de esta.



Figura 13. Alternativa de malla electrosoldada 2

Fuente: IDH Direct,2018

A continuación, se detallan las características y requerimientos de las dos alternativas de la malla electrosoldada explicadas anteriormente.

Cuadro 14. Requerimientos y costo de las alternativas de la malla electrosoldada del sistema de enclavamiento de los equipos Valmet y Thermofisher

Alternativas de la malla electrosoldada	Descripción	Materiales	Cantidad	Costo total con IVA (€)	Proveedor
Alternativa 1	Esta alternativa consta de la construcción de la malla electrosoldada por parte de los operarios de METALCO S.A. con materiales que son considerados de desecho dentro del proceso productivo y algunos insumos adquiridos en la ferretería.	Pintura con base de látex	2 cuartos	29 000	¹ EPA
		Malla electrosoldada	360 m	No aplica	METALCO S.A.
		Varilla de 1/8 " para soldadura	1 kg	3095	¹ EPA
		Bisagras	3 unidades	26 550	¹ EPA
		Perlin	27 m	220 050	METALCO S.A.
		Tornillos	18 unidades de 3/4"	19 485	¹ EPA
		Mano de obra	-	600 000	METALCO S.A.
Alternativa 2	Esta alternativa consta de la compra de la malla electrosoldada a la empresa IDH Direct	Machine guarding	4.8 x 4.2 x 1.90 m	1 321 686	² IDH Direct

Nota: El costo total se calculó con un IVA del 13 %

Fuente: ¹ (EPA, 2020), ² (IDH Direct, 2020).

2.2.2 Dispositivo de enclavamiento

Un dispositivo de enclavamiento para puertas tiene como fin impedir que la puerta se abra cuando la fuente esté expuesta o bien cuando el equipo esté en funcionamiento. Para la elección del dispositivo de enclavamiento, se propusieron tres distintas alternativas, las cuales se detallan a continuación.

Cuadro 15. Costo de las alternativas de los sistemas de enclavamiento para puertas

Dispositivo	Descripción	Costo con impuestos y transporte incluido (C)	Proveedor	Ilustración
Caja de acceso interruptores de seguridad	Este dispositivo cuenta con módulos que muestran el estado del sistema durante el funcionamiento normal, además cuenta con una parada de emergencia integrada.	203 596	¹ Star Automation	
Enclavamiento de huellas dactilares	Este tipo de dispositivo funciona con un enclavamiento doble en donde solo se puede abrir la puerta si la huella dactilar se encuentra registrada.	41 148	² Pangding	
Enclavamiento de llave	El dispositivo de enclavamiento con llave se caracteriza por ser un sistema mecánico en donde únicamente se puede ingresar la llave cuando los equipos han terminado de funcionar.	103 029	³ DE Interlocking Switch	

Nota: El costo total se calculó con un IVA del 13 %, derechos arancelarios a la importación (DAI) del 5 %, Selectivo de Consumo (SC) del 15 % y la Ley 6946 de 1 %.

Fuente: ¹ (Star Automation, 2020), ² (Pangding, 2020), ³ (DE Interlocking Switch, 2020).

2.2.3 Luces de emergencia

Como complemento al sistema de enclavamiento se requiere la incorporación de luces de emergencia, las cuales tienen como fin emitir una segunda señal de alerta visible mientras la fuente se encuentre expuesta o bien cuando el equipo esté en funcionamiento o viceversa. Para la elección de estas luces se propusieron tres distintas alternativas, las cuales se detallan a continuación.

Cuadro 16. Costo de las luces de emergencia para los equipos Thermofisher y Valmet

Dispositivos	Descripción	Costo con IVA (€)	Proveedor	Ilustración
Torre de señalización industrial VDC	Esta señalización tipo semáforo dispone de luces rojas, naranjas y verdes parpadeantes, las cuales indican cuando la máquina va a entrar en funcionamiento, está en funcionamiento o bien se encuentra detenida.	26 438	¹ Cablematic	
Luces de señal para montaje en pared	Este tipo de dispositivo está diseñado para comunicar el estado de las distintas condiciones en la máquina o equipo, adicionalmente cuenta con una alarma que indica cuando la máquina o equipo entra en funcionamiento.	52 221	² Allen-Bradley	
Lámpara de torre de señalización	Este tipo de lámpara indica únicamente cuando la máquina o equipo está en funcionamiento y cuando no está en funcionamiento.	27 231	³ Amazon	

Nota: El costo total se calculó con un IVA del 13 %.

Fuente: ¹ (Cablematic, 2020), ² (Allen-Bradley, 2020), ³ (Amazon, 2020).

2.3. Alternativa de diseño del equipo Portaspec

El equipo Portaspec se encuentra en el laboratorio de control de calidad; por ende, el mismo está contenido en una habitación de 5 x 5 m, lo que hace que no requiera una barrera física para impedir el paso de personal. El laboratorio es operado por una única persona, la cual tiene bajo custodia la llave que permite el funcionamiento del equipo. Parte de los hallazgos encontrados en el análisis de la situación actual de la empresa, se encuentra la necesidad de rediseñar la señalización del lugar e incorporar un sistema de luces de seguridad en la puerta de la habitación. Para la señalización del laboratorio de control de calidad se utilizará la propuesta en la figura 11.

2.3.1 Luces de emergencia

Las luces de emergencia para el laboratorio de control de calidad tendrán la función de alertar al personal que desee ingresar al mismo, donde la luz verde indica que es seguro ingresar a la habitación, por el contrario, la luz roja indica que está en funcionamiento el equipo, por lo que queda terminantemente prohibido ingresar a la habitación. Para la elección de las luces de seguridad en el laboratorio de control de calidad, se propusieron tres distintas alternativas, las cuales se detallan a continuación:

Cuadro 17. Costo de las luces de emergencia para el laboratorio de control de calidad

Dispositivos	Descripción	Costo con IVA (C)	Proveedor	Ilustración
Torre de señalización industrial VDC	Esta señalización tipo semáforo dispone de luces rojas, naranjas y verdes parpadeantes, las cuales indican cuando la máquina va a entrar en funcionamiento, está en funcionamiento o bien se encuentra detenida.	26 438	¹ Cablematic	

Luces de señal para montaje en pared	Este tipo de dispositivo está diseñado para comunicar el estado de las distintas condiciones en la máquina o equipo, adicionalmente cuenta con una alarma que indica cuando la máquina o equipo entra en funcionamiento.	52 221	² Allen-Bradley	
Lámpara de torre de señalización	Este tipo de lámpara indica únicamente cuando la máquina o equipo está en funcionamiento y cuando no está en funcionamiento.	27 231	³ Amazon	

Nota: El costo total se calculó con un IVA del 13 %

Fuente: ¹ (Cablematic, 2020), ²(Allen-Bradley, 2020), ³(Amazon, 2020).

2.4. Valoración de las alternativas de diseño

Con el propósito de seleccionar la alternativa de diseño que se adapte mejor a las necesidades encontradas en los distintos equipos, se valoraron dichas alternativas con base en distintas perspectivas. A continuación, se establecen las perspectivas tomadas en consideración:

- **Perspectiva económica:** Para esta perspectiva se tomó en cuenta el costo de implementación de cada una de las opciones propuestas, con el fin de identificar si las mismas se encuentran dentro de las posibilidades económicas de la empresa.
- **Perspectiva de la ética relacionada con los estándares, la salud y seguridad laboral:** Las alternativas de diseño desde esta perspectiva se basaron en el cumplimiento de los requisitos estipulados en la norma INTE 31-07-01:2016 y la norma de seguridad del OIEA N° SSG-11, para la protección del personal ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes.
- **Perspectiva operativa:** El tiempo de implementación de la alternativa de diseño es un factor importante ya que, al entregar el programa de protección

radiológica, el Ministerio de Salud procederá a realizar una auditoría con el fin de comprobar que lo descrito en dicho programa esté implementado, así que la alternativa de diseño seleccionada debe estar instalada en menos de dos meses. Además, se consideró la efectividad de la propuesta en relación a la seguridad tanto del personal como del proceso productivo, esto con el fin de que se eviten accidentes que puedan provocar un paro del proceso productivo. Es por este motivo que la perspectiva operativa se basó en el tiempo de llegada a la empresa de los insumos requeridos para las alternativas de diseño, el tiempo requerido para su instalación y la efectividad de la alternativa de solución propuesta.

- **Perspectiva ambiental:** La perspectiva ambiental, en primer lugar, se basó en la vida útil de las alternativas de diseño propuestas, ya que se buscó identificar que los componentes que conforman dicha alternativa tengan una vida útil larga con el fin de generar la menor cantidad de desechos, por ende, tener un menor impacto sobre el medio ambiente. Además de la vida útil, se basó también en la correcta gestión del desecho de dicha propuesta, en donde se buscaron distintos proveedores para este proceso.

- **Perspectiva sociocultural:** Esta perspectiva se determinó según el impacto sociocultural que tendría la alternativa de diseño, ya que la inclusión de estas mejoras reafirma el compromiso de la empresa en crear una cultura preventiva, incluyendo tanto a hombres como a mujeres. Además, se debe considerar que, al implementar dichas alternativas, se debe realizar una inducción para explicar la importancia de seguir las medidas de seguridad asociadas a las mismas, recordando que, dentro de la empresa laboran operadores de todos los estratos sociales y con diferentes niveles educativos, por lo que la alternativa de diseño debe de considerar el impacto que tendría sobre los mismos.

Para la elección de la mejor alternativa de solución se realizó una matriz comparativa entre las distintas perspectivas mencionadas anteriormente y cada una de las alternativas de solución propuestas, la cual se muestra en la siguiente tabla.

Cuadro 18. Matriz comparativa de las alternativas de diseño basada desde una perspectiva económica, ética relacionada con la salud y seguridad laboral, operativa, ambiental y equidad relacionada con el impacto sociocultural

Alternativa de diseño	Perspectiva económica		Perspectiva ética relacionada con los estándares, la salud y seguridad laboral	Perspectiva Operativa	Perspectiva Ambiental	Perspectiva sociocultural
	Cantidad	Costo total con IVA (€)	Cumplimiento normativo	Tiempo de elaboración e implementación	Años de vida útil y Gestor de residuos	
1. Rediseño de la señalización para los equipos Valmet, Thermofisher y Portaspec						
Metal	3	97 002	La señalización propuesta está basada en la norma nacional INTE 31-07-01:2016, la cual especifica los requisitos para la señalización de los rótulos de seguridad, indicando a los operarios la conducta a seguir para salvaguardar su integridad.	1 semana	80 (METALCO S.A.)	La señalización propuesta aplica para todos los operarios de las líneas dos y tres de galvanizado y el laboratorio de control de calidad sin importar su género, puesto laboral o edad, fomentando dentro de las mismas una cultura preventiva.
PVC	3	30 510		1 día	15 (Durman Esquivel)	
Acrílico	3	74 106		1 día	10 (Wastech)	
2. Alternativa de diseño para el sistema de enclavamiento en los equipos Valmet y Thermofisher						
A) Malla electro soldada						
Alternativa 1	2	156 260	Para la alternativa de diseño del sistema de enclavamiento se basó en las medidas de seguridad para las radiaciones ionizantes descritas en la norma internacional del OIEA N° SSG-11	2 semanas	80 (METALCO S.A.)	Las soluciones propuestas para el sistema de enclavamiento se basaron en un criterio técnico científico, evitando los juicios de valor o inclinaciones personales.
Alternativa 2	2	2 643 372		3 semanas	76 (METALCO S.A.)	
B) Dispositivos de enclavamiento						
Caja de acceso interruptores de seguridad	2	407 192	Para la alternativa de diseño del sistema de enclavamiento se basó en las medidas de seguridad para las radiaciones ionizantes descritas en la norma internacional del OIEA N° SSG-11	2 semanas	10 años (Fortech)	Las soluciones propuestas para el sistema de enclavamiento se basaron en un criterio técnico científico, evitando los juicios de valor o inclinaciones personales.
Enclavamiento con huellas dactilares	2	82 296		1 semana	8 años (Fortech)	

Enclavamiento con llave	2	206 058		3 semanas	12 años (Fortech)	
Alternativa	Perspectiva económica		Perspectiva ética relacionada con la salud y seguridad laboral	Perspectiva Operativa	Perspectiva Ambiental	Perspectiva de equidad relacionada con el impacto sociocultural
	Cantidad	Costo	Cumplimiento con la 31-07-01:2016	Tiempo de elaboración	Años de vida útil	
C) Luces de seguridad						
Torre de señalización industrial	2	52 876	Para la alternativa de diseño del sistema de enclavamiento se basó en las medidas de seguridad para las radiaciones ionizantes descritas en la norma internacional del OIEA N° SSG-11	2 semanas	8 años (Fortech)	Se debe comunicar a los operadores de las líneas dos y tres de galvanizado y el laboratorio de control de calidad cual es el significado de los colores de las luces, con el fin de que los mismos comprendan la finalidad de este equipo y se fomente una cultura preventiva.
Luces de señal para montaje en pared	2	104 442		2 semanas	6 años (Fortech)	
Lámpara de torre de señalización	2	54 462		1 semana	8 años (Fortech)	
Alternativa de solución para el equipo Portaspec						
A) Luces de seguridad						
Torre de señalización industrial	1	26 438	Para la alternativa de diseño del sistema de enclavamiento se basó en las medidas de seguridad para las radiaciones ionizantes descritas en la norma internacional del OIEA N° SSG-11	2 semanas	8 años	Se debe comunicar a los operadores de las líneas dos y tres de galvanizado y el laboratorio de control de calidad cual es el significado de los colores de las luces, con el fin de que los mismos comprendan la finalidad de este equipo y se fomente una cultura preventiva.
Luces de señal para montaje en pared	1	52 221		2 semanas	6 años	
Lámpara de torre de señalización	1	54 462		1 semana	8 años	

Basándose en el cuadro 18, se determinó lo siguiente para cada alternativa de diseño:

- **Rediseño de la señalización:** El material seleccionado para la señalización de las líneas de galvanizado dos y tres y el laboratorio de control de calidad es el PVC de 3 mm con tinta luminiscente. Esto puesto que, a nivel operativo, tiene una mayor facilidad para su instalación y su fabricación es de solamente un día según el proveedor, además a nivel económico en comparación con la señal metálica y la señal acrílica es mucho más cómoda.

A nivel ambiental, el PVC tiene una vida útil de 15 años, que, al compararla con la señal metálica y señal acrílica, tiene una vida útil óptima, debido a que por una actualización de la normativa no es recomendable seleccionar un material como el metal con una vida útil de 80 años que puede quedar obsoleta en un plazo de 10 años o por el contrario seleccionar un material como el acrílico que es un material más frágil y propenso a dañarse, generando así desechos a corto plazo.

Para la gestión de estas propuestas de señalización se tomaron distintos gestores de residuos, en donde para la señal metálica, el gestor será la propia empresa (METALCO S.A.), para la señal acrílica el gestor de residuos es Wastech y por último para la señal de PVC, el gestor de residuos será Durman Esquivel.

- **Alternativa de diseño para los equipos Valmet y Thermofisher**
 - ✓ **Malla electrosoldada:** La alternativa de diseño seleccionada fue la alternativa 1. Una de las razones para su elección es que existe una diferencia en el costo de implementación con respecto a la alternativa 2 de \$2 487 112, esto debido a que para la construcción de la malla se utilizarán materiales sobrantes del proceso productivo, ayudando así desde una perspectiva ambiental a disminuir la generación de desechos en la empresa. Además, desde una perspectiva operativa, la alternativa de diseño 1 requiere mucho menor tiempo para poder ser implementada en comparación con la alternativa 2.

✓ **Dispositivo de enclavamiento:** El dispositivo de enclavamiento seleccionado fue el enclavamiento de llave, la perspectiva operativa tiene gran relevancia, dado que el encargado de la llave será el responsable de protección radiológica, este será el único que portará la misma, en comparación con el sistema de enclavamiento con huella dactilar requiere registrar la huella dactilar del personal que necesite ingresar a la zona controlada, dando la posibilidad de ingresar sin previa autorización del Responsable de Protección Radiológica, por otra parte el sistema de enclavamiento de caja de acceso con interruptores de seguridad, requiere que los operarios que requieran ingresar reciban una capacitación para manipular correctamente dicho sistema.

A nivel económico el sistema de enclavamiento con llave requiere de un menor mantenimiento en comparación con el sistema de enclavamiento con huella dactilar y su precio es menor por ₡201 134 en comparación con el sistema de enclavamiento de caja de acceso con interruptores de seguridad. Por último, el sistema de enclavamiento con llave presenta una vida útil de 12 años, siendo esta mayor a los otros dos sistemas, cuando este dispositivo haya cumplido su ciclo de vida, el desecho generado será gestionado por medio de la empresa Fortech.

✓ **Luces de seguridad:** La propuesta seleccionada fue la lámpara de torre de señalización, ya que, desde una perspectiva operativa, el tiempo de instalación es de 1 semana (contemplando el tiempo de llegada del equipo), requiriendo esta una semana menos en comparación con las otras dos alternativas.

Desde una perspectiva económica, la lámpara de torre de señalización es una de las alternativas de menor precio, siendo superada únicamente por las luces de señal de montaje en pared (₡2 241 más caro). Por último, desde una perspectiva ambiental, la vida útil de la alternativa seleccionada es de 8 años, por ende, será un desecho que se generará a largo plazo, cuando este

dispositivo haya cumplido su ciclo de vida, el desecho generado será gestionado por medio de la empresa Fortech.

- **Alternativa de solución para el equipo Portaspec:** Al igual que en la alternativa de solución anterior, la alternativa seleccionada fue la lámpara de torre de señalización, por las razones ya mencionadas.

A continuación, se presentan los modelos con la ubicación e instalación de las alternativas de diseño seleccionadas para los equipos Thermofisher, Valmet y Portaspec:

Cuadro 19. Características de la ubicación y altura de los equipos que integran la alternativa de diseño

Objeto	Ubicación	Altura
Señal de advertencia	Puertas de acceso para ingresar al área donde se encuentran los equipos emisores y generadores de radiaciones ionizantes	1.50 m
Señal luminosa	Parte superior izquierda de la puerta de acceso para ingresar al área donde se encuentran los equipos emisores y generadores de radiaciones ionizantes	1.80 m
Dispositivo de enclavamiento	Se colocará al lado derecho de la puerta de acceso para ingresar al área donde se encuentran los equipos emisores y generadores de radiaciones ionizantes	1.40 m



Figura 14. Vista Frontal de la alternativa de diseño para el equipo Thermofisher



Figura 15. Vista superior equipo Valmet



Figura 16. Vista frontal derecha de la alternativa de diseño para el equipo Valmet

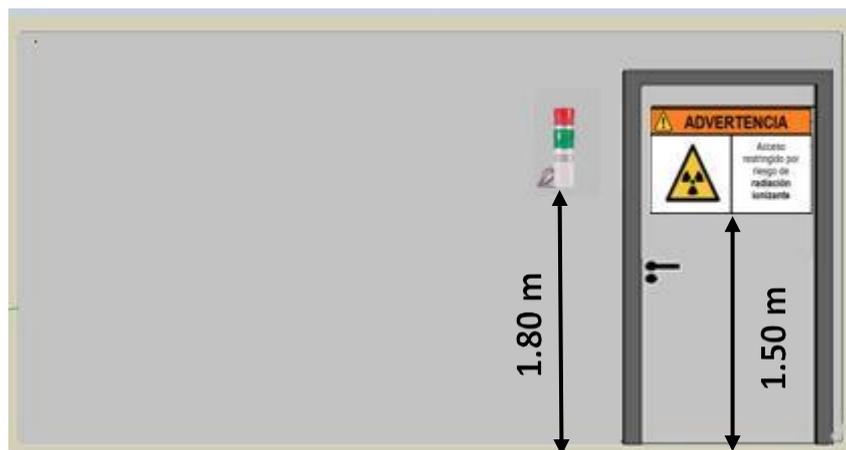


Figura 17. Entrada del laboratorio de control de calidad

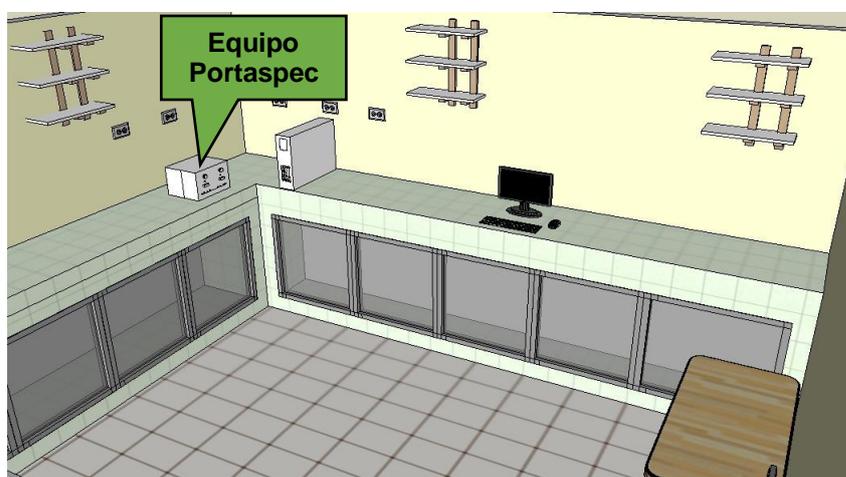


Figura 18. Vista lateral del laboratorio de control de calidad

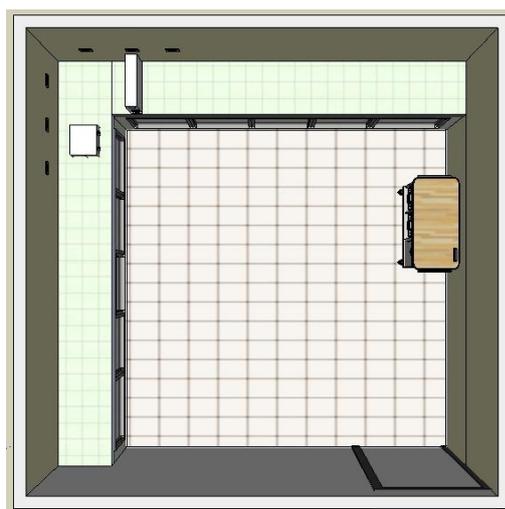


Figura 19. Vista superior del laboratorio de control de calidad

3. Controles administrativos

3.1 Procedimientos de trabajo

En esta sección, se detallan los procedimientos de trabajo que contiene la propuesta de rediseño del Programa de Protección Radiológica, los cuales se deben aplicar tanto en el área administrativa como a los trabajadores que se encargan de manipular los equipos emisores y generadores de radiaciones ionizantes para realizar las actividades laborales de manera segura y garantizar la inspección y correcto funcionamiento de los equipos.

Cada procedimiento tiene su propio código seguido de un número que lo identifica con el fin de llevar un orden. El incumplimiento de alguno de estos protocolos por parte del personal será sancionado por la empresa, basándose en el Art. 81 inciso f del código de trabajo “Cuando el trabajador comprometa con su imprudencia o descuido absolutamente inexcusable, la seguridad del lugar donde se realizan las labores o la de las personas que allí se encuentren” (Código de trabajo, 1943).

Los procedimientos de trabajo son los siguientes:

- PTS-MET-1: “Inspección de los equipos Valmet, Thermofisher y Portaspec”.
- PTS-MET-2: “Mantenimiento de los equipos Valmet, Thermofisher y Portaspec”.
- PTS-MET-3: “Operación segura de los equipos Valmet, Thermofisher y Portaspec”.
- PTS-MET-4: “Limpieza de las zonas controladas”.
- PTS-MET-5: “Manejo de los desechos radioactivos”.
- PTS-MET-6: “Dosimetría personal”.
- PTS-MET-7: “Respuesta ante emergencia”

Para la codificación de los documentos, METALCO S.A. les asigna de primero el tipo de documento con tres letras, posteriormente la empresa a la cual pertenece

el documento con tres letras y por último el número de consecutivo con un dígito. En la siguiente figura se describe la codificación de los documentos:

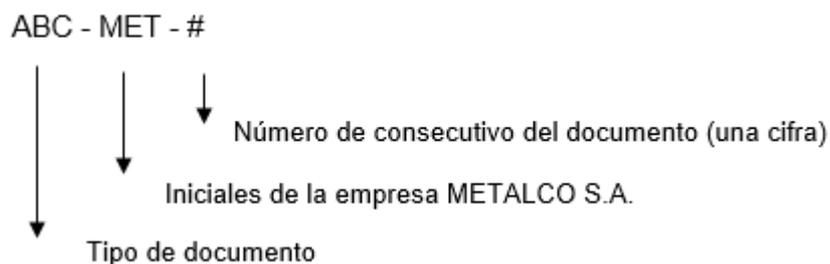


Figura 20. Diagrama de codificación de documentos

En el cuadro 20 se detallan las siglas designadas para los documentos de referencia y su respectivo significado.

Cuadro 20. Codificación asignada a los documentos de acuerdo a su tipo

Sigla	Tipo
PTS	Procedimiento de trabajo
LIV	Lista de inspección para el equipo Valmet
LIT	Lista de inspección para el equipo Thermofisher
LIP	Lista de inspección para el equipo Portaspec
FM	Formulario para el mantenimiento de equipos
BME	Bitácora para el mantenimiento de equipos
BZC	Bitácora de acceso a las zonas controladas
BDR	Boleta de control de sustancias de desecho radioactivo
FMS	Formulario de solicitud
LVSG	Lista de verificación basada en la norma Sistema de Gestión para el transporte seguro.
FDP	Formulario de dosimetría personal.

En la siguiente figura se detalla el orden de los procedimientos de trabajo y sus respectivos formularios.

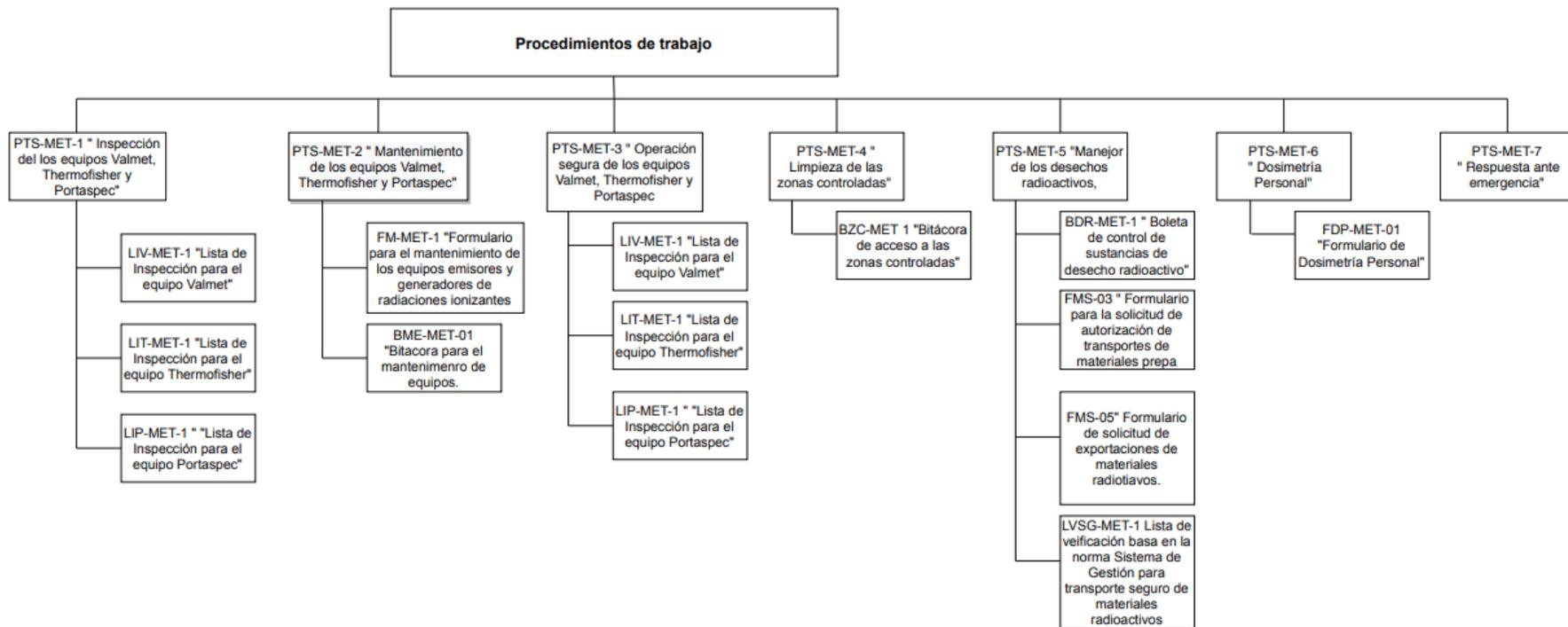


Figura 21. Procedimientos de trabajo con sus respectivos documentos de referencia

	PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN DE EQUIPOS	Código: PTS-MET-1
		Versión: 001
		Páginas: 1 de 2

1. Objetivo

Establecer una herramienta de verificación de las condiciones físicas de los equipos Valmet, Thermofisher y Portaspec.

2. Alcance

Como parte del uso seguro de los equipos emisores y generadores de radiaciones ionizantes, se deben realizar inspecciones visuales, previo al uso del equipo y para verificar su estado, que permitan detectar alteraciones o daños en estos, para su posterior reporte. Este procedimiento es aplicable para los equipos Thermofisher, Valmet y Portaspec, los cuales se encuentran en las líneas dos y tres de galvanizado y el laboratorio de control de calidad.

3. Documentos de referencia

Código	Nombre	Tipo de registro	Lugar de archivo	Responsable
LIV-MET-1	Lista de inspección para el equipo Valmet	Impreso	Carpeta del PPR	Responsable de Protección Radiológica
LIT-MET-1	Lista de inspección para el equipo Thermofisher	Impreso	Carpeta del PPR	Responsable de Protección Radiológica
LIP-MET-1	Lista de inspección para el equipo Portaspec	Impreso	Carpeta del PPR	Responsable de Protección Radiológica

4. Responsabilidades

El Departamento de Salud Ocupacional es responsable de:

- Realizar una inducción al personal sobre los aspectos a revisar de los equipos.
- Custodiar los formularios asociados a este procedimiento, una vez que el operario haya completado la información.

	PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN DE EQUIPOS	Código: PTS-MET-1
		Versión: 001
		Páginas: 2 de 2

- Coordinar el mantenimiento del equipo que incumpla algunas de las condiciones del formulario con el encargado de Mantenimiento.

Los operarios que manipulan los equipos Thermofisher, Valmet y Portaspec son responsables de:

- Verificar que el equipo no esté en funcionamiento.
- Realizar la inspección del equipo previo a su uso mediante la aplicación de la lista de verificación LIV-MET-1, LIT-MET-1 y/o LIP-MET-1.
- Reportar cualquier anomalía que haya sido detectada en el equipo con el supervisor inmediato.

5. Desarrollo

5.1 El operario debe verificar que el equipo no se encuentre en funcionamiento previo a ingresar a la zona controlada mediante la observación de las luces de emergencia del sistema de enclavamiento.

5.2 El operario debe realizar inspecciones diarias donde aplique la lista de verificación del equipo que corresponda previo a la operación de los equipos para detectar condiciones que puedan causar un incidente.

5.3 Cuando la lista de verificación haya sido completada por el operario y este detecte anomalías en el equipo, debe informar de inmediato el hallazgo mediante un correo electrónico al Responsable de Protección Radiológica, quien autorizará o no el uso del equipo en cuestión.

5.4 El Responsable de Protección Radiológica debe contactar al Ingeniero de Mantenimiento Industrial para que proceda a la reparación del equipo.

5.5 En caso de no encontrar anomalías, realiza sus labores cotidianas con normalidad y al final de su jornada laboral entrega la lista de verificación al Departamento de Salud Ocupacional

5.6 El Departamento de Salud Ocupacional es el encargado de conservar los formularios de manera física y llevar registro computarizado de los mismos.

	LISTA DE INSPECCIÓN PARA EL EQUIPO VALMET	Código: LIV-MET-1
		Versión: 001
		Páginas: 1 de 6

Información del equipo	
Marca equipo:	
Modelo del equipo:	
Tipo de fuente:	
Ubicación:	
Actividad que realiza:	
Nombre de quien revisa el equipo:	Firma:
Fecha de la revisión	

1. Seguridad Eléctrica

Ítem	Cumplimiento			Observaciones
	Si	No	No aplica (N/A)	
¿Los cables de conexión presentan daños físicos, como, por ejemplo: cortes, desgastes y deformaciones visibles?				
¿Las rocas de los cables de conexión muestran desgastes?				
¿El cable de alimentación del equipo con conexión a tierra presenta algún daño no está dañado?				
¿Se encuentran todos los cables de alimentación aislados?				

	LISTA DE INSPECCIÓN PARA EL EQUIPO VALMET			Código: LIV-MET-1
				Versión: 001
				Páginas: 2 de 6

¿Están todos los contactos eléctricos protegidos contra el contacto del operador?				
2. Integridad del equipo				
Ítem	Cumplimiento			Observaciones
	Si	No	No aplica (N/A)	
¿El equipo presenta daños físicos (golpes, abolladuras, deformaciones y similares)?				
¿El sistema de parada de emergencia funciona adecuadamente?				
¿El indicador luminoso y/o sonoro de equipo activo (listo para emitir rayos X) se encuentra en buen estado y funcionando correctamente?				

	LISTA DE INSPECCIÓN PARA EL EQUIPO VALMET			Código: LIV-MET-1
				Versión: 001
				Páginas: 3 de 6

¿El temporizador del equipo se encuentra en buen estado y funcionando correctamente?				
¿El indicador de kilo voltaje (kV) y la corriente en miliamperes (mA) se encuentran en buen estado y funcionando correctamente?				
¿Los interruptores de encendido y apagado del equipo se encuentran funcionando y en buen estado?				
¿El interruptor de llave, se encuentra funcionando para prevenir el uso no autorizado?				

	LISTA DE INSPECCIÓN PARA EL EQUIPO VALMET			Código: LIV-MET-1
				Versión: 001
				Páginas: 4 de 6

¿Los rodillos de la banda transportadora presentan daños físicos (golpes, abolladuras, deformaciones y similares)?				
¿Funcionan correctamente los sensores del equipo?				
2. Panel de control eléctrico				
Ítem	Cumplimiento			Observaciones
	Si	No	No aplica (N/A)	
¿Presenta daños físicos (golpes, abolladuras, perforaciones, deformaciones y similares)?				

	LISTA DE INSPECCIÓN PARA EL EQUIPO VALMET	Código: LIV-MET-1
		Versión: 001
		Páginas: 5 de 6

¿El panel cuenta con una etiqueta de advertencia que prohíba su uso no autorizado?				
¿El interruptor de llave maestra, se encuentra funcionando para prevenir el uso no autorizado?				
¿La pantalla del panel, indica que el equipo se en buen condiciones óptimas para irradiar?				
¿Las luces de seguridad indicadoras de estado del panel, indican que el irradiador está listo para irradiar?				

	LISTA DE INSPECCIÓN PARA EL EQUIPO VALMET	Código: LIV-MET-1
		Versión: 001
		Páginas: 6 de 6

3. Blindaje				
Ítem	Cumplimiento			Observaciones
	Si	No	No aplica (N/A)	
¿La carcasa del blindaje, presenta daños físicos (golpes, abolladuras, perforaciones, deformaciones y similares) en su estructura?				
¿La estructura base y cubierta del blindaje, presenta óxido sobre su superficie?				
¿El sistema de cierre de la compuerta del blindaje presenta daños físicos evidentes?				
Firma del supervisor:				
Fecha:				
Daños encontrados:				

	LISTA DE INSPECCIÓN PARA EL EQUIPO THERMOFISHER	Código: LIT-MET-1
		Versión: 001
		Páginas: 1 de 5

Información general del equipo Thermofisher				
Marca equipo:				
Modelo del equipo:				
Tipo de fuente:				
Ubicación:				
Actividad que realiza:				
Nombre de quien revisa el equipo:				Firma:
Fecha de la revisión				
1. Seguridad Eléctrica				
Ítem	Cumplimiento			Observaciones
	Si	No	No aplica (N/A)	
¿Los cables de conexión presentan daños físicos, como, por ejemplo: cortes, desgastes y deformaciones visibles?				
¿Las rocas de los cables de conexión muestran desgastes?				

	LISTA DE INSPECCIÓN PARA EL EQUIPO THERMOFISHER			Código: LIT-MET-1
				Versión: 001
				Páginas: 2 de 5

¿El cable de alimentación del equipo con conexión a tierra presenta algún daño no está dañado?				
¿Se encuentran todos los cables de alimentación aislados?				
¿Están todos los contactos eléctricos protegidos contra el contacto del operador?				
2. Integridad del equipo				
Ítem	Cumplimiento			Observaciones
	Si	No	No aplica (N/A)	
¿El equipo presenta daños físicos (golpes, abolladuras, deformaciones y similares)?				
¿El sistema de parada de emergencia funciona adecuadamente?				

	LISTA DE INSPECCIÓN PARA EL EQUIPO THERMOFISHER	Código: LIT-MET-1
		Versión: 001
		Páginas: 3 de 5

¿El indicador luminoso y/o sonoro de equipo activo (listo para emitir rayos X) se encuentra en buen estado y funcionando correctamente?				
¿El temporizador del equipo se encuentra en buen estado y funcionando correctamente?				
¿El tacómetro del equipo se encuentra en buen estado y funcionando correctamente?				
¿El indicador de kilo voltaje (kV) y la corriente en miliamperes (mA) se encuentran en buen estado y funcionando correctamente?				
¿Los interruptores de encendido y apagado del equipo se encuentran funcionando y en buen estado?				
¿El interruptor de llave, se encuentra funcionando para prevenir el uso no autorizado?				

	LISTA DE INSPECCIÓN PARA EL EQUIPO THERMOFISHER			Código: LIT-MET-1
				Versión: 001
				Páginas: 4 de 5

¿Los rodillos de la banda transportadora presentan daños físicos (golpes, abolladuras, deformaciones y similares)?				
¿Funcionan correctamente los sensores del equipo?				
3. Panel de control eléctrico				
Ítem	Cumplimiento			Observaciones
	Si	No	No aplica (N/A)	
¿Presenta daños físicos (golpes, abolladuras, perforaciones, deformaciones y similares)?				
¿El panel cuenta con una etiqueta de advertencia que prohíba su uso no autorizado?				
¿El interruptor de llave maestra, se encuentra funcionando para prevenir el uso no autorizado?				
¿La pantalla del panel, indica que el equipo se en buen condiciones óptimas para irradiar?				

	LISTA DE INSPECCIÓN PARA EL EQUIPO THERMOFISHER	Código: LIT-MET-1
		Versión: 001
		Páginas: 5 de 5

¿Las luces de seguridad indicadoras de estado del panel, indican que el irradiador está listo para irradiar?				
¿Funciona la alarma del equipo en caso de presentar alguna anomalía?				

4. Irradiador (rayos X)

Ítem	Cumplimiento			Observaciones
	Si	No	No aplica (N/A)	
¿La carcasa del irradiador, presenta daños físicos (golpes, abolladuras, perforaciones, deformaciones y similares) en su estructura?				
¿La estructura base y cubierta del irradiador, presenta óxido sobre su superficie?				
¿El área de carga del porta muestras presentan daños físicos evidentes?				
¿El sistema de cierre de la compuerta del irradiador presenta daños físicos evidentes?				
Firma del supervisor:				
Fecha:				
Daños encontrados:				

	LISTA DE INSPECCIÓN PARA EL EQUIPO PORTASPEC	Código: LIP-MET-1
		Versión: 001
		Páginas: 1 de 7

Información general del equipo Portaspec	
Marca equipo:	
Modelo del equipo:	
Tipo de fuente:	
Ubicación:	
Actividad que realiza:	
Nombre de quien revisa el equipo:	Firma:
Fecha de la revisión	

1. Seguridad Eléctrica

Ítem	Cumplimiento			Observaciones
	Si	No	No aplica (N/A)	
¿Los cables de conexión presentan daños físicos, como, por ejemplo: cortes, desgastes y deformaciones visibles?				
¿Las rocas de los cables de conexión muestran desgastes?				

	LISTA DE INSPECCIÓN PARA EL EQUIPO PORTASPEC			Código: LIP-MET-1
				Versión: 001
				Páginas: 2 de 7

¿El cable de alimentación del equipo con conexión a tierra presenta algún daño no está dañado?				
¿Se encuentran todos los cables de alimentación aislados?				
¿Están todos los contactos eléctricos protegidos contra el contacto del operador?				
2. Integridad del equipo				
Ítem	Cumplimiento			Observaciones
	Si	No	No aplica (N/A)	
¿El equipo presenta daños físicos (golpes, abolladuras, deformaciones y similares)?				

	LISTA DE INSPECCIÓN PARA EL EQUIPO PORTASPEC			Código: LIP-MET-1
				Versión: 001
				Páginas: 3 de 7

¿El sistema de parada de emergencia funciona adecuadamente?				
¿El indicador luminoso y/o sonoro de equipo activo (listo para emitir rayos X) se encuentra en buen estado y funcionando correctamente?				
¿El temporizador del equipo se encuentra en buen estado y funcionando correctamente?				
¿El tacómetro del equipo se encuentra en buen estado y funcionando correctamente?				

	LISTA DE INSPECCIÓN PARA EL EQUIPO PORTASPEC			Código: LIP-MET-1
				Versión: 001
				Páginas: 4 de 7

¿El indicador de calentamiento del equipo se encuentra en buen estado y funcionando correctamente?				
¿El indicador de kilo voltaje (kV) y la corriente en miliamperes (mA) se encuentran en buen estado y funcionando correctamente?				
¿Los interruptores de encendido y apagado del equipo se encuentran funcionando y en buen estado?				
¿El interruptor de llave, se encuentra funcionando para prevenir el uso no autorizado?				

	LISTA DE INSPECCIÓN PARA EL EQUIPO PORTASPEC			Código: LIP-MET-1
				Versión: 001
				Páginas: 5 de 7

¿Funcionan correctamente los sensores del equipo?				
3. Panel de control eléctrico				
Ítem	Cumplimiento			Observaciones
	Si	No	No aplica (N/A)	
¿Presenta daños físicos (golpes, abolladuras, perforaciones, deformaciones y similares)?				
¿El panel cuenta con una etiqueta de advertencia que prohíba su uso no autorizado?				
¿El interruptor de llave maestra, se encuentra funcionando para prevenir el uso no autorizado?				

	LISTA DE INSPECCIÓN PARA EL EQUIPO PORTASPEC			Código: LIP-MET-1
				Versión: 001
				Páginas: 6 de 7

¿La pantalla del panel, indica que el equipo se en buen condiciones óptimas para irradiar?				
¿Las luces de seguridad indicadoras de estado del panel, indican que el irradiador está listo para irradiar?				
¿Funciona la alarma del equipo en caso de presentar alguna anomalía?				

	LISTA DE INSPECCIÓN PARA EL EQUIPO PORTASPEC	Código: LIP-MET-1
		Versión: 001
		Páginas: 7 de 7

4. Irradiador (rayos X)				
Ítem	Cumplimiento			Observaciones
	Si	No	No aplica (N/A)	
¿La carcasa del irradiador, presenta daños físicos (golpes, abolladuras, perforaciones, deformaciones y similares) en su estructura?				
¿La estructura base y cubierta del irradiador, presenta óxido sobre su superficie?				
¿El área de carga del porta muestras presentan daños físicos evidentes?				
¿El porta muestras, presenta daños físicos (golpes, abolladuras, perforaciones, deformaciones y similares)?				
¿El sistema de cierre de la compuerta del irradiador presenta daños físicos evidentes?				
Firma del supervisor:				
Fecha:				
Daños encontrados:				

	MANTENIMIENTO DE LOS EQUIPOS VALMET, THERMOFISHER Y PORTASPEC	Código: PTS-MET-2
		Versión: 001
		Páginas: 1 de 3

1. Alcance

Este procedimiento aplica para los equipos Thermofisher, Valmet y Portaspec en las líneas dos y tres de galvanizado y el laboratorio de control de calidad que requieran mantenimiento por del Ingeniero en Mantenimiento Industrial.

2. Objetivo

Evitar el uso de los equipos emisores y generadores de radiaciones ionizantes que se encuentren en mal estado.

3. Documentos de referencia

Código	Nombre	Tipo de registro	Lugar de archivo	Responsable
LIV-MET-1	Lista de inspección para el equipo Valmet	Impreso	Carpeta del PPR	Responsable de Protección Radiológica
LIT-MET-1	Lista de inspección para el equipo Thermofisher	Impreso	Carpeta del PPR	Responsable de Protección Radiológica
LIP-MET-1	Lista de inspección para el equipo Portaspec	Impreso	Carpeta del PPR	Responsable de Protección Radiológica
FM-MET-1	Formulario para el mantenimiento de los equipos emisores y generadores de radiaciones ionizantes	Impreso	Carpeta del PPR	Ingeniero en Mantenimiento Industrial
BME-MET-01	Bitácora para el mantenimiento de equipos	Digital	Carpeta del PPR	Ingeniero en Mantenimiento Industrial
PTS-MET-1	"Inspección de los equipos Valmet, Thermofisher y Portaspec	Digital	Carpeta del PPR	Responsable de Protección Radiológica

	MANTENIMIENTO DE LOS EQUIPOS VALMET, THERMOFISHER Y PORTASPEC	Código: PTS-MET-2
		Versión: 001
		Páginas: 2 de 3

4. Responsabilidades

Los operarios que manipulan los equipos Thermofisher, Valmet y Portaspec son responsables de:

- Realizar la inspección periódica del equipo mediante la lista de verificación que corresponda según el equipo.
- Notificar al Responsable de Protección Radiológica por medio del correo electrónico cuando se detecten fallos del equipo. El responsable de Protección Radiológica asume las siguientes responsabilidades:
- Solicitar al Ingeniero en Mantenimiento Industrial la inspección y reparación del equipo reportado.
- Incorporar al registro digital de los equipos la bitácora BME-MET-01 con la información del mantenimiento realizado al equipo.
- Verificar que se hayan realizado las mejoras del equipo reportado en conjunto con el Ingeniero de Mantenimiento industrial.

Encargado de mantenimiento

- Solicitar al Responsable de Protección Radiológica la lista de verificación completada por el operario.
- Realizar una inspección detallada de todos los componentes del equipo reportado.
- Cuando se requiera, las piezas que no funcionen o estén dañadas deberán ser reemplazadas y someter el equipo a pruebas de funcionalidad según proceda.
- Mantener registros de todo el mantenimiento, incluida la sustitución de las piezas.
- Enviar la bitácora con la información del mantenimiento al Responsable de Protección Radiológica.

	MANTENIMIENTO DE LOS EQUIPOS VALMET, THERMOFISHER Y PORTASPEC	Código: PTS-MET-2
		Versión: 001
		Páginas: 3 de 3

5. Desarrollo

5.1. El equipo correspondiente debe ser revisado por el operario del equipo, como lo indica el procedimiento de trabajo PTS-MET-1 “Inspección de los equipos Valmet, Thermofisher y Portaspec”

5.2. Si al realizar la inspección, el operario detecta alguna anomalía en el equipo, este debe informar al Responsable de Protección Radiológica, quien autorizará o no el uso del equipo.

5.3. El Responsable de Protección Radiológica debe gestionar la solicitud de mantenimiento correctivo del equipo reportado por correo electrónico y documentar las bitácoras realizadas por el encargado de mantenimiento.

5.4. El encargado de mantenimiento es el responsable de revisar y reparar el equipo reportado.

5.5. En caso de requerir algún cambio de pieza, el encargado de mantenimiento debe gestionar la compra de esta con el encargado de proveeduría.

5.6. Posterior a reparar el equipo, el Ingeniero en Mantenimiento debe generar la bitácora con los ajustes realizados y enviarla al Responsable de Protección Radiológica.

5.7. El Ingeniero en Mantenimiento debe verificar el correcto funcionamiento del equipo en conjunto con el Responsable de Protección Radiológica.

	FORMULARIO PARA EL MANTENIMIENTO DE LOS EQUIPOS EMISORES Y GENERADORES DE RADIACIONES IONIZANTES	Código: FM-MET-01	
		Versión: 001	
		Páginas: 1 de 2	

Mantenimiento de los equipos emisores y generadores de radiaciones ionizantes			
<i>Información del equipo</i>			
Marca del equipo:			
Modelo del equipo:			
Número de serie del equipo:			
Ubicación del equipo:			
Año de adquisición del equipo:			
Años de fabricación del equipo:			
Proveedor:			
<i>Información para el mantenimiento</i>			
Nombre de quien hace la solicitud del mantenimiento:			
Fecha de solicitud del mantenimiento:			
Señale la prioridad de realización del mantenimiento: (marque con una sola x)	1	2	3
Señale el tipo de mantenimiento que requiere el equipo:	Diagnóstico	Preventivo	Correctivo
Describa el estado en que se encuentra el equipo y enuncie las fallas que presenta: 			

	FORMULARIO PARA EL MANTENIMIENTO DE LOS EQUIPOS EMISORES Y GENERADORES DE RADIACIONES IONIZANTES	Código: FM-MET-01
		Versión: 001
		Páginas: 2 de 2

Si el equipo ha recibido mantenimiento, indicar a los siguientes datos a continuación			
Día	Mes	Año	Descripción
A continuación, detalle el mantenimiento realizado al equipo			
En caso de realizar el cambio en algún componente del equipo indicar:			
Nombre del componente	Marca del componente	Serie del componente	Función del componente
Observaciones:			
Firma del Ingeniero en Mantenimiento		Firma del Departamento de Seguridad Ocupacional	

	PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN SEGURA DEL EQUIPO VALMET	Código: PTSV-MET-3
		Versión: 001
		Páginas: 1 de 3

1. Alcance

El procedimiento para la operación segura del equipo Valmet aplica a todos aquellos operadores del Valmet, estos están orientados según lo indicado en la Norma de seguridad del OIEA N° SSG-8.

2. Objetivo

Establecer procedimientos de trabajo seguros en la operación de los equipos emisores de radiaciones ionizantes.

3. Documentos de referencia

Código	Nombre	Tipo de registro	Lugar de archivo	Responsable
LIV-MET-1	Lista de inspección para el equipo Valmet	Impreso	Carpeta del PPR	Responsable de Protección Radiológica

4. Responsabilidades

Los operadores del equipo Valmet son responsables de:

- Seguir las pautas indicadas en el procedimiento PTSV-MET-3.
- Realizar la inspección previa a la manipulación del equipo Valmet aplicando la lista de verificación LIV-MET-1.
- Reportar las anomalías que presenten los equipos al Responsable de Protección de Radiológica por medio del correo electrónico.

	PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN SEGURA DEL EQUIPO VALMET	Código: PTSV-MET-3
		Versión: 001
		Páginas: 2 de 3

- Portar el Dosímetro Personal Termoluminiscente (TLD) en todo momento durante la ejecución de las tareas en las líneas de galvanizado dos y tres y el laboratorio de control de calidad.

El Responsable de Protección Radiológica asume las siguientes responsabilidades:

- Garantizar que el personal que opera el equipo Valmet, lo haga de manera segura y siguiendo las pautas del procedimiento PTSV-MET-3.
- Implementar los procedimientos para la Inspección de los equipos (PTS-MET-1), el mantenimiento de los equipos (PTS-MET-2) y la operación segura del equipo Valmet (PTSV-MET-3), además informar al personal que opere el equipo.

5. Desarrollo

5.1. El operador antes de iniciar la jornada laboral debe verificar mediante la lista de verificación LIV-MET-1 que la máquina no ha sufrido ningún daño o desperfecto que pueda afectar los sistemas de seguridad (blindajes, sistema de enclavamiento o luces de emergencia), ante cualquier anomalía vía correo electrónico al Responsable de Protección Radiológica.

5.2. Antes de operar la máquina el operador debe verificar que el sistema de enclavamiento funcione adecuadamente.

5.3. Por ningún motivo el operador debe ingresar a la zona controlada mientras el equipo Valmet esté en funcionamiento.

5.4. Cuando se termine el operador su turno de trabajo o vaya a dejar sola la máquina por alguna razón, notifique vía correo electrónico con su jefe inmediato.

5.5. Si el operador detecta cualquier anomalía, notifíquelo al Responsable de Protección Radiológica, nunca trate por ningún motivo de resolver algún problema o alteración que tenga el equipo por sus propios medios.

	PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN SEGURA DEL EQUIPO VALMET	Código: PTSV-MET-3
		Versión: 001
		Páginas: 3 de 3

5.6. El operador debe mantener el uso del Dosímetro Personal Termoluminiscente (TLD) siguiendo las normas establecidas por el prestatario del servicio y las indicaciones que el Responsable de Protección Radiológica le pueda facilitar.

	PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN SEGURA DEL EQUIPO THERMOFISHER	Código: PTST-MET-3
		Versión: 001
		Páginas: 1 de 3

1. Alcance

El procedimiento para la operación segura del equipo Thermofisher aplica a todos aquellos operadores del equipo Thermofisher, estos están orientados según lo indicado en la Norma de seguridad del OIEA N° SSG-8.

2. Objetivo

Brindar los lineamientos de seguridad para la operación del equipo Thermofisher.

3. Documentos de referencia

Código	Nombre	Tipo de registro	Lugar de archivo	Responsable
LIT-MET-1	Lista de inspección para el equipo Thermofisher.	Impreso	Carpeta del PPR	Responsable de Protección Radiológica

4. Responsabilidades

Los operadores de los equipos Thermofisher son responsables de:

- Seguir las pautas indicadas en el procedimiento PTST-MET-3
- Realizar la inspección previa a la manipulación del equipo Thermofisher mediante la aplicación de la lista de inspección (LIT-MET-1).
- Reportar las anomalías que presenten el equipo al Responsable de Protección de Radiológica por medio del correo electrónico.

	PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN SEGURA DEL EQUIPO THERMOFISHER	Código: PTST-MET-3
		Versión: 001
		Páginas: 2 de 3

- Portar el Dosímetro Personal Termoluminiscente (TLD) en todo momento durante la ejecución de las tareas en las líneas de galvanizado dos y tres y el laboratorio de control de calidad.

El Responsable de Protección Radiológica asume las siguientes responsabilidades:

- Garantizar que el personal que opera el equipo Thermofisher lo haga de manera segura y siguiendo las pautas del procedimiento PTST-MET-3.
- Implementar los procedimientos para la Inspección de los equipos (PTS-MET-1), el mantenimiento de los equipos (PTS-MET-2) y la operación segura del equipo Thermofisher (PTST-MET-3), además informar al personal que opere el equipo.

5. Desarrollo

5.1. Para operar este equipo el trabajador debe estar capacitado en Medidas de Seguridad en el uso de radiaciones ionizantes, brindado por el Responsable de Protección Radiológica y el entrenamiento especial para el uso del equipo.

5.2. El operador diariamente debe realizar una revisión visual del equipo para verificar que no cuente con golpes y que cuente con todos los protectores o blindajes de seguridad instalados correctamente, para eso debe llenar la lista de inspección del equipo LIT-MET-1.

5.3. El operador debe colocar la llave en la ranura del equipo Thermofisher.

	PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN SEGURA DEL EQUIPO THERMOFISHER	Código: PTST-MET-3
		Versión: 001
		Páginas: 3 de 3

- 5.4.** El operario debe encender el equipo girando la llave a *ON* y presionado el botón de *“power”*.
- 5.5.** El operador debe revisar el panel y verificar que no de ninguna alarma o luz de precaución.
- 5.6.** El operador debe colocar la lámina en el porta muestras.
- 5.7.** El operador debe colocarse los anteojos de seguridad.
- 5.8.** El operador debe mantener alejadas las manos y el cuerpo lo más posible del área de emisión.
- 5.9.** El operador no debe remover o bloquear el cobertor de seguridad.
- 5.10.** El operador debe evitar en todo momento mirar la emisión del rayo.
- 5.11.** Al terminar el análisis de la lámina, el operador debe apagar el equipo girando la llave a *OFF*.
- 5.12.** El operario debe quitar y guardar la llave en el lugar asignado por su supervisor.
- 5.13.** De observar algún problema al operar este equipo, el operario debe informarle de inmediato al supervisor y al Responsable de Protección Radiológica, ya sea por viva voz o por vía correo electrónico.

	PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN SEGURA DEL EQUIPO PORTASPEC	Código: PTSP-MET-3
		Versión: 001
		Páginas: 1 de 3

1. Alcance

El procedimiento para la operación segura de equipos aplica a todos aquellos operadores del equipo Portaspec, estos están orientados según lo indicado en la Norma de seguridad del OIEA N° SSG-8.

2. Objetivo

Brindar los lineamientos de seguridad para la operación del equipo Portaspec.

3. Documentos de referencia

Código	Nombre	Tipo de registro	Lugar de archivo	Responsable
LIP-MET-1	Lista de inspección para el equipo Portaspec	Impreso	Carpeta del PPR	Responsable de Protección Radiológica

4. Responsabilidades

Los operadores del equipo Portaspec son responsables de:

- Seguir las pautas indicadas en el procedimiento PTSP-MET-3
- Realizar la inspección previa a la manipulación del equipo Portaspec.
- Reportar las anomalías que presenten los equipos al Responsable de Protección de Radiológica por medio del correo electrónico.
- Portar el Dosímetro Personal Termoluminiscente (TLD) en todo momento durante la ejecución de las tareas en las líneas de galvanizado dos y tres y el laboratorio de control de calidad.

	PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN SEGURA DEL EQUIPO PORTASPEC	Código: PTSP-MET-3
		Versión: 001
		Páginas: 2 de 3

El Responsable de Protección Radiológica asume las siguientes responsabilidades:

- Garantizar que el personal que opera el equipo Portaspec, lo haga de manera segura y siguiendo las pautas del procedimiento PTSP-MET-3.
- Implementar los procedimientos para la Inspección de los equipos (PTS-MET-1), el mantenimiento de los equipos (PTS-MET-2) y la operación segura del equipo Portaspec (PTSP-MET-3), además informar al personal que opere el equipo.

5. Desarrollo

5.1. Para operar este equipo el trabajador debe estar capacitado en Medidas de Seguridad en el uso de radiaciones ionizantes, brindado por el responsable de protección radiológica y el entrenamiento especial para el uso del equipo.

5.2. El trabajador debe realizar una revisión visual del equipo y verificar que no cuente con golpes y que se encuentren colocados correctamente todos los blindajes de seguridad que tiene el equipo, para eso cuenta con un formulario para la inspección de este.

5.3. El operario debe colocar la llave en la ranura del equipo.

5.4. El operario debe encender el equipo girando la llave a *ON* y presionado el interruptor de poder.

5.5. El operario debe revisar el panel y verificar que no de ninguna alarma o luz de precaución (roja)

5.6. El operario debe esperar 3 minutos mientras el tubo de rayos X se calienta.

5.7. Cuando el calentamiento está listo, la luz de *“ready”* se encenderá indicando que el calentamiento está completo.

	PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN SEGURA DEL EQUIPO PORTASPEC	Código: PTSP-MET-3
		Versión: 001
		Páginas: 3 de 3

5.8. El operario debe verificar las siguientes condiciones en el equipo:

- a. Interruptor de rango: X1K
- b. Interruptor del tiempo de respuesta: F
- c. Seleccionador digital de tiempo:10
- d. Multiplicador de ajuste de tiempo: X1

5.9. El operador debe colocar el material en el porta muestras.

5.10. El operador debe mantener las manos y cuerpo lo más alejado posible del área de emisión.

5.11. El operador no debe remover o bloquear el cobertor de seguridad o sistema de enclavamiento por ninguna razón.

5.12. El operario debe evitar siempre mirar la emisión del rayo.

5.13. Al terminar el análisis de la lámina, el operador debe apagar el equipo girando la llave a *OFF*.

5.14. El operador debe quitar y guardar la llave en el lugar asignado por su supervisor.

5.15. De observar algún problema por mínimo que sea al operar este equipo, el operario debe informarlo inmediatamente al supervisor y al Responsable de Protección Radiológica, ya sea por viva voz o por vía correo electrónico.

	PROCEDIMIENTO DE LIMPIEZA PARA LAS ZONAS CONTROLADAS	Código: PTS-MET-4
		Versión: 001
		Páginas: 1 de 3

1. Alcance

La limpieza de la zona controlada es importante para evitar la presencia de agentes biológicos en estas zonas, por lo que el mismo busca que se ejecute esta labor sin poner en riesgo la salud del personal. El procedimiento PTS-MET-4 aplica para las zonas controladas de las líneas de galvanizado dos y tres y el laboratorio de control de calidad.

2. Objetivo

Ofrecer al personal de limpieza de las líneas dos y tres de galvanizado y el laboratorio de control de calidad procedimientos de trabajo seguros en la operación de los equipos emisores de radiaciones ionizantes.

3. Documentos de referencia

Código	Nombre	Tipo de registro	Lugar de archivo	Responsable
BZC-MET-01	Bitácora para el ingreso de la zonas controladas	Impreso	Carpeta del PPR	Responsable de Protección Radiológica
LIV-MET-1	Lista de inspección para el equipo Valmet	Impreso	Carpeta del PPR	Responsable de Protección Radiológica
LIT-MET-1	Lista de inspección para el equipo Thermofisher	Impreso	Carpeta del PPR	Responsable de Protección Radiológica
LIP-MET-1	Lista de inspección para el equipo Portaspec	Impreso	Carpeta del PPR	Responsable de Protección Radiológica

	PROCEDIMIENTO DE LIMPIEZA PARA LAS ZONAS CONTROLADAS	Código: PTS-MET-4
		Versión: 001
		Páginas: 3 de 3

4. Responsabilidades

El Responsable de Protección Radiológica asume las siguientes responsabilidades:

- Autorizar el ingreso del personal de limpieza a la zona controlada.
- Contar con registros de la hora de ingreso y salida del personal (BZC-MET-1).
- Verificar que las condiciones de la zona controlada sean seguras para el ingreso del personal mediante la lista de verificación correspondiente al equipo.

El personal de limpieza de las zonas controladas es responsable de:

- Ingresar únicamente a la zona controlada cuando el responsable de protección radiológica así lo autorice.
- Portar el Dosímetro Personal Termoluminiscente (TLD) en todo momento.
- Registrarse en bitácora de ingreso a la zona controlada siempre antes de entrar a la zona controlada y después de finalizar las labores.

5. Desarrollo

5.1. Para poder ingresar a la zona controlada el responsable de limpieza se debe contar con la previa autorización del Responsable de Protección Radiológica.

5.2. Previo al ingreso el responsable de limpieza se debe verificar que el equipo no esté en funcionamiento y que las condiciones sean seguras para su acceso.

5.3. El responsable de limpieza debe colocar el Dosímetro Personal Termoluminiscente (TLD) lo más cercano al pecho. (Ver figura V-10).

5.4. El responsable de limpieza debe de llenar la bitácora de ingreso a la zona controlada BZC-MET-1, registrar su nombre completo, hora de ingreso y la fecha. Esta se encontrará colocada en la puerta de acceso a la zona controlada, la

	PROCEDIMIENTO DE LIMPIEZA PARA LAS ZONAS CONTROLADAS	Código: PTS-MET-4
		Versión: 001
		Páginas: 3 de 3

cual será revisada por el Responsable de Protección Radiológica al finalizar la jornada laboral.

5.5. Luego de finalizar sus labores el responsable de limpieza debe registrar la hora de salida en la bitácora de ingreso a la zona controlada BZC-MET-1 y reportar su salida ante el Responsable de Protección Radiológica, para posteriormente hacer la entrega del Dosímetro Personal Termoluminiscente (TLD) a este. El valor de la dosis obtenida en cada Dosímetro Personal Termoluminiscente (TLD) se encontrará en el software ProXdos TM.

	BITÁCORA PARA EL INGRESO A LAS ZONAS CONTROLADAS	Código: BZC-MET-1
		Versión: 001
		Páginas: 1 de 1

Información General					
Nombre del operador a cargo de la limpieza:					
Cargo que desempeña:					
Área a la que pertenece:					
Fecha	Hora Inicio	Hora Finaliza	Nombre	Firma	Observaciones

	PROCEDIMIENTO PARA EL MANEJO DE LOS DESECHOS RADIOACTIVOS	Código: PTS-MET-5
		Versión: 001
		Páginas: 1 de 3

1. Alcance

El procedimiento aplica para las sustancias radiactivas consideradas como desecho radiactivo que pertenezcan a los equipos Thermofisher, Valmet y Portaspec.

2. Objetivo

Brindar indicaciones para el manejo correcto de las sustancias radioactivas consideradas como desecho en las líneas dos y tres de galvanizado y el laboratorio de control de calidad.

3. Documentos de referencia

Código	Nombre	Tipo de registro	Lugar de archivo	Responsable
BDR-MET-1	Boleta de control de sustancias de desecho radioactivos	Impreso	Carpeta del PPR	Responsable de Protección Radiológica
FMS-03	Formulario para la solicitud de autorización de transporte de materiales radioactivos.	Digital	Carpeta del PPR	Responsable de Protección Radiológica
FMS-05	Formulario de solicitud de exportación de materiales radioactivos	Digital	Carpeta del PPR	Responsable de Protección Radiológica
LVSG-MET-1	Lista de verificación basada en la norma Sistema de Gestión para el transporte seguro de materiales radioactivos	Digital	Carpeta del PPR	Responsable de Protección Radiológica

	PROCEDIMIENTO PARA EL MANEJO DE LOS DESECHOS RADIOACTIVOS	Código: PTS-MET-5
		Versión: 001
		Páginas: 2 de 3

4. Responsabilidades

El Responsable de Protección Radiológica asume las siguientes responsabilidades:

- Completar la boleta de control de sustancias de desecho radioactivos BDR-MET-1.
- Completar y enviar al Ministerio de Salud el formulario para la solicitud de autorización de transporte de materiales radioactivos.
- Coordinar con los proveedores el transporte de los materiales radioactivos.
- Verificar mediante la lista de verificación LVSG-MET-1, el cumplimiento de los requerimientos indicados por el Ministerio de Salud.
- Colaborar con el proceso de devolución de los desechos radiactivos a los proveedores.

El ingeniero en Mantenimiento Industrial es responsable de:

- Revisar los equipos Thermofisher, Valmet y Portaspec cuando estos presenten algún desperfecto o falla.
- Reportar al Responsable de Protección Radiológica cuando los equipos (Thermofisher, Valmet y/o Portaspec) hayan cumplido su vida útil o bien ya no se pueda reparar.

	PROCEDIMIENTO PARA EL MANEJO DE LOS DESECHOS RADIOACTIVOS	Código: PTS-MET-5
		Versión: 001
		Páginas: 3 de 3

5. Desarrollo

5.1. Al momento de reportar las sustancias radioactivas como desecho por parte del Ingeniero en Mantenimiento, el Responsable de Protección Radiológica debe coordinar con los proveedores de los equipos para su correcto.

5.2. El Responsable de Protección Radiológica debe completar la Boleta de control de sustancias radioactivas “BDR-MET-1” y enviársela al proveedor correspondiente.

5.3. El Responsable de Protección Radiológica debe contactar al proveedor de los equipos para el retiro de las sustancias radioactivas y enviar al Ministerio de Salud el formulario FMS-03 para la solicitud de autorización de transporte de materiales radioactivos.

5.4. El Responsable de Protección Radiológica debe acatar los requerimientos y medidas de seguridad que estipule el Ministerio de Salud.

5.5. El Responsable de Protección Radiológica aplicará la lista de verificación LVSG-MET-1.

5.6. El Responsable de Protección Radiológica informará al Ministerio de Salud, sobre el proceso de devolución de la sustancia radiactiva de desecho ante el proveedor.

	BOLETAS DE CONTROL DE SUSTANCIAS DE DESECHOS RADIATIVAS	Código: BDR-MET-1
		Versión: 001
		Páginas: 1 de 1

Boleta de control de sustancias de desecho radioactivos
Proveedor de la fuente radioactiva:
Ubicación:
Fecha de salida de la fuente:
a. Etiquetado
Nombre del isótopo:
Tipo de radiación:
Actividad inicial de la fuente:
Periodo de desintegración de la fuente:
Fecha de adquisición de la fuente:
Peso:
b. Almacenamiento
Tipo de contenedor empleado:
Material del contenedor:
Fecha de colocación en el contenedor:
Observaciones:
Fecha:
Firma del Responsable de Protección Radiológica:
Firma Representante Legal:

	FORMULARIO PARA LA SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN DE TRANSPORTE DE MATERIALES RADIOACTIVOS	Código: FMS-03
		Versión: 001
		Páginas: 1 de 2

1. MOTIVO DE PRESENTACIÓN		2. TIPO DE INSTALACIÓN				3. SUBCLASIFICACIÓN	
Primera vez		I	II	III	IV		
Renovación							
Modificación							
4. EXPEDICIÓN							
<input type="checkbox"/> Transporte habitual							
<input type="checkbox"/> Transporte por única vez Fecha/Período estimado del transporte:							
Origen de la expedición							
Destino de la expedición				Destino final (sólo en caso de exportación)			
5. TRANSPORTISTA							
Nombre o razón social				Cédula física o jurídica			
Provincia				Cantón		Distrito	
Dirección exacta							
Representante legal							
Teléfonos		Fax		Apartado postal		Correo electrónico	
Datos de los vehículos							
	Marca	Modelo	Año	Placa			
1							
2							
3							
4							
5							
Conductores							
	Nombre		No. Licencia		Vigencia		
1							
2							
3							
4							
5							
Caracterización de los detectores de radiaciones ionizantes							
	Descripción	Marca	Modelo	Serie	Ámbitos de medición		
1							
2							
3							
4							
5							
6. REMITENTE							
Nombre				País			
Provincia/Estado				Ciudad		Página web	
Dirección							
Persona de contacto							
Teléfonos		Fax		Apartado postal		Correo electrónico	

	FORMULARIO PARA LA SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN DE TRANSPORTE DE MATERIALES RADIOACTIVOS	Código: FMS-03
		Versión: 001
		Páginas: 2 de 2

7. DESTINATARIO			
Nombre		País	
Provincia/Estado	Ciudad	Página web	
Dirección			
Persona de contacto			
Teléfonos	Fax	Apartado postal	Correo electrónico
8. INTERMEDIARIO (llenar cuando aplique)			
Nombre o razón social		Cédula física o jurídica	
Provincia	Cantón	Distrito	
Dirección exacta			
Representante legal			
Teléfonos	Fax	Apartado postal	Correo electrónico
9. FIRMA DEL REPRESENTANTE LEGAL DEL TRANSPORTISTA			
FECHA		FIRMA	

REQUERIMIENTOS DE LA SOLICITUD
<p>Para solicitudes por primera vez y renovaciones</p> <p>Ficha(s) de Emergencia para el Transporte Terrestre de Materiales Radiactivos. Fotocopia autenticada o simple para confrontar con el original del Certificado del bulto, otorgado por la Autoridad Competente del país de origen o por el OIEA. Certificado de material radiactivo en forma especial y/o certificado de fuente sellada cuando aplique. Plan de Seguridad Física, en caso de transporte de bultos tipo B, C e industriales y en caso de materiales radiactivos transportados en virtud de arreglos especiales. Documento que certifique que la distancia entre los bultos y el conductor y su acompañante es tal que no se sobrepasa el límite de dosis al público. Fotocopia autenticada o simple para confrontar con el original del certificado de calibración del detector de radiación, en caso de transporte de bultos tipo B, tipo C e industriales y en caso de materiales radiactivos transportados en virtud arreglos especiales. Formulario "Datos Técnicos para Transporte/Exportación de Materiales Radiactivos" para cada uno de los bultos a transportar.</p>

Tomado de: Ministerio de Salud, 2020

	FORMULARIO DE SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN DE EXPORTACIÓN DE MATERIALES RADIOACTIVOS	Código: FMS-05
		Versión: 001
		Páginas: 1 de 3

ANTES DE COMPLETAR EL FORMULARIO, SÍRVASE A LEER EL INSTRUCTIVO DE LLENADO DEL MISMO			
EXPORTADOR – REMITENTE			
Nombre o razón social		Cédula física o jurídica	
Provincia	Cantón	Distrito	
Dirección exacta			
Teléfonos	Correo electrónico	Apartado postal	Fax
DATOS DEL REPRESENTANTE LEGAL O PROPIETARIO (EXPORTADOR – REMITENTE)			
Nombre del representante legal o propietario		Número de documento de identidad	
Teléfonos	Correo electrónico	Apartado postal	Fax
IMPORTADOR – DESTINATARIO			
Nombre		Número de Autorización o Licencia	Persona de contacto
País	Provincia/Estado	Ciudad	Dirección exacta
Teléfonos	Correo electrónico	Apartado postal	Fax
INTERMEDIARIO			
Nombre o razón social		Cédula física o jurídica	
Provincia	Cantón	Distrito	
Dirección exacta			
Teléfonos	Correo electrónico	Apartado postal	Fax
TRANSPORTISTAS INTERNACIONALES			
<i>Transportista 1</i>			
Nombre		Persona de contacto	País
Provincia/Estado	Ciudad	Dirección exacta	
Teléfonos	Correo electrónico	Apartado postal	Fax
<i>Transportista 2</i>			
Nombre		Persona de contacto	País
Provincia/Estado	Ciudad	Dirección exacta	
Teléfonos	Correo electrónico	Apartado postal	Fax

	FORMULARIO DE SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN DE EXPORTACIÓN DE MATERIALES RADIOACTIVOS	Código: FMS-05
		Versión: 001
		Páginas: 2 de 3

DATOS DEL MATERIAL RADIOACTIVO	
--------------------------------	--

Clase de instalación asociada al material radiactivo	Descripción del material radiactivo

Fuentes radiactivas no selladas No aplica
(Si no se exportan fuentes radiactivas no selladas marque "No aplica")

Radioisótopo	Fabricante o marca	Actividad máxima (Bq o múltiplos de Bq)	Forma física

Fuentes radiactivas selladas No aplica
(Si no se exportan fuentes radiactivas selladas marque "No aplica")

Radioisótopo	Fabricante o marca	Modelo	Número de serie	Actividad (Bq o múltiplos de Bq)	Fecha de la actividad	Categoría de la fuente	MRFE*	
							Sí	No

*MRFE: Material radiactivo en *forma especial*

DATOS DE LOS CONTENEDORES O EQUIPOS QUE CONTIENEN LAS FUENTES								
---	--	--	--	--	--	--	--	--

Tipo de bulto	Fabricante o marca	Modelo	Número de serie	Capacidad máxima (Bq o múltiplos de Bq)	Número ONU	Índice de transporte	Categoría del bulto	Número de serie de la fuente que contiene

DATOS DE LA EXPEDICIÓN	
------------------------	--

Modo de transporte

Terrestre
 Aéreo
 Marítimo

Aduana/Punto específico de salida

Aduana Caldera
 Aduana Central
 Aduana de Limón
 Aduana de Peñas Blancas
 Aduana La Anexión
 Aduana Paso Canoas
 Aduana Santamaría
 Puesto Sixaola
 Otra (especificar):

País/Estado de importación

País/Estado	Punto específico de entrada (paso fronterizo, puerto o aeropuerto)

Países/Estados de tránsito

País/Estado	Puntos específicos de entrada y salida (pasos fronterizos, puertos o aeropuertos)	
	Entrada	Salida

	FORMULARIO DE SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN DE EXPORTACIÓN DE MATERIALES RADIOACTIVOS	Código: FMS-05
		Versión: 001
		Páginas: 3 de 3

Origen de la expedición	Destino final de la expedición
Fecha/Período estimado en que se realizará la exportación	
FIRMA DEL REPRESENTANTE LEGAL	
Declaro que la información consignada en este formulario es completa y correcta a mi leal saber y entender y que el envío se llevará a cabo de conformidad con los reglamentos internacionales y nacionales respectivos.	
Firma del Representante Legal o Propietario:	Fecha:
_____	_____
<p style="text-align: center;"> Unidad organizativa del Ministerio de Salud encargada de revisar la solicitud: Unidad de Protección Radiológica Dirección de Protección Radiológica y Salud Ambiental Ministerio de Salud – Calle 16, Avenidas 6 y 8, San José </p> <p style="text-align: center;"> Para cualquier consulta o aclaración sírvase a llamar al número telefónico 2221-6058 o envíe un correo electrónico a la dirección correspondenciaupr@misalud.go.cr. </p>	

Tomado de: Ministerio de Salud, 2020

	LISTA DE VERIFICACIÓN BASADA EN LA NORMA DE SEGURIDAD DEL OIEA N°-TS-G-1.4 “SISTEMA DE GESTIÓN PARA TRANSPORTE SEGURO DE MATERIALES RADIOACTIVOS	Código: LVSG-MET-1
		Versión: 001
		Páginas: 1 de 4

Leyenda		Si:  2			
		En proceso:  1			
		No:  0			
Sistema de Gestión para el transporte seguro de materiales radioactivos					
1. Políticas y protocolos					
Ítem	Requisito	Cumplimiento			Observaciones
		S	P	N	
1	¿Existen políticas institucionales de seguridad para el transporte de materiales radioactivos?				
2	¿Se cuenta con un protocolo que abarque todos los aspectos de seguridad para el transporte de materiales radiactivos dentro de la empresa?				
3	¿Se contempla el protocolo de seguridad de transporte de material radiactivo dentro del programa de protección radiológica?				
4	¿Existe un protocolo previo al transporte de materiales radioactivos, donde se garantice las condiciones de seguridad?				

	LISTA DE VERIFICACIÓN BASADA EN LA NORMA DE SEGURIDAD DEL OIEA N°-TS-G-1.4 “SISTEMA DE GESTIÓN PARA TRANSPORTE SEGURO DE MATERIALES RADIOACTIVOS”	Código: LVSG-MET-1
		Versión: 001
		Páginas: 2 de 4

2. Chequeo al personal					
Ítem	Requisito	Cumplimiento			Observaciones
		S	P	N	
1	¿El personal que va a realizar el transporte del material radioactivo está capacitado y entrenado?				
2	¿El personal tiene experiencia desarrollando esta tarea?				
3	¿El medio de transporte para trasladar el material radioactivo es propio de la empresa?				
3. Señalización del vehículo					
Ítem	Requisito	Cumplimiento			Observaciones
		S	P	N	
1	¿El vehículo cuenta con los números ONU DOT?				
2	¿El vehículo posee los rótulos de identificación y corresponden a los peligros de materiales radioactivos que se transporta?				

	LISTA DE VERIFICACIÓN BASADA EN LA NORMA DE SEGURIDAD DEL OIEA N°-TS-G-1.4 “SISTEMA DE GESTIÓN PARA TRANSPORTE SEGURO DE MATERIALES RADIOACTIVOS”	Código: LVSG-MET-1
		Versión: 001
		Páginas: 4 de 4

3	¿Los rótulos del material radioactivo se encuentran bien ubicados?				
4	¿Es reflector el rotulo del vehículo?				

4. Chequeo del equipo de seguridad

Ítem	Requisitos	Cumplimiento			Observaciones
		S	P	N	
1	¿El vehículo cuenta con los elementos básicos de atención de emergencias: ropa protectora, linterna, botiquín de primeros auxilios, extintores y señales de advertencia?				

5. Chequeo de la carga

Ítem	Requisitos	Cumplimiento			Observaciones
		S	P	N	
1	¿La carga de los materiales radioactivos se encuentra bien acomodada?				
2	¿La carga de los materiales radioactivos se encuentra bien acomodada?				
3	¿La carga de los materiales dentro del vehículo está debidamente sujeta?				

6. Chequeo al vehículo

ítem	Requisito	Cumplimiento			Observaciones
		S	P	N	
1	¿El vehículo posee dispositivo sonoro que se active en el momento que este moviéndose en dirección reversa?				
2	¿El vehículo cuenta con un sistema eléctrico que está protegido contra riesgos de chispas o explosiones?				
3	¿Se realiza revisiones técnicas periódicamente de los siguientes elementos: luces, bocina, espejo retrovisor y revisión mecánica?				

7. Chequeo de documentos

Item	Requisitos	Cumplimiento	Observaciones
------	------------	--------------	---------------

	LISTA DE VERIFICACIÓN BASADA EN LA NORMA DE SEGURIDAD DEL OIEA N°-TS-G-1.4 “SISTEMA DE GESTIÓN PARA TRANSPORTE SEGURO DE MATERIALES RADIOACTIVOS	Código: LVSG-MET-1
		Versión: 001
		Páginas: 4 de 4

		S	P	N	
1	¿El vehículo posee póliza vigente de seguros?				
2	¿Se cuenta con ficha de seguridad/instrucciones de emergencia?				
8. Chequeo de la llegada radioactiva a la empresa					
Ítem	Requisitos	Cumplimiento			Observaciones
		S	P	N	
1	¿Existen protocolos de seguridad para despejar el área cuando se va a descargar el material radioactivo del vehículo?				
2	¿Se verifica durante el transporte las radiaciones emitidas por fuente a trasladar?				
3	¿La fuente radioactiva se encuentra blindada?				

	PROCEDIMIENTO DE DOSIMETRÍA PERSONAL	Código: PTS-MET-6
		Versión: 001
		Páginas: 1 de 3

1. Alcance

El procedimiento aplica a todos los trabajadores que realicen actividades con los equipos emisores y generadores de radiaciones ionizantes existentes en las líneas dos y tres de galvanizado y el laboratorio de control de calidad. Es importante que estos colaboradores porten un dosímetro personal siempre que realicen sus actividades de trabajo, porque la legislación nacional e internacional relacionada al uso de radiaciones ionizantes lo exige.

2. Objetivo

Brindar a los operarios de las líneas dos y tres de galvanizado y laboratorio de control de calidad pautas a seguir, para el uso de dosímetros personales termoluminiscentes (TLD).

3. Documentos de referencia

Código	Nombre	Tipo de registro	Lugar de archivo	Responsable
FDP-MET-1	Formulario de dosimetría personal	Impreso y digital	Carpeta del PPR	Responsable de Protección Radiológica

4. Responsabilidades

Los supervisores de las líneas dos y tres de galvanizado y el laboratorio de control de calidad tienen las siguientes responsabilidades:

- Comunicar a los colaboradores la obligatoriedad de portar el dosímetro personal siempre al realizar su trabajo con equipos emisores de radiaciones ionizantes.
- Garantizar que los operadores hagan entrega de los dosímetros en el periodo establecido.

	PROCEDIMIENTO DE DOSIMETRÍA PERSONAL	Código: PTS-MET-6
		Versión: 001
		Páginas: 2 de 3

El Responsable de Protección Radiológica asume las siguientes responsabilidades:

- Recibir los reportes de las dosimetrías personales, registrar los informes y comunicar al personal los resultados obtenidos.
- Hacer la solicitud de cambio del dosímetro personal al proveedor en caso de que este se extravíe o presente daños.

Los operarios de las líneas dos y tres de galvanizado y el laboratorio de control de calidad tienen las siguientes responsabilidades:

- Portar en todo momento el dosímetro personal, evitar golpes o caídas de este.
- Cada operador es responsable del dosímetro personal que le sea brindado.
- Informar al Responsable de Protección Radiológica alguna anomalía o daño del dosímetro personal.
- Guardar el dosímetro personal en un lugar seco y seguro, con el fin de evitar daños en el mismo.

5. Desarrollo

5.1 Los trabajadores de las líneas dos y tres de galvanizados y el laboratorio de control de calidad, deben seguir las siguientes disposiciones relacionadas al uso de los dosímetros personales termoluminiscentes (TLD):

5.1.1 El operador debe portar el dosímetro personal en todo momento que estén en las zonas controladas y supervisadas.

5.1.2 El operador debe colocar el dosímetro lo más cercano al pecho (Ver figura 22).

5.1.3 El operador debe notificar al Responsable de Protección Radiológica cualquier daño o anomalía que sufra el dosímetro.

5.1.4 El operador deben entregar al Responsable de Protección Radiológica el dosímetro personal al finalizar su jornada laboral.

	PROCEDIMIENTO DE DOSIMETRÍA PERSONAL	Código: PTS-MET-6
		Versión: 001
		Páginas: 3 de 3

5.2 El Responsable de Protección Radiológica deben seguir las indicaciones en relación con los dosímetros personales termoluminiscentes (TLD):

5.2.1 Recibir los dosímetros personales de los operadores de las líneas de galvanizado dos, tres y el laboratorio de control de calidad.

5.2.2 Recibir los informes de las dosimetrías personales por parte del proveedor y comunicarle al personal los resultados.

5.2.3 Gestionar ante el proveedor, el cambio de dosímetros por daño de este.

5.2.4 Entregar los nuevos dosímetros personales a cada colaborador que trabaje en las líneas dos y tres de galvanizado y el laboratorio de control de calidad.

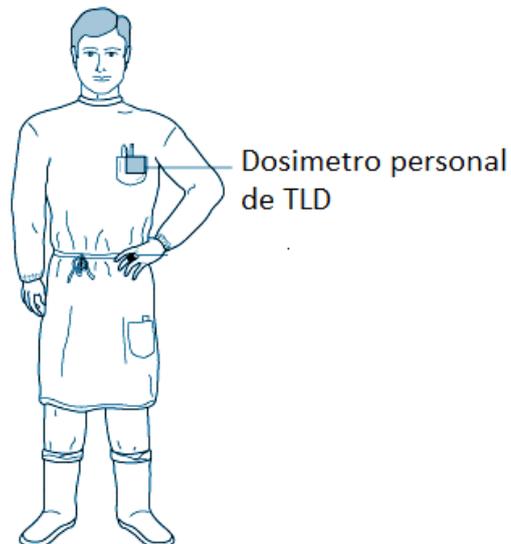


Figura 22. Colocación del dosímetro personal de TLD

	FORMULARIO DE DOSIMETRÍA PERSONAL	Código: FDP-MET-01
		Versión: 001
		Páginas: 1 de 1

Información General				
Nombre del trabajador:				
Cédula del trabajador:				
Departamento:				
Cargo:				
Código del dosímetro:				
Registro mensual de dosis(mSv/año)				
Mes	Cristalino (50 mSv/año)	Cuerpo Entero (20 mSv/año)	Superficie (500 mSv/año)	Año
Enero				2020
Febrero				
Marzo				
Abril				
Mayo				
Junio				
Julio				
Agosto				
Setiembre				
Octubre				
Noviembre				
Diciembre				
Acumulado al año				
Mes	Cristalino (50 mSv/año)	Cuerpo Entero (20 mSv/año)	Superficie (500 mSv/año)	Año
Enero				2021
Febrero				
Marzo				
Abril				
Mayo				
Junio				
Julio				
Agosto				
Setiembre				
Octubre				
Noviembre				
Diciembre				
Acumulado al año				

	PROCEDIMIENTO DE RESPUESTA ANTE EMERGENCIAS	Código: PTS-MET-07
		Versión: 001
		Páginas: 1 de 6

1. Alcance

Este procedimiento contempla la respuesta ante posibles emergencias derivadas de los equipos Valmet, Thermofisher y Portaspec, específicamente ante:

- a) Golpe sobre la máquina que pueda dañar el blindaje de la fuente radiactiva.
- b) Sistema de cierre de compuerta de fuente radiactiva defectuoso.
- c) Incendio o corto circuito en la máquina o cerca de la misma.
- d) Ruptura del sistema de protección de la fuente con posibilidad de rompimiento de la pastilla radiactiva.

2. Objetivo

Establecer mecanismos seguros de respuesta ante emergencias radioactivas para una acción coordinada oportuna de los colaboradores de METALCO S.A.

3. Documentos de referencia

Código	Nombre	Tipo de registro	Lugar de archivo	Responsable
PDE-MET-20	Plan de emergencias	Impreso	Carpeta del PPR	Responsable de Protección Radiológica

4. Responsabilidades

Es responsabilidad del Departamento de Salud Ocupacional:

- Identificar los posibles riesgos asociados a los equipos Thermofisher, Valmet y Portaspec.

	PROCEDIMIENTO DE RESPUESTA ANTE EMERGENCIAS	Código: PTS-MET-07
		Versión: 001
		Páginas: 2 de 6

- Actualizar el Plan de preparativos y respuesta ante emergencias de la empresa METALCO S.A.

El Responsable de Protección Radiológica asume las siguientes responsabilidades:

- Capacitar al personal de las líneas dos y tres de galvanizado y el laboratorio de control de calidad ante las posibles emergencias asociadas a los equipos Valmet, Thermofisher y Portaspec.
- Activar la señal de alarma ante una emergencia, según lo establecido en el Plan de preparativos y respuesta ante emergencia.
- Coordinar con los equipos de emergencia externos a la organización para la atención de una eventual emergencia relacionadas a los equipos Valmet, Thermofisher y Portaspec.
- Coordinar con la Brigada de Emergencias de la empresa la atención y evacuación del personal, según lo estipulado en el Plan de preparativos y respuesta ante emergencias.

Es responsabilidad de los operarios de las líneas dos y tres de galvanizado y el laboratorio de control de calidad:

- Informar al Responsable de Protección Radiológica cualquier fallo en el correcto funcionamiento de los equipos.
- Recibir las capacitaciones brindadas por el Responsable de Protección Radiológica.

	PROCEDIMIENTO DE RESPUESTA ANTE EMERGENCIAS	Código: PTS-MET-07
		Versión: 001
		Páginas: 3 de 6

5. Desarrollo

5.1 Daños físicos de los equipos Thermofisher, Valmet y Portaspec:

5.1.1 En caso de observar alguna anomalía el operador en el equipo (Valmet, Thermofisher o Portaspec) contactar inmediatamente al Responsable de la Protección Radiológica.

5.1.2 El Responsable de la Protección Radiológica deberá realizar mediciones alrededor del área afectada para verificar la integridad de los blindajes de la fuente radiactiva de la máquina.

5.1.3 En caso de que el operador encuentre actividad o lecturas en la medición desarrollada en el punto anterior, el Responsable de Protección Radiológica en colaboración con la Brigada de Emergencias, evacuarán al personal y detendrán el funcionamiento del equipo.

5.1.4 El operador debe de mantener informado de la situación al responsable legal de la empresa y a los demás departamentos internos.

5.1.5 De no ser posible la reparación del daño, el Responsable de Protección Radiológica deberá mantener el equipo fuera de servicio, continuar en comunicación con el fabricante del equipo y enviar un reporte de lo sucedido a la Sección de Control de Radiaciones Ionizantes del Ministerio de Salud, el cual estará en la capacidad de asesorar o tomar las medidas que considere pertinentes al caso en específico.

5.2 Sistema de cierre de compuerta de fuente radiactiva defectuoso:

En caso de que el sistema de compuerta de la fuente radiactiva no funcione adecuadamente proceda de la siguiente forma:

5.2.1 Ante cualquier anomalía en el sistema de cierre de compuerta de la fuente radioactiva el operador debe comunicar inmediatamente al Responsable de Protección Radiológica. Mientras tanto el operador no descuide el desarrollo del funcionamiento del equipo, ni se permita el ingreso de personal cerca de la zona controlada.

5.2.2 El Responsable de Protección Radiológica debe verificar la situación para coordinar el respectivo trabajo con el Encargado de Mantenimiento y el Jefe de Galvanizado.

5.2.3 De igual forma, el Responsable de Protección Radiológica en colaboración con el personal de turno, deben detener el funcionamiento del equipo. El Responsable de Protección Radiológica Comunicar la situación a los diferentes departamentos y al representante legal de la empresa, para que éste envíe el respectivo informe a la Sección de Control de Radiaciones Ionizantes del Ministerio de Salud.

5.2.4 Si el Encargado de Mantenimiento repara la situación sin problema o complicación alguna, el Responsable de Protección Radiológica en conjunto con el Jefe de Galvanizado podrán autorizar el funcionamiento del equipo. En caso contrario, se deberá contactar al fabricante y no autorizar el funcionamiento de la máquina.

5.3 Incendio o corto circuito en la máquina o cerca de la misma:

5.3.1 En caso de incendio o conato de incendio, debe de darse prioridad a la zona de blindaje de la fuente radioactiva.

5.3.2 Si el operador visualiza cualquier tipo de incendio que amenace los intereses de la compañía, este debe de comunicarse de inmediato a los respectivos supervisores, coordinadores de brigadas, coordinador de Salud Ocupacional, jefes, gerentes, Responsable de Protección Radiológica (o suplentes) y demás personal de interés.

5.3.3 El operador debe detener el funcionamiento del equipo, verificar que la compuerta del blindaje de la fuente radioactiva esté en posición cerrada, desenergizar el equipo en su totalidad.

5.3.4 El operador después de dar la voz de alarma, tratar de intervenir el avance del fuego por medio de equipo portátil de tipo ABC, esperar el arribo de personal de brigada y demás coordinadores para utilizar otras técnicas de impedimento de avance de fuego hacia el contenedor de la fuente radiactiva principalmente.

5.3.5 Si por alguna razón el fuego no cede su paso, el operario debe seguir según lo especificado en el procedimiento del Plan de Emergencias en cuanto a la solicitud de ayuda externa (cuerpo de bomberos-primera respuesta y unidad de soporte técnico de materiales peligrosos).

5.3.6 Si en caso muy remoto, el fuego está alcanzando el contenedor o blindaje de la fuente radiactiva, el operario o bien los brigadistas deben mantener el lanzamiento de agua sobre la misma para asegurar que las paredes del blindaje estén lo más frío posible.

5.3.7 Posterior a que la extinción del fuego y el estado de emergencia se levante, el Responsable de Protección Radiológica debe realizar en conjunto con Encargado de Mantenimiento y Jefe de Galvanizado o a quien éste designe, las respectivas mediciones del área controlada y tomar nota en la bitácora del equipo.

5.3.8 Si existiera alguna situación que el Responsable de Protección Radiológica, Encargado de Mantenimiento y Jefe de Galvanizado considere de importancia, no permitir el uso del equipo, contactarse con el fabricante, retroalimentar en todo momento al titular de la licencia para que a su vez éste realice el respectivo reporte al Ministerio de Salud.

5.4. Ruptura del sistema de protección de la fuente con posibilidad de rompimiento de la pastilla radiactiva:

5.4.1. Si por alguna razón el operario detecta alguna ruptura del sistema de blindaje de protección de la fuente radiactiva, nunca intente resolver el problema por sencillo que parezca, pues el americio es un material catalogado como peligroso por su radio toxicidad.

5.4.2. El operario debe alertar de inmediato a sus superiores, para que a su vez éste avise al Responsable de Protección Radiológica, Encargado de Mantenimiento y Jefe de Galvanizado.

5.4.3 El operador debe detener y apagar el equipo de inmediato. No permita que nadie se acerque al equipo en un radio aproximado de 5 metros.

5.4.4. Cuando arribe el Responsable de Protección Radiológica, Encargado de Mantenimiento y Jefe de Galvanizado, el operador debe informar de la situación para que estos corroboren los datos suministrados.

5.4.5. El operario debe comunicarle de inmediato al Responsable de Protección Radiológica la situación, para que éste comunique lo mismo al Ministerio de Salud, a la Sección de Control de Radiaciones Ionizantes y de ser necesario solicitar ayuda.

5.4.6. El Responsable de Protección Radiológica debe aislar el área y no permitir el paso de nadie por la Zona Controlada. El turno de trabajo debe prestar colaboración en todo momento al Responsable de Protección Radiológica, Encargado de Mantenimiento y Jefe de Galvanizado. Mantener siempre informado al titular de la licencia.

5.4.7. El Responsable de Protección Radiológica debe facilitar la ayuda y equipo que los profesionales del Ministerio de Salud soliciten, además de cumplir con las recomendaciones que estos brinden

Una vez establecidos los procedimientos de trabajo para los equipos Valmet, Thermofisher y Portaspec, como parte de los controles administrativos se procede a describir la vigilancia radiológica, dosimétrica y a la salud, además del Plan de Capacitación.

3.2 Vigilancia radiológica de las zonas de trabajo

La vigilancia radiológica de las zonas de trabajo tiene como objetivo confirmar que los niveles de radiación existentes en las líneas dos y tres de galvanizado y el laboratorio de control de calidad están dentro de los valores de los límites establecidos, además de comprobar la efectividad de las medidas de protección.

Para ello el Responsable de Protección Radiológica realizará esta vigilancia de los niveles de radiación de forma mensual por medio del Software ProXdos TM o bien siempre que se modifiquen las condiciones habituales de trabajo o se detecte

alguna irregularidad que afecte a la protección radiológica. Los niveles de referencia de intervención fijados en el Decreto N°24037-S para una dosis anual máxima son de:

- Zona de libre acceso: 1 mSv/año
- Zona vigilada o supervisada: 6 mSv/año
- Zona controlada: 20 mSv/año

3.3 Vigilancia dosimétrica de los trabajadores expuestos

Se realizará la vigilancia dosimétrica a los trabajadores ocupacionalmente expuestos en las líneas dos y tres de galvanizado y el laboratorio de control de calidad. Los registros digitales se mantendrán actualizados, en estos se revisarán las dosis efectivas mensuales y las dosis acumuladas anuales de los trabajadores expuestos.

Los valores obtenidos en los informes mensuales serán analizados por el Responsable de Protección Radiológica con el fin de verificar que ningún trabajador esté excediendo la dosis efectiva límite estipulado en el Decreto N°24037-S. En relación con el uso de los dosímetros personales, se tendrá en cuenta las indicaciones proporcionadas por el proveedor.

3.4 Vigilancia de la salud de los trabajadores expuestos

La vigilancia a la salud estará a cargo del Médico de Trabajo, este se encargará de registrar los resultados de los exámenes de sangre (fórmula roja y química sanguínea), orina y heces, con el fin de comparar los resultados de los exámenes realizados con anterioridad, esto permitirá determinar la posible influencia y efectos de las radiaciones ionizantes en el organismo de los trabajadores ocupacionalmente expuestos en las líneas de galvanizado dos y tres y el laboratorio de control de calidad de la empresa.

Es importante recalcar que la realización de los exámenes médicos (Hemograma, prueba de función renal y prueba de función hepática) estarán a

cargo de diferentes laboratorios contratados. Obtenidos los resultados se procede a la interpretación de los mismos por parte del Médico Especialista del Trabajo de la empresa. Los resultados serán compartidos con cada operador.

3.5 Plan de Capacitación

Según lo establecido en el decreto N°24037-S cada vez que los operadores deban renovar su permiso para operar los equipos emisores de radiaciones ionizantes deberán llevar una capacitación (Ver cuadro 21) brindada por el Responsable de Protección Radiológica.

Será responsabilidad del Responsable de Protección Radiológica coordinar las posibles fechas para la impartición, así como la elaborar las pruebas escritas que se deben presentar ante el Ministerio de Salud, cada trabajador deberá aprobar la prueba con una nota igual o superior a 85, con el fin de obtener un certificado para posteriormente renovar su licencia. En caso de no aprobar, el personal no podrá pertenecer a las líneas dos y tres de galvanizado y el laboratorio de control de calidad, por lo que deberá ser reubicado. Tanto el Departamento de Recursos Humanos como el Responsable de Protección Radiológica llevarán un control de asistencia (ver apéndice 15) con el fin de asegurarse que ningún trabajador abandoné el curso y cumpla con las horas de este. Las ausencias no podrán ser justificadas y se debe asistir mínimo al 80 % de las sesiones.

Además, durante el desarrollo del programa de Inducción de la empresa el Coordinador de Salud Ocupacional le explicará en forma general al personal de nuevo ingreso el cuidado y el respeto que se debe de tener en el área donde se encuentre la rotulación de la zona controlada de radiación.

Como parte de la mejora continua, cada cuatro meses se realizará una capacitación para el personal ocupacionalmente expuesto (POE) a radiaciones ionizantes, con el objetivo de asegurar que los conocimientos y aptitudes se actualicen. Los operarios serán divididos para recibir las capacitaciones por el área (línea dos y tres de galvanizado y el laboratorio de control de calidad) al cual

pertenezcan, ya que la sala de capacitaciones tiene capacidad máxima para 30 personas.

Para las capacitaciones se utilizarán presentaciones, en el contenido de estas se evitará el uso de lenguaje técnico debido al nivel de escolaridad de los operarios, se procurará utilizar imágenes para un mayor entendimiento de los temas, además de proponer casos prácticos y utilizar actividades lúdicas. Con el fin de verificar que el personal comprendió los temas vistos en la sesión, se creó una herramienta de evaluación de la efectividad de la capacitación (Ver apéndice 24).

En el cuadro 21, se indican el cronograma y temario del curso de capacitación para los operadores de las líneas de galvanizado dos y tres y el laboratorio de control de calidad.

Cuadro 21. Temario y cronograma de las capacitaciones para los operarios en relación a las radiaciones ionizantes

Tema	Objetivo de aprendizaje	Contenido	Duración (horas)	Recursos	Responsable	Estado de acción	Fecha de ejecución
Conceptos y mediciones fundamentales de las radiaciones ionizantes	Comprender los conceptos básicos relacionados a las radiaciones ionizantes	<ul style="list-style-type: none"> • Conceptos básicos de radiación • Cantidades y unidades de radiación • Instrumentos de detección de radiaciones • Efectos biológicos de la radiación. • Principios de protección radiológica 	1.5	<ul style="list-style-type: none"> • Sala de capacitación • Video Beam • Tiempo del personal. 	Responsable de Protección Radiológica	Pendiente	<ul style="list-style-type: none"> • Enero 2021 • Mayo 2021 • Setiembre 2021
Dosímetros Personales	Adquirir los conocimientos básicos en el uso correcto del dosímetro y su importancia.	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Qué es el dosímetro personal? • Funciones del dosímetro personal. • Correcto uso y colocación del dosímetro personal. • Importancia y comunicación del reporte de las dosis efectivas obtenidas. 	1.5	<ul style="list-style-type: none"> • Sala de capacitación • Video Beam • Tiempo del personal. • Dosímetro personal 	Responsable de Protección Radiológica	Pendiente	<ul style="list-style-type: none"> • Enero 2021 • Mayo 2021 • Setiembre 2021
Principios de protección radiológica	Identificar los diferentes sistemas de protección de los equipos emisores de radiación ionizante y su importancia.	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema de protección radiológica (justificación, optimización y limitación de dosis) • Requisitos reglamentarios • Designación de zonas controladas y de zonas supervisadas • Límites de dosis y niveles de investigación 	1.5	<ul style="list-style-type: none"> • Sala de capacitación • Video Beam • Tiempo del personal. 	Responsable de Protección Radiológica	Pendiente	<ul style="list-style-type: none"> • Enero 2022 • Mayo 2022 • Setiembre 2022
Protección radiológica práctica	Preparar al personal de las líneas dos y tres de galvanizado y el	<ul style="list-style-type: none"> • Potencia de salida de la fuente • Efectos del tiempo, la distancia y el blindaje 	1.5	<ul style="list-style-type: none"> • Sala de capacitación • Video Beam 	Responsable de Protección Radiológica	Pendiente	<ul style="list-style-type: none"> • Enero 2023

	laboratorio de control de calidad ante la operación segura de los equipos y posibles emergencias derivadas de estos.	<ul style="list-style-type: none"> • Monitorización individual • Prácticas de trabajo para limitar las dosis y mantenerlas al nivel más bajo que pueda razonablemente alcanzarse • Almacenamiento de fuentes radiactivas • Operación y mantenimiento correctos del equipo de radiografía industrial • Programa de protección radiológica • Normas locales • Planes de emergencia • Gestión de la protección radiológica • Transporte de fuentes 		<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo del personal. 			<ul style="list-style-type: none"> • Mayo 2023 • Setiembre 2023
--	--	--	--	--	--	--	---

E. EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO DEL PROGRAMA

Se realizará una revisión anual del Programa de Protección Radiológica por parte de los Responsables de Protección Radiológica (Coordinador de Salud Ocupacional, Jefe de Galvanizado y Jefe de Mantenimiento de Galvanizado).

De igual forma, se revisarán los procedimientos de operación segura de los equipos Valmet, Thermofisher y Portaspec; y de mantenimiento de los equipos Valmet, Thermofisher y Portaspec, donde se corroborará el adecuado funcionamiento del equipo, además de ser necesario, la documentación será actualizada como parte de la dinámica y mejoramiento continuo del Programa de Protección Radiológica. Para lo cual, se hará un informe anual escrito de la anterior evaluación (Ver anexo 1), además de manera complementaria se deberá llenar un formulario (Ver apéndice 25) acerca de los cumplimientos e incumplimientos tanto de los controles ingenieriles como de los procedimientos del presente Programa de Protección Radiológica, posteriormente se deberá calcular el porcentaje de cumplimiento con el fin de saber si está siendo efectivo.

Para el proceso anteriormente mencionado, se debe aplicar la fórmula indicada a continuación:

$$\text{Porcentaje de cumplimiento} = [(PC) / (PT - NA)] \times 100$$

Donde:

PC = Cantidad de procedimientos/controles afirmativos

PT = Cantidad total de procedimientos/controles que contiene el formulario

NA = Cantidad de procedimientos/controles que no aplican

En caso de que se encuentren incumplimientos tanto en los controles como en los procedimientos se debe llenar un formulario (ver apéndice 25) con el fin de investigar las posibles causas. Los cambios realizados en el Programa de Protección Radiológica serán divulgados por vía correo electrónico, esto estará a cargo del Responsable de Protección Radiológica.

F. CRONOGRAMA DEL PROGRAMA

En el cuadro 22 se muestra el cronograma de actividades para realizar la implementación del Programa de Protección Radiológica.

Cuadro 22. Cronograma de actividades del Programa de Protección Radiológica (PPR)

Actividades	Mes																							
	Febrero		Marzo				Abril				Mayo				Junio				Julio					
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Entrega del Programa de Protección Radiológica a METALCO S.A.	■																							
Revisión del PPR por parte del coordinador de Salud Ocupacional		■	■																					
Realización de observaciones y modificaciones al PPR				■	■	■	■																	
Aprobación de los cambios del PPR								■																
Divulgación del PPR									■															
Compra de los insumos necesarios para los controles ingenieriles										■	■													
Implementación de los controles ingenieriles												■	■											
Formación de los operarios para la implementación del PPR														■	■									
Puesta en marcha de los controles administrativos																■	■							
Evaluación y control del PPR																		■	■	■	■			
Incorporación de las oportunidades de mejora detectadas																						■	■	■

G. PRESUPUESTO DEL PROGRAMA

Cuadro 23. Presupuesto del Programa de Protección Radiológica

Control	Recurso	Descripción	Proveedor	Costo total con IVA incluido (₡)
Señalización para los equipos Valmet, Thermofisher y Portaspec	Señalización de advertencia ante radiaciones ionizantes	Señalización de material PVC de 3 mm de grosor con tinta luminiscente	IT Impresión total	30 510
Malla electrosoldada para los equipos Valmet y Thermofisher	Pintura	Pintura a base de látex	EPA	29 000
	Varilla de soldadura	Varilla de 1/8 " para soldadura	EPA	3 095
	Bisagras	Bisagras para puerta de 8.89 cm en bronce	EPA	26 550
	Tornillos	Tornillos de 3/4"	EPA	19 485
Dispositivo de enclavamiento para los equipos Valmet y Thermofisher	Enclavamiento de llave	Sistema mecánico con funcionamiento por medio de llave	DE Interlocking Switch	103 029
Luces de seguridad para los equipos Valmet, Thermofisher y Portaspec	Lámpara de torre de señalización	Lámpara bicolor de seguridad adjunta al funcionamiento de la máquina	Amazon	27 231
Dosimetrías	Dosimetría personal	Dosímetros personales Termoluminiscence TLD Panasonic	Proxtronics CR	5 283 000
	Dosimetría de área	Contador Geiger Müller	Inversiones e importaciones Colé S.A.	1 935 691
	Dosimetría ambiental	Dosímetro Ludlum modelo 25-1	Proxtronics CR	528 300
Marcadores biológicos	Examen de sangre (Función Renal, Hemograma, Función Hepática)	Pruebas de función Renal, Hemograma, Función Hepática	Laboratorio Doctores Lostallos	20 160 000
Dictamen Médico semestral	Chequeo general	Revisión general a los operadores de las líneas dos y tres de galvanizado y el laboratorio de control de calidad.	Laboratorio Dr. Cantillo, Esparza, Puntarenas.	5 400 000
Capacitación en Radiaciones ionizantes	Capacitación en Radiaciones Ionizantes para el Responsable de Protección Radiológica	El Responsable de Protección Radiológica recibirá una capacitación de 80 horas anualmente	Inversiones e importaciones Colé S.A.	880 500
Total estimado				34 426 391
Nota: El costo total se calculó con un IVA del 13 %.				

G. CONCLUSIONES

- Se desarrollaron procedimientos de trabajo seguros ante las radiaciones ionizantes para los operarios que manipulan los equipos Valmet, Thermofisher y Portaspec, abarcando las necesidades identificadas en la situación actual de la empresa.
- Se asignaron las responsabilidades del Programa de Protección Radiológica mediante una matriz RACI. El éxito de la implementación del Programa de Protección Radiológica depende del compromiso que adquieran las partes involucradas tanto internas como externas con la finalidad de poder realizar mejoras en este programa.
- Se propusieron distintas alternativas de diseño de acuerdo a las posibilidades de la empresa para los equipos Valmet, Thermofisher y Portaspec, desde una perspectiva económica, ambiental, operacional, ética y de equidad.
- La implementación del Programa de Protección Radiológica en la empresa ayudará a gestionar la seguridad radiológica de manera correcta, con fin de evitar efectos en la salud de sus trabajadores.
- El cumplimiento del procedimiento de seguridad para la operación de equipos emisores y generadores de radiaciones ionizantes, buscan crear una cultura preventiva dentro de la organización.
- Tener trabajadores capacitados en las tareas que ejecutan, colaborará en la reducción de malas prácticas de trabajo y negligencias antes, durante y después del uso de los equipos emisores y generadores de radiaciones ionizantes.

I. RECOMENDACIONES

- La evaluación y seguimiento del Programa de Protección Radiológica es indispensable que se realice ya que permitirá detectar oportunidades de mejora que requieran incorporarse en este programa.
- Es esencial que la alta gerencia se encargue de comunicar y divulgar el Programa de Protección Radiológica para alcanzar los objetivos y metas propuestos.
- Se recomienda mantener actualizado el Programa de Protección Radiológica ante los cambios que puedan realizarse en el proceso productivo y que afecten la estructura del presente documento.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- Andisco, D., Blanco, S., & Buzzi, A. E. (2014). Dosimetría en radiología. *Revista argentina de radiología*, 78(2), 114-117. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004876191400012X>
- Arias, César F (2006) La regulación de la protección radiológica y la función de las autoridades de salud. *Rev Panam Salud Publica*;20(2/3) 188-197. <https://scielosp.org/article/rpsp/2006.v20n2-3/188-197/es/>
- Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades. (2004). Resúmenes de salud pública - americio (americium). Resúmenes De Salud Pública. https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs156.html
- Azizova, T.V., Bannikova, M.V., Grigoryeva, E.S., Rybkina, V.L. (2018). Risk of malignant skin neoplasms in cohort of workers occupationally exposed to ionizing radiation at low dose rates. *PLoS One*. 13 (10):e0205060. doi:10.1371/journal.pone.0205060. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6173419/>
- Cascón, A. (2009). Riesgos asociados con las radiaciones ionizantes. *Revista argentina de cardiología*, 77(2), 123-128.
- Cegarra Sánchez, J. (2006). Metodología de la investigación científica y tecnológica. Ediciones Díaz de Santos.
- Chávez, J. (2009). *Uso y peligro de las radiaciones ionizantes* (Doctoral), Universidad de Guayaquil. Facultad Piloto de Odontología. Escuela de Postgrado" Dr. José Apolo Pineda").
- Cherry, R. (2010). *Radiaciones ionizantes*. Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo.

Consejo de Seguridad Nuclear. (2015). Las radiaciones. <https://www.csn.es/documents/10182/927453/Las+radiaciones+%28Monograf%C3%ADa%29/bb15bfe3-dcbf-4bac-84d5-37dce5db6f1d?version=1.4>

Consejo de Seguridad Nuclear. (2012). *Protección Radiológica*. <https://www.csn.es/documents/10182/914805/Protecci%C3%B3n%20radiol%C3%B3gica>

Decreto Ejecutivo N° 24037-S de 1994. "Reglamento sobre Protección Contra Radiaciones Ionizantes" Gaceta. 22 de diciembre de 1994.

Decreto Ejecutivo N° 1 Art. 16. de 1980. "Reglamento General de Seguridad e Higiene de Trabajo". Gaceta. 30 de abril de 1994.

Díaz, E. G. (2010). Las radiaciones ionizantes: una realidad cotidiana. *SALUD AMBIENTAL*,6. https://www.researchgate.net/publication/256092766_Las_radiaciones_ionizantes_una_realidad_cotidiana

Díaz-Bravo, L., Torruco-García, U., Martínez-Hernández, M., & Varela-Ruiz, M. (2013). La entrevista, recurso flexible y dinámico. *Investigación en educación médica*, 2(7), 162-167.

Emcoplastics. (2016). FAQs for acrylic. <https://www.emcoplastics.com/acrylic-faqs/#:~:text=All%20of%20the%20acrylic%20sheet,more%20before%20it%20ever%20yellows.>

Estévez, R. (2018). *Dosimetría radiológica*. (1st ed). Edifarm. <http://200.12.169.19/bitstream/25000/14606/1/Dosimetr%C3%ADa%20radiol%C3%B3gica.pdf>

FACIO, A. O. C. (2006). Entrecruzamiento y vida útil de formulaciones de PVC sometidas a tratamiento con radiaciones ionizantes.

Figuerola, N. (2012). Matriz de Asignación de Responsabilidades (RAM).

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación: Roberto Hernández Sampieri, Carlos Fernández Collado y Pilar Baptista Lucio* (6a. ed. --). McGraw-Hill.

ICRP

(1990). Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP 21 (1–3). https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/ANIB_21_1-3

Keipi, K., Castro, S. M., & Bastidas, P. (2005). Gestión de riesgo de amenazas naturales en proyectos de desarrollo Lista de preguntas de verificación (“Checklist”). *Inter-American Development Bank*.

Liñan, A. S. P. (2008). *El método comparativo: fundamentos y desarrollos recientes*. Política Comparada.

Lozada, J. (2014). Investigación aplicada: Definición, propiedad intelectual e industria. *CienciAmérica: Revista de divulgación científica de la Universidad Tecnológica Indoamérica*, 3(1), 47-50.

Martín, F. A. (2011). *La encuesta: una perspectiva general metodológica* (Vol. 35). CIS.

METALCO. (2012). Nuestra empresa. <https://www.metalco.net/nuestra-empresa/>

Morales, F. (2012). Conozca 3 tipos de investigación: Descriptiva, Exploratoria y Explicativa.

- Narocki, C., Zimmermann, M., Artazcoz, L., Gimeno, D., & Benavides, F. G. (2009). Encuestas de condiciones de trabajo y salud en España: comparación de los contenidos del cuestionario del trabajador. *Arch Prev Riesgos Labor*, 12(2), 60-8.
- OIEA. (1997). Normas básicas internacionales de seguridad para la protección contra la radiación ionizante y para la seguridad de las fuentes de radiación. OIEA.
- OIEA. (2004). Protección radiológica Ocupacional No RS-G-1.1. OIEA.
- OIEA. (2010). Evaluación de la seguridad de las instalaciones y actividades. N° SSG-Parte 4. OIEA.
- OIEA. (2010). Inspección de las fuentes de radiación y aplicación coercitiva. N° GS-G-1.5 de la Colección de Normas de Seguridad del OIEA
- OIEA. (2013). Seguridad radiológica en la radiografía industrial N° SSG-11. OIEA.
- OIEA. (2011). Protección radiológica y seguridad de las fuentes de radiación: Normas básicas internacionales de seguridad. https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_protect/---protrav/---safework/documents/publication/wcms_171678.pdf
- OIEA. (2015). Seguridad radiológica de las instalaciones de irradiación de rayos gamma, electrones y rayos x, N° SSG-8. OIEA.
- OIEA. (2018). Preparación y respuesta para casos de emergencia nuclear o radiológica, N° GSR Parte 7. OIEA.
- OMS. (2016). Radiaciones ionizantes: Efectos en la salud y medidas de protección. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ionizing-radiation-health-effects-and-protective-measures>
- Procuraduría General de la República de Costa Rica. (2009). *Reglamento Sobre Protección Contra las Radiaciones Ionizantes*.

http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=15464#ddown

Puerta-Ortiz, J. A., & Morales-Aramburo, J. (2020). Efectos biológicos de las radiaciones ionizantes. *Revista Colombiana de Cardiología*, 27, 61-71. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0120563320300061>

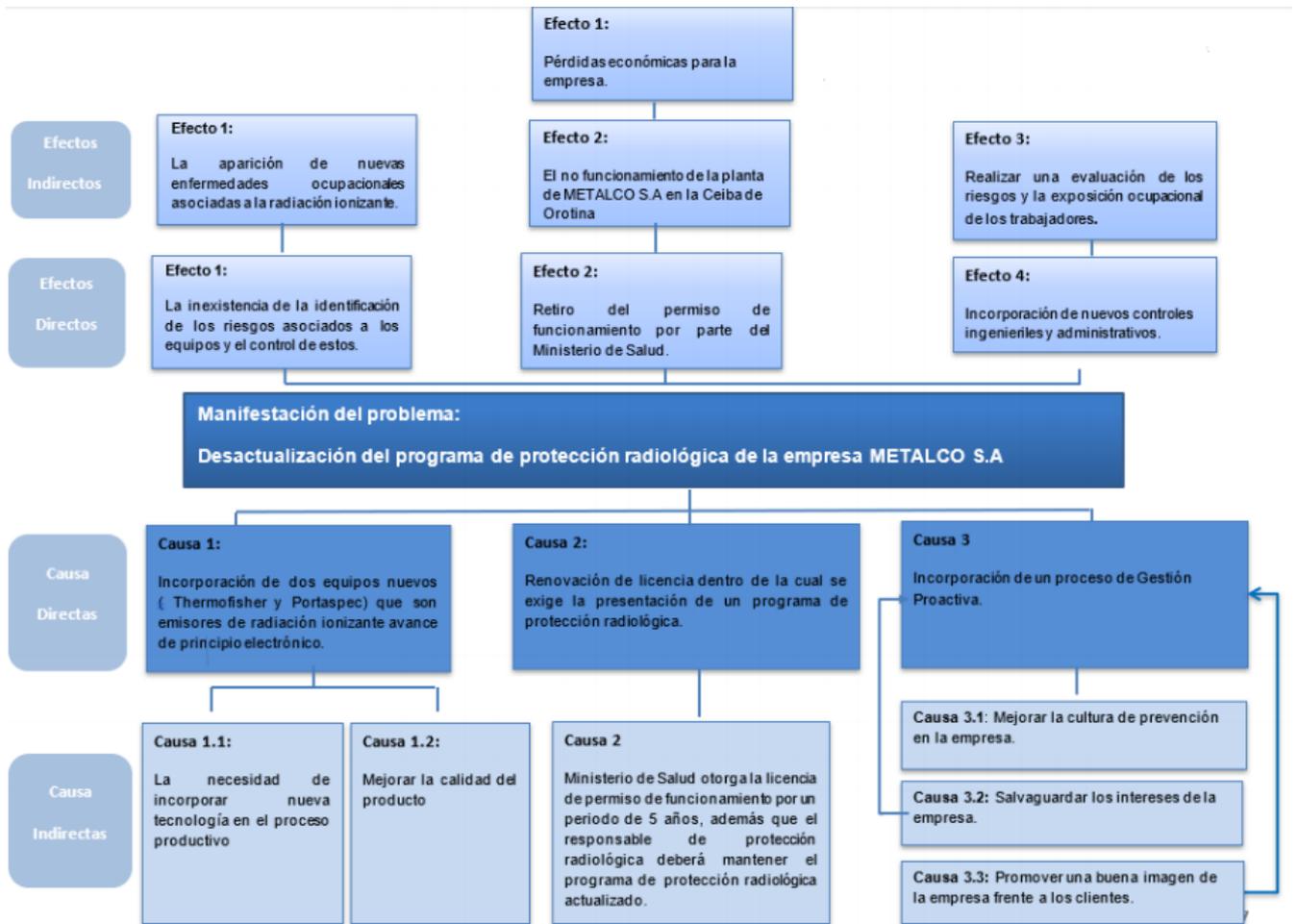
Secretaría de Salud Laboral y Desarrollo Territorial. (2017). Radiaciones ionizantes. https://madrid.ugt.org/sites/madrid.ugt.org/files/cuadernillo_radiaciones_ionizantes_2019_on_line_def.pdf

UNE. (2018). Distintivos para señalización de radiaciones ionizantes. Asociación Española de Normalización.

Wdowiak A, Skrzypek M, Stec M, Panasiuk L.(2019) Effect of ionizing radiation on the male reproductive system. *Ann Agric Environ Med.*; 26(2):210-216.
doi:10.26444/aaem/106085. <http://www.aaem.pl/Effect-of-ionizing-radiation-on-the-male-reproductive-system,106085,0,2.html>

VII. APÉNDICES

Apéndice 1. Árbol de causas y efectos del problema del proyecto



Apéndice 2. Encuesta Higiénica

A. Datos Generales		
Nombre de la empresa:		
Dirección de la empresa:		
Actividad que realiza:		
Nombre del encargado:		
Nombre del encargado de Seguridad Laboral e Higiene Ambiental:		
Teléfono:		
Fecha de aplicación:		
Hora de inicio: Hora de finalización:		
B. Trabajador		
Rango de edad:		
Sexo:		
Actividad que realiza:		
¿Existe un protocolo para la protección radiológica de mujeres embarazadas?	Si	No

Observaciones: _____

C. Jornada				
Número de empleados:				
Tipo de Proceso:	Continuo	Tarea		Variable
Producto que se elabora:				
Días de operación por semana:	1	5	6	7
Número de turnos:	1	2		3
Horario de turnos:				
Horas Extra:				
Horas de Jornada Laboral:	4	8	10	12
Descansos en la jornada:				
Tipo de trabajo:	Indefinido		Permanente	
Descripción de tareas:	Rotativo	Variable		Cíclico

Observaciones: _____

D. Descripción del Proceso (Técnicas y procedimientos con los diferentes equipos)	
Tarea:	Observaciones
Actividad	Observaciones

D.1. Anteriormente, ¿se han realizado cambios en los procedimientos de trabajo?

¿Cuáles?

D.2 En caso de accidente o emergencia, ¿Existen procedimientos de actuación?

E. Orden			
¿Existe un procedimiento de ingreso para el personal de limpieza en área restringida? ¿Cuál?			
¿Cuál es el tiempo aproximado de limpieza en el área restringida?			
Horario de limpieza	Mañana	Tarde	Noche

F. Mantenimiento		
¿Existen procedimientos de mantenimiento de los equipos de radiaciones ionizantes?		
¿Cada cuánto se realiza el mantenimiento adecuado para los equipos?		
Tipo de Mantenimiento efectuado	Correctivo	Preventivo
¿Quién es el encargado de realizar el mantenimiento?		
¿Si los procedimientos se realizan por un ente externo, ¿se indican las condiciones del contrato de mantenimiento (correctivo, preventivo y periodicidad de este)?		
¿Se cuenta con registros de las pruebas y controles que se les realizan a los equipos?		
¿Se cuenta con una bitácora del mantenimiento correctivo?	Si	No

G. Dispositivos de seguridad radiológica		
Dispositivo	Descripción	Localización

H. Áreas de señalización		
Área	Controlada y Supervisada	Tipo señalización

I. Equipo de protección personal	
¿Con qué frecuencia utilizan EPP?	

Los equipos de protección están a disposición de los trabajadores:	Si	No
¿Se utiliza el EPP de acuerdo con la tarea que se realiza?		
¿La utilización del EPP es obligatoria?	Si	No
¿Capacitación y entrenamiento en el uso de EPP?		
Overol		
Pantalla facial o careta		
Tapones auditivos		
Cubre bocas		
Guantes		
Anteojos de protección		
Otros:		
¿Se explican el uso correcto y el propósito del equipo de protección durante las sesiones explicativas?		

J. Medidas de Control

J. Medidas de Control	
¿Existen procedimientos de trabajo escritos?	
¿Han recibido capacitaciones?	
Control Ingenieril	
Resguardo en máquinas	
Encerramiento	
Mantenimiento preventivo	

K. Dosimetría			
Tipo de dosímetro	Extremidades	Cuerpo entero	
¿Cada cuánto se verifica la dosis recibida por el trabajador?			
Tipo de dosimetría	Personal	Ambiental	De área

L. Vigilancia Médica		
Exámenes Médicos	Pre – empleo	Periódicos
Las medidas de vigilancia y control de la salud de los trabajadores se llevan a cabo por personal sanitario con competencia técnica, formación y capacidad acreditada.	Si	No
Trabajadores expuestos a riesgos radiológicos se someten a reconocimientos médicos específicos de forma periódica.	Si	No
Comunicación de resultados de los exámenes a los trabajadores	Si	No
Registro de estudios anteriores (epidemiológicos)	Si	No
¿Se han presentado casos relacionados a la exposición a radiaciones ionizantes?	Si	No
¿Han presentado síntomas relacionados a la exposición a radiaciones ionizantes? ¿Qué tipo de síntomas?	Si	No
¿Se han presentado incapacitaciones o ausentismo laboral?	Si	No

M. Desechos		
¿Se genera algún tipo de desecho radioactivo?	Si	No
¿Cuáles desechos?		
¿Se cuenta con algún procedimiento de manejo de desechos radioactivos?	Si	No

Observaciones: _____

Apéndice 3. Entrevista al encargado de Recursos Humanos

El siguiente formulario tiene como finalidad recopilar información relevante acerca de la contratación de operadores para las líneas de galvanizado dos y tres.

Información Personal

En este apartado se solicitará información personal de los trabajadores bajo confidencialidad.

Edad

20 – 40 años

41- 50 años

51 – 70 años

Departamento:

Cargo que desempeña

Tiempo de laborar en el área de trabajo

0 – 5 años

6 – 10 años

11 – 15 años

16 – 25 años

Información Laboral

1. ¿El departamento de Recursos Humanos solicita durante el periodo de contratación, exámenes pre- empleo?

Si

No

2. ¿El departamento de Recursos Humanos conoce los efectos a la salud provocados por la exposición a radiaciones ionizantes?

Si

No

3. ¿El departamento de Recursos Humanos ha recibido incapacitaciones por parte de los trabajadores ocupacionalmente expuestos a radiaciones ionizantes?

Si

No

4. ¿El departamento de Recursos Humanos verifica si se cumple con la inducción sobre los riesgos al trabajo?

Si

No

5. ¿El departamento de Recursos Humanos ha despedido a operarios pertenecientes a las líneas de galvanizado dos y tres por incumplimiento a las medidas de seguridad establecidas?

Si

No

Apéndice 4. Entrevista al Gerente General

El siguiente formulario tiene como finalidad recopilar información relevante en cuanto a las políticas, objetivos y recursos disponibles en materia de seguridad radiológica.

Información Personal

En este apartado se solicitará información personal de los trabajadores bajo confidencialidad.

Edad

20 – 40 años

41- 50 años

51 – 70 años

Departamento:

Cargo que desempeña:

Tiempo de laborar en el área de trabajo

0 – 5 años

6 – 10 años

11 – 15 años

16 – 25 años

Información Laboral

1. ¿Cree usted importante darle seguimiento al Programa de Salud y Seguridad?

Si

No

2. ¿El personal tiene conocimiento de las políticas de salud y seguridad de la empresa?

Si

No

3. ¿Qué porcentaje del presupuesto anual está destinado para la capacitación de los trabajadores ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes?

0 – 5 %

6 – 10 %

Mayor a 10%

4. ¿Conoce usted acerca de los riesgos asociados a la exposición a radiaciones ionizantes?

Si

No

5. ¿Qué tan importante considera la implementación de controles para las radiaciones ionizantes dentro de la empresa?

Bajo

Medio

Alto

Apéndice 5. Entrevista al Médico de Trabajo

El siguiente formulario tiene como finalidad recopilar información relevante a la exposición ocupacional de los trabajadores de las líneas de galvanizado dos y tres y el laboratorio de calidad.

Información Personal

En este apartado se solicitará información personal de los trabajadores bajo confidencialidad.

Edad

20 – 40 años

41- 50 años

51 – 70 años

Departamento:

Cargo que desempeña:

Tiempo de laborar en el área de trabajo

0 – 5 años

6 – 10 años

11 – 15 años

16 – 25 años

Información Laboral

1. ¿Realiza monitoreos por medio de exámenes médicos a los trabajadores ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes?

Si

No

2. ¿Con qué frecuencia realiza los exámenes a los trabajadores ocupacionalmente expuestos a radiaciones ionizantes?

1 – 3 meses

4 – 6 meses

Cada 12 meses

3. ¿Existen registros médicos de los trabajadores ocupacionalmente expuestos a radiaciones ionizantes?

Si

No

4. ¿Conoce usted las actividades que se realizan con los equipos que emiten radiaciones ionizantes?

Si

No

5. ¿Ha atendido a pacientes con síntomas asociados a radiaciones ionizantes?

Si

No

6. ¿Ha recibido capacitaciones para la atención de trabajadores que pueden llegar a sufrir alguna emergencia relacionada a radiaciones ionizantes?

Si

No

7. ¿Posee la infraestructura adecuada para atender a un trabajador accidentado por el uso de radiaciones ionizantes?

Si

No

8. ¿Existen protocolos establecidos para la atención de pacientes que sufran un accidente producto del uso de Radiaciones Ionizantes?

Si

No

9. En caso de existir, ¿cuándo fue su última actualización?

- Hace 1 año
- Hace 3 años
- Hace 5 años
- Nunca se ha actualizado

10. ¿Es usted el responsable de mantener actualizado y documentado el/los protocolo(s)?

- Si
- No

Apéndice 6. Entrevista Proveeduría

El siguiente formulario tiene como finalidad recopilar información relevante a la adquisición de equipos emisores de radiaciones ionizantes

Información Personal

En este apartado se solicitará información personal de los trabajadores bajo confidencialidad.

Edad

- 20 – 40 años
- 41- 50 años
- 51 – 70 años

Departamento:

Cargo que desempeña:

Tiempo de laborar en el área de trabajo

- 0 – 5 años
- 6 – 10 años
- 11 – 15 años
- 16 – 25 años

Información Laboral

1. ¿En algún momento usted ha tenido realizar la compra de un equipo que emita radiaciones ionizantes?

- Si

No

2. ¿Qué características contempla usted a la hora de adquirir un equipo?

Potencia

Fuente radioactiva

Mantenimiento del equipo

Vida útil

Costo

3. ¿Conoce usted el protocolo que se debe seguir a la hora de transportar el nuevo equipo?

Si

No

4. ¿Los riesgos asociados al equipo es un factor determinante a la hora de realizar la compra?

Si

No

5. ¿Contempla usted la gestión de desecho de la fuente radioactiva del equipo?

Si

No

6. ¿Tiene definidas estrategias de compra que se encuentran alineadas con las políticas de seguridad de la empresa?

Si

No

Apéndice 7. Lista de verificación basada en la norma de la OIEA “Evaluación de la seguridad de las instalaciones y actividades”

		Lista de verificación basada en la Norma de Seguridad de la OIEA N° GSR Parte 4 "Evaluación de la seguridad de las instalaciones y actividades"						
LEYENDA:	Si		2	Aplicadores: Fernanda Brenes Rivera Donald Castillo Ramírez				Fecha:
	En proceso		1					Versión: 001
	No		0					
	NA		0					
EVALUACIÓN DE LA SEGURIDAD DE LAS INSTALACIONES Y ACTIVIDADES								
1. Evaluaciones de seguridad de las instalaciones y los equipos de radiación ionizante								
Ítem	Requisito	Cumplimiento				Observaciones		
		S	P	N	NA			
1	¿Se cuenta con un medio para evaluar el cumplimiento de los requisitos de seguridad respecto a los equipos emisores de radiaciones ionizantes y sus actividades?							
2	¿Las evaluaciones de seguridad son efectuadas y documentadas por el Responsable de Protección Radiológica?							
3	¿Las evaluaciones incluyen las disposiciones existentes en materia de protección radiológica a fin de determinar si los riesgos radiológicos están siendo controlados dentro de los límites?							
4	¿En las evaluaciones se abordan todos los riesgos radiológicos que se pueden derivar del funcionamiento normal del equipo emisor y generador de radiaciones ionizantes, así como incidentes operacionales previstos y condiciones de accidente?							
5	¿Se realizan evaluaciones a los equipos emisor y generador de radiaciones ionizantes a medida que se efectúen cambios en la instalación o la actividad?							
6	¿Se realizan evaluaciones periódicas que aborden los riesgos radiológicos que pueden afectar a las personas y grupos de la población?							
7	¿Se ha prestado atención especial a los sucesos internos y externos que podrían afectar negativamente los sistemas de protección contra los equipos emisores y generadores de radiaciones ionizantes al mismo tiempo o de manera simultánea?							
8	¿ Existe una identificación de posibles sucesos externos naturales (Tormentas, huracanes, temblores, inundaciones) y provocados por el hombre (incendios, riesgos derivados de las actividades industriales y de transporte) que puedan afectar la seguridad de las instalaciones y actividades?							

2. Medidas de control

Ítem	Requisito	Cumplimiento				Observaciones
		S	P	N	NA	
1	¿Se han adoptado medidas adecuadas para controlar, de manera responsable, los riesgos radiológicos, así como los incidentes operacionales previstos y condiciones de accidente que puedan presentarse dentro de las instalaciones?					
2	¿Se cuenta con medidas adecuadas para controlar la exposición radiológica de los trabajadores y miembros de la población dentro de los límites de dosis pertinentes y su protección se optimiza de forma que la magnitud de las dosis individuales, el número de personas expuestas y las probabilidades de exposición se mantienen en el valor más bajo?					
3	¿Se conocen los niveles de radiación habitualmente existentes?					
4	¿Se realizan mensualmente los controles dosimétricos personales de los trabajadores expuestos?					
5	¿Se cumplen los principios para minimizar las exposiciones como alejamiento del foco, reducción del tiempo y de personas, uso de protecciones y sistemas de protección?					
6	¿Se cuenta con sistema de protección contra los equipos emisores y generados de radiaciones ionizantes como lo son las barreras físicas, enclavamientos, blindajes, bloqueos interruptores combinados de operación y emergencia mecánica y procedimientos administrativos (monitoreo)?					
7	¿Se cuenta con programas de capacitación en materia del uso adecuado de los equipos emisores y generadores de radiaciones ionizantes y sus posibles efectos?					
8	¿Se cuenta con rotaciones del personal con el fin de velar por la salud de los trabajadores ocupacionalmente expuestos?					
9	Se realizan reconocimientos médicos específicos y periódicos a los trabajadores expuestos.					

3. Protocolos

Ítem	Requisito	Cumplimiento				Observaciones
		S	P	N	NA	
1	¿Se cuenta con un protocolo en caso de que los sistemas de protección contra los equipos emisores de radiaciones ionizantes fallen?					
2	¿Existen y son conocidas las normas de actuación en caso de emergencia?					

Apéndice 8. Lista verificación basada en la norma ISO 45001

		<p align="center">Lista de verificación basada en la Norma ISO 45001</p>				
LEYENDA:	Si  2	Aplicadores:			Fecha:	
	En proceso  1	Fernanda Brenes Rivera Donald Castillo Ramirez			Versión: 001	
	No  0					
SISTEMA DE GESTIÓN DE SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO						
5. LIDERAZGO Y PARTICIPACIÓN DE LOS TRABAJADORES						
Clausula	Requisito	Cumplimiento			Observaciones	
		S	P	N		
5.2	Política de la SST					
	¿La alta dirección ha establecido, implementado y mantenido una política de la SST en consulta con los trabajadores a todos los niveles de la organización ?					
	a)	La Política de SST incluye un compromiso de proporcionar condiciones de trabajo seguras y saludables para la prevención de daños y deterioro de la salud relacionados con el trabajo que sea apropiado al propósito, el tamaño y el contexto de la organización y a la naturaleza específica de sus riesgos para la SST y sus oportunidades para la SST.				
	b)	La Política proporciona un marco de referencia para el establecimiento de los objetivos de la SST.				
	c)	En ella se incluye un compromiso de cumplir los requisitos legales aplicables y otros requisitos.				
	d)	Se incluye un compromiso para el control de los riesgos para la SST utilizando las prioridades de los controles.				
	e)	Se incluye un compromiso de mejora continua del sistema de gestión de la SST, para mejorar el desempeño de la SST de la organización.				
	f)	Se incluye un compromiso para la participación, es decir, la implicación de los trabajadores, y cuando existan, de los representantes de los trabajadores, en los procesos de toma de decisiones en el sistema de gestión de la SST.				
	g)	Se encuentra disponible como información documentada.				
	h)	Es comunicada a los trabajadores dentro de la organización.				
	i)	Se encuentra disponible para las partes interesadas.				
j)	Se revisa periódicamente para asegurarse de que se mantiene pertinente y apropiada					

Objetivos de la SST y planificación para lograrlos					
6.2	Objetivos de la SST				
6.2.1	a)	La organización ha establecido objetivos de la SST para las funciones y niveles pertinentes para mantener y mejorar el sistema de gestión de la SST y para alcanzar la mejora continua del desempeño de la SST.			
	b)	Los objetivos son coherentes con la política de la SST			
	c)	Se toman en cuenta los requisitos legales aplicables.			
	d)	Se toman en cuenta los resultados de la evaluación de los riesgos para la SST y las oportunidades para la SST y otros riesgos y oportunidades.			
	e)	Se toman en cuenta los resultados de la consulta con los trabajadores, y cuando existan, con los representantes de los trabajadores.			
	f)	Los objetivos son medibles o son susceptibles de evaluación			
	g)	Los objetivos se comunican claramente.			
	h)	Los objetivos se actualizan, según corresponda.			
Planificación para lograr los objetivos de la SST					
¿Al planificar cómo lograr sus objetivos de la SST, la organización ha determinado?					
6.2.2	a)	¿ Qué se va a hacer ?			
	b)	¿ Qué recursos se requerirán?			
	c)	¿Quién será responsable?			
	d)	¿Cuándo se finalizará?			
	e)	¿Cómo se medirá mediante los indicadores y cómo se hará el seguimiento, incluyendo la frecuencia?			
	f)	¿Cómo se evaluarán los resultados?			
	g)	¿Cómo se integrarán las acciones para lograr los objetivos de la SST en los procesos de negocio de la organización?			
	h)	¿La organización ha mantenido y conservado información documentada sobre los objetivos de la SST y los planes para lograrlos?			

Apéndice 9. Lista de verificación basada en la norma “Seguridad radiológica de las instalaciones de irradiación de rayos gamma, electrones y rayos x”

	Lista de verificación basada en la Norma de Seguridad de la OIEA N° SSG-8 "Seguridad radiológica de las instalaciones de irradiación de rayos gamma, electrones y rayos x".													
LEYENDA: <table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 20px;">Si</td><td style="width: 20px;">✔</td><td style="width: 20px;">2</td></tr> <tr><td>En proceso</td><td>⚠</td><td>1</td></tr> <tr><td>No</td><td>✘</td><td>0</td></tr> <tr><td>NA</td><td>⚪</td><td>0</td></tr> </table>	Si	✔	2	En proceso	⚠	1	No	✘	0	NA	⚪	0	Aplicadores: Fernanda Brenes Rivera Donald Castillo Ramírez	Fecha: Versión: 001
Si	✔	2												
En proceso	⚠	1												
No	✘	0												
NA	⚪	0												
SEGURIDAD RADIOLÓGICA DE LAS INSTALACIONES DE IRRADIACIÓN DE RAYOS GAMMA, ELECTRONES Y RAYOS X														
1. Instalaciones y equipos														
Ítem	Requisito	Cumplimiento				Observaciones								
		S	P	N	NA									
1	¿Son las instalaciones tal y como se describen en la solicitud de autorización?													
2	¿Se cuenta con la certificación de la calibración del equipo (Haz de luz)?													
3	¿Se lleva y se mantiene al día un registro de las fuentes (x y gamma) y de sus desplazamientos?													
4	¿Está limitado el acceso a las fuentes de radiación solo a las personas autorizadas?													
5	¿Son suficientes las medidas de protección contra incendios?													
6	¿Se emplean métodos adecuados para impedir que personas no autorizadas penetren en los recintos destinados a la radiografía?													
7	¿Se dispone de equipo de emergencia apropiado para recuperar las fuentes atoradas?													
8	¿Están protegidas correctamente las fuentes de radiación para impedir su remoción no autorizada?													
9	¿Se emplean métodos adecuados para impedir que personas no autorizadas penetren en los recintos destinados a la radiografía?													
10	¿La fuente radiactiva se encuentra encapsulada o blindada en el interior del equipo ?													
11	¿En el área donde se encuentra el equipo emisor de radiaciones ionizantes se cuenta con blindajes, accesos restringidos, sistemas de enclavamiento de seguridad, monitor de radiación, señalización y alarmas?													
2. Mantenimiento														
Ítem	Requisito	Cumplimiento				Observaciones								
		S	P	N	NA									
1	¿Se somete el irradiador a pruebas periódicas para asegurar las características de su diseño y su funcionamiento sean las adecuadas?													
2	¿Se realiza controles del funcionamiento correcto de los instrumentos antes de utilizarlos?													
3	¿Se realizarán pruebas regulares del correcto funcionamiento de los componentes de las fuentes radiactivas de los equipos en uso, con la periodicidad que se fije en el programa de protección radiológica y siempre tras cualquier incidente que hubiera podido afectar a su integridad?													
4	¿Se han detectado fugas en alguna fuente sellada radiactiva. ¿se adoptaron las medidas oportunas y se advirtió al órgano regulador?													
5	¿Se cuenta con un registro de las actividades de operación, mantenimiento, calibración y situaciones anormales?													
6	¿Los equipos emisores de radiaciones ionizantes cuentan con el mantenimiento adecuado periódicamente?													
7	¿Todos los operarios del equipo emisor y generador , el personal de mantenimiento y contratistas han recibido la información adecuada acerca del funcionamiento y manejo del equipo?													

CUMPLIMIENTO GENERAL
0%

CUMPLIMIENTO POR REQUISITOS	
1. Instalaciones y equipos	0%
2. Mantenimiento	0%
3. Medidas de control	0%
4. Procedimientos	0%

CONCLUSIONES

3. Medidas de control

Ítem	Requisito	Cumplimiento				Observaciones
		S	P	N	NA	
1	¿Los trabajadores que son ocupacionalmente expuestos están en constante monitoreo por medio de dosimetrías personales o ambientales?					
2	¿El personal ocupacionalmente expuesto utiliza el dosímetro personal durante toda su jornada de trabajo?					
3	¿Se cuenta con un historial dosimétrico para cada trabajador ocupacionalmente expuesto donde se registran las dosis recibidas durante su vida laboral?					
4	¿Los trabajadores ocupacionalmente expuestos se encuentran sometidos a exámenes de salud y revisiones periódicas?					
5	¿Se tienen determinadas las zonas controladas y supervisadas?					
6	¿Se lleva un registro de la fuente radiactiva y los pertinentes registros de capacitación y seguridad ?					

4. Procedimientos

Ítem	Requisito	Cumplimiento				Observaciones
		S	P	N	NA	
1	¿Se cuentan con planes de contingencia ante cualquier incidente?					
2	¿Existen procedimientos para la eliminación de desechos radioactivos?					

Apéndice 10. Lista de verificación basada en la norma de la IAEA “Inspección de las fuentes de radiación y aplicación coercitiva”

		Lista de verificación basada en la Norma IAEA-TECDOC-1526 "Inspección de las fuentes de radiación y aplicación coercitiva"						
LEYENDA:	Si	2	Aplicadores: Fernanda Brenes Rivera					Fecha:
	En proceso	1	Donald Castillo Ramírez					Versión: 001
	No	0						
	NA	0						
INSPECCIÓN DE LAS FUENTES DE RADIACIÓN Y APLICACIÓN COERCITIVA								
1. Inspección del equipo								
Ítem	Requisito	Cumplimiento				Observaciones		
		S	P	N	NA			
1	¿Se realizan inspecciones iniciales antes de que se inicie la labor con los equipos emisores de radiaciones ionizantes?							
2	¿Se realizan inspecciones programadas con el fin de darle seguimiento al uso adecuado de los equipos emisores de las fuentes radioactivas?							
3	¿La frecuencia de las inspecciones está vinculada directamente a la frecuencia de la renovación del permiso de funcionamiento?							
4	¿Se lleva un registro de los incumplimientos que se encuentran a la hora de realizar las inspecciones a los equipos?							
2. Procedimientos								
Ítem	Requisito	Cumplimiento				Observaciones		
		S	P	N	NA			
1	¿Los trabajadores cuentan con los procedimientos necesarios para poder operar los equipos emisores de radiaciones ionizantes?							
2	¿Los trabajadores están al corriente de todos los aspectos técnicos de las prácticas y fuentes de radiación?							
3	¿El personal recibe formación e instrucción sobre los riesgos de radiación asociados a su trabajo?							
4	¿El personal recibe formación e instrucción sobre métodos y técnicas de trabajo seguros?							
5	¿El personal recibe formación e instrucción sobre la notificación de cualquier incidente pertinente para la salud y la seguridad de las personas y la protección del medio ambiente?							
6	¿Dentro del programa de protección radiológica se encuentran descritos los procedimientos pertinentes para el manejo de los equipos emisores de radiaciones ionizantes?							
7	¿Se cuenta con procedimientos de emergencia y estos se encuentran dentro del programa de protección radiológica?							
8	¿Existen procedimientos para la disposición final de las fuentes de radiación que ya no se necesitan. Por ejemplo, la disposición final solo a las personas autorizadas?							
9	¿Se llevan a cabo, a los intervalos apropiados, auditorías de las instalaciones, el inventario de las de las fuentes, las normas de trabajo y los procedimientos de emergencia?							

CUMPLIMIENTO GENERAL	
0%	

CUMPLIMIENTO POR REQUISITOS	
1. Inspección del equipo	0%
2. Procedimientos	0%
3. Medidas de control	0%
4. Formación del personal	0%
5. Gestión de desechos radioactivos	0%

CONCLUSIONES	

3. Medidas de control						
Ítem	Requisito	Cumplimiento				Observaciones
		S	P	N	NA	
1	¿Existe una rotación de las funciones entre el personal con el fin de ampliar la experiencia y salvaguardar su salud?					
2	¿ Los trabajadores realizan capacitaciones para poder operar los equipos emisores de radiaciones ionizantes y se complementa la formación teórica con oportunos ejercicios prácticos?					
3	¿ Tienen todos los radiógrafos industriales un nivel apropiado de formación?					
4	¿ Se cuenta con un historial dosimétrico de los trabajadores expuestos y los documentos correspondientes a la evaluación de dosis?					
5	¿ Se cuenta con un registro de los operados que entran a las zonas controladas?					
6	¿ Se cuenta con un inventario de las fuentes de radiaciones ionizantes que tiene cada equipo como el radionucleido, la forma física, la actividad, nombre del fabricante, modelo, número de serie y la ubicación de las fuentes sellas?					
7	¿ Se cuentan con equipos de detección de la radiación (dosímetros ambientales o personales) y es adecuado para los tipos de fuentes de radiación presentes en la instalación?					
8	¿ Los equipos de detección de la radiación ionizante cuentan con registros de calibración?					
4. Formación del personal						
Ítem	Requisito	Cumplimiento				Observaciones
		S	P	N	NA	
1	¿ Se imparte periódicamente formación actualizada en seguridad radiológica?					
2	¿ Se llevan registros de la formación de todos los trabajadores?					
3	¿ Los registros de formación los mantiene el usuario, supervisor, oficial de seguridad radiológica o una persona responsable?					
5. Gestión de desechos radioactivos						
Ítem	Requisito	Cumplimiento				Observaciones
		S	P	N	NA	
1	¿ Se cuenta con el requisito legal para el almacenamiento de desechos radioactivos y el transporte de estos? ¿ Se contempla dentro del Programa de Protección Radiológica?					

Apéndice 11. Lista de verificación basada en la norma UNE 73302 “Distintivos para señalización de radiaciones ionizantes”

		Lista de verificación basada en la Norma UNE 73302 Distintivos para señalización de radiaciones ionizantes					
LEYENDA: SI ● 2 En proceso ● 1 No ● 0 NA ● 0		Aplicadores: Fernanda Brenes Rivera Donald Castillo Ramírez				Fecha: Versión: 001	
DISTINTIVOS PARA SEÑALIZACIÓN DE RADIACIONES IONIZANTES							
1. Señalización							
Ítem	Requisito	Cumplimiento				Observaciones	
		S	P	N	NA		
1	¿Las señales se sitúan de forma visible en todas las entradas y en todos los lugares significativos de cada zona?						
2	¿Se señala cada una de las áreas utilizando el distintivo correspondiente al tipo de zona (vigilada, controlada, permanencia limitada y permanencia reglamentada de acuerdo con el tipo de riesgo)?						
3	¿ Se respeta la señalización en caso de riesgo a irradiación externa, el trébol va bordeado de puntas radiales?  Zona de acceso prohibido Riesgo de contaminación y de radiación						
4	¿Se respeta la señalización en caso de contaminación radiactiva, el trébol está bordeado por un campo punteado?  Zona de acceso prohibido Riesgo de contaminación y de radiación						
5	¿La señal de advertencia es triangular con el fondo amarillo y el trébol y el marco es de color negro?						
6	¿Están los avisos a los trabajadores (en el idioma local) expuestos conforme a los reglamentos?						
7	¿Se actualiza la señalización al realizar cambios en las actividades?						
9	¿El área donde se encuentran los equipos emisores de radiaciones ionizantes se encuentra demarcados por franjas amarillas y contraste negro en el piso con un grosor de 10 cm?						
2. Etiquetado							
Ítem	Requisito	Cumplimiento				Observaciones	
		S	P	N	NA		
1	¿Están etiquetados correctamente los dispositivos que contienen fuentes de radiación?						
2	¿Los distintivos utilizados en el etiquetado de material radioactivo contemplan con el texto "MATERIAL RADIOACTIVO", la tasa de dosis en contacto, nivel de contaminación del contenido y la fecha hasta la cual se estima que durará la actividad?						
3	¿ Las etiquetas se colocan de manera visible?						

CUMPLIMIENTO GENERAL
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> 0% </div>

CUMPLIMIENTO POR REQUISITOS	
1. Señalización	(S)
2. Etiquetado	(S)

CONCLUSIONES

Apéndice 12. Encuesta a los trabajadores ocupacionalmente expuestos

El siguiente formulario tiene como finalidad recopilar información acerca del conocimiento que tienen los trabajadores en cuanto a radiaciones ionizantes.

Información Personal

En este apartado se solicitará información personal de los trabajadores bajo confidencialidad.

Edad

- 20 – 40 años
- 41- 50 años
- 51 – 70 años

Departamento:

Cargo que desempeña:

Tiempo de laborar en el área de trabajo:

- 0 – 5 años
- 6 – 10 años
- 11 – 15 años
- 16 – 25 años

Información Laboral

1. ¿En qué lugar realiza su trabajo?

- Producción
- Mantenimiento
- Logística
- Otros: _____

2. ¿En cuál sección trabaja usted?

- Entrada
- Control de Calidad
- Embalaje
- Potes (Radiaciones Ionizantes)
- Salida

3. ¿Sabe usted que en la empresa se utilizan equipos que emiten radiaciones ionizantes?
- Si
 - No
4. ¿Tiene conocimiento sobre los procedimientos de trabajo y medidas de seguridad que se debe emplear según la actividad realizada en el uso de radiaciones ionizantes
- Si
 - No
5. ¿Cuál de las siguientes medidas de seguridad y protección radiológica aplica usted en la realización de sus labores?
- Uso de Equipo de Protección Personal
 - Cumple los procedimientos de trabajo establecidos
 - No aplica a su trabajo
6. ¿Ha recibido capacitación referente al riesgo que implica la exposición a radiación ionizante por parte de la empresa?
- Si
 - No
7. ¿Conoce los efectos de las radiaciones ionizantes?
- Si
 - No
8. ¿Cuántas veces a la semana ingresa al área restringida?
- Si
 - No
9. Si su respuesta anterior fue si, ¿cuánto tiempo estimado permanece en esta área?
- 5 – 10 minutos
 - 11 – 20 minutos
 - Más de 20 minutos
 - Ninguna
10. ¿En los últimos seis meses se ha realizado exámenes médicos?
- Si
 - No
11. ¿Conoce usted que hacer en caso de presentarse un accidente o incidente por radiaciones ionizantes?
- Si
 - No

Apéndice 13. Matriz de cumplimiento basada en la norma OIEA N° SSG-11

Requisitos	Equipo Valmet		Equipo Thermofisher		Equipo Portaspec	
	Cumple	No cumple	Cumple	No cumple	Cumple	No cumple
¿Los equipos cuentan con sistemas de enclavamiento en las puertas de acceso con el fin de que las personas no puedan entrar cuando esté expuesta una fuente de radiación?		X		X	X	
¿Se cuenta con un sistema de monitorización de las radiaciones provistos de elementos de seguridad intrínseca (Contadores Geiger Muller)?		X		X		X
¿Se cuenta con señales de alerta previa de manera visible o audible, que se encarguen de emitir dichas señales antes de la exposición de una fuente?		X		X		X
¿Se cuenta con un sistema de luces que indique que la fuente se encuentra expuesta, además se distingue de la primera señal de alerta?		X		X		X
¿Los equipos cuentan con botones de parada o cables de tiro de emergencia con reajuste manuales para que cualquier persona situada dentro del recinto active una alarma de inmediato y finalice o impida la radio exposición?	X		X		X	
¿Se cuentan con barreras para delimitar la zona controlada?	X		X		X	

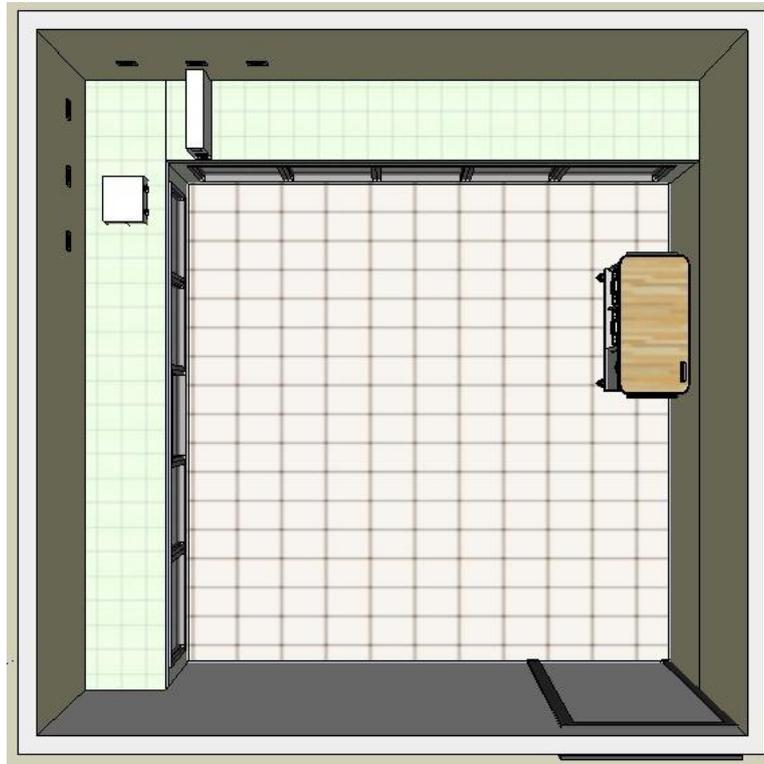
Apéndice 14. Señalización correspondiente al equipo Valmet.



Apéndice 15. Vista lateral equipo Portaspec



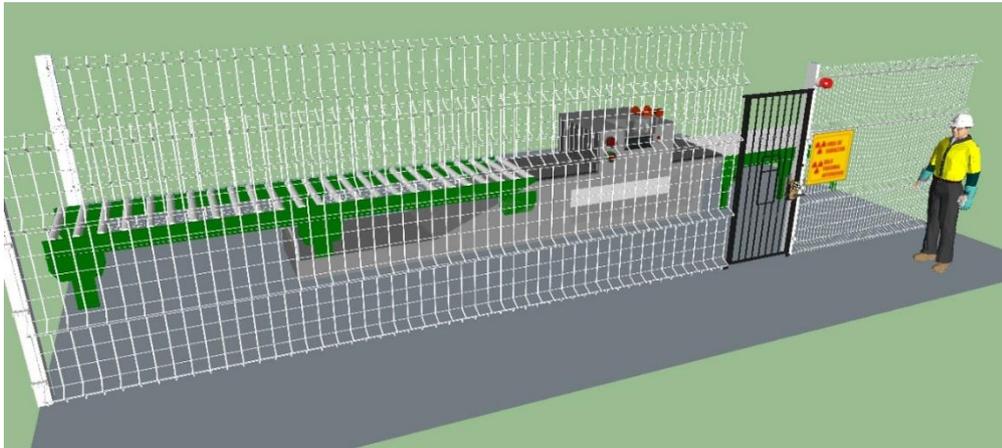
Apéndice 16. Vista superior equipo Portaspec



Apéndice 17. Vista frontal equipo Valmet



Apéndice 18. Vista lateral equipo Valmet



Apéndice 19. Vista superior equipo Valmet



Apéndice 20. Vista lateral equipo Thermofisher



Apéndice 21. Vista frontal equipo Thermofisher



Apéndice 22. Vista superior equipo Thermofisher



Apéndice 24. Evaluación de la efectividad de la capacitación

Información General		
Capacitación brindada:		
Fecha en la que se realizó la capacitación:		
Estructura de la capacitación		
Aspecto	Si	No
¿Siente que el objetivo de la capacitación fue alcanzado?		
¿Se siente satisfecho con los temas vistos?		
¿Se siente satisfecho con la duración de la capacitación?		
Expositor		
Aspecto	Si	No
¿El expositor mostró amplio conocimiento de los temas expuestos?		
¿El expositor mostró comunicación y empatía hacia los participantes?		
¿El expositor generó un espacio que promovió el aprendizaje?		
¿El expositor promovió el trabajo en grupo para la resolución de casos prácticos?		
Metodología		
Aspecto	Si	No
¿Se sintió satisfecho con la calidad de la presentación y los materiales didácticos?		
¿Se sintió satisfecho con las actividades lúdicas realizadas?		
¿Se sintió satisfecho con las técnicas de enseñanza empleadas?		
Organización del evento		
Aspecto	Si	No
¿Se cumplieron con las fechas y horarios establecidos?		
Perspectiva personal		
Aspecto	Si	No
¿Los temas desarrollados captaron su interés?		
¿Considera que los temas vistos son aplicables para las tareas que usted desarrolla?		
Comentarios y opiniones:		

Apéndice 25. Formulario de incumplimientos en los procedimientos y controles

Propósito

El propósito de este formulario es documentar la investigación de un incumplimiento en los procedimientos y controles planteados en este programa.

Paso 1. Detalles del incumplimiento

Fuente del incumplimiento			
<input type="checkbox"/> Auditoría Interna	<input type="checkbox"/> Auditoría Corporativa	<input type="checkbox"/> Inspección	<input type="checkbox"/> Evaluación de cumplimiento legal
Observaciones:			

Paso 2. Análisis de causas

Análisis: Proveer una conclusión definiendo la causa raíz	
<i>Información relacionada con el análisis de causa raíz</i>	<i>Conclusión de Causa Raíz</i>
<i>Método de análisis utilizado:</i>	

Paso 3. Plan de acción

Acción	Responsable	Firma	Fecha de cierre

Paso 4. Verificación de efectividad de acciones

Los criterios de aceptación se definen posterior a implementación de acciones.

El criterio de pasa o no pasa debe ser verificado por el Responsable de Protección Radiológica. En caso de no pasar, se debe realizar el análisis de causa raíz nuevamente.

Acción	Criterios de aceptación (Qué, cuántos, dónde)	Responsable de verificación	Fecha de cierre	Pasa/No pasa	Firma y fecha

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Informe de control y seguimiento del Programa de Protección Radiológica

Informe de control y seguimiento del Programa de Protección Radiológica				
Lugar:				
Fecha:				
Evaluador:				
Informe de control y seguimiento del programa				
% de cumplimiento de los procedimientos y controles				
Procedimiento	Control	% de cumplimiento	% de incumplimiento	Observaciones
¿Cómo interpretar el % de cumplimiento obtenido del control y seguimiento del programa?				
% de cumplimiento	Significado	Medidas		
100 %	Se cumple totalmente	Se debe dar seguimiento al programa para mantener este porcentaje de cumplimiento.		
99 % - 80 %	Se cumple parcialmente	Se debe ejecutar controles para aquellos rubros que incumplen.		
< 80 %	Se incumple	Se debe evaluar el Programa de Protección Radiológica e implementar acciones de mejora urgente.		
Alternativa de mejora				
Mejora	Responsables	Fecha de implementación	Observaciones	

Fuente: Olmos, 2020