

**UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA
SEDE CONCEPCION – REY BALDUINO DE BELGICA**

**SEGURIDAD RADIOLÓGICA OPERACIONAL
PARA USO DE EQUIPOS DE PRIMERA CATEGORIA EN LA
INDUSTRIA**

Trabajo de Titulación para optar al Título
Profesional de Ingeniero de Ejecución en
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

Alumno:

Sr. Carlos Pérez Isla

Profesor Guía:

Ing. Aldo Gabriel Fuentes Troncoso

2023

DEDICATORIA

Al culminar una etapa importante en mi vida, quisiera agradecer a todo el profesorado que estuvieron presente en la carrera, Además agradezco a mi familia y amigos por todo el apoyo brindado, contribuyendo a lograr mis metas y objetivos propuestos.

RESUMEN

La Radiografía industrial es una técnica de inspección no destructiva que se utiliza para examinar la integridad de los materiales y estructuras industriales utilizando radiación ionizante. La radiografía industrial se utiliza en una amplia gama de aplicaciones, desde la detección de fallas en tuberías y soldaduras hasta la evaluación de la calidad del concreto en puentes y edificios.

En la radiografía industrial, se utiliza un equipo de rayos X o gamma para emitir radiación ionizante a través del material o la estructura a inspeccionar. La radiación se absorbe de manera diferente por los diferentes materiales y estructuras, lo que permite detectar cualquier anomalía o defecto en el interior del material. La radiación transmitida a través del material o estructura se captura en una película o detector digital, que se procesa para producir una imagen radiográfica.

La radiografía industrial es una técnica muy valiosa para la detección temprana de fallas o defectos en los materiales y estructuras industriales, lo que puede ayudar a prevenir accidentes y a ahorrar costos a largo plazo. Sin embargo, la radiación ionizante utilizada en la radiografía industrial puede ser peligrosa para los trabajadores y el medio ambiente, por lo que se deben tomar medidas de seguridad adecuadas para minimizar el riesgo de exposición a la radiación.

Idiem de Universidad de Chile. busca desarrollar una metodología de trabajo en base a los altos estándares nacionales (CCHEN) e internacionales (IAEA).

Se busca proponer un sistema alternativo a la gammagrafía industrial con la implementación de equipos de rayos X pulsados de última tecnología como son los equipos Golden Engineering modelo XRS-3 y XRS-4.

En conclusión, el uso de energía de rayos X pulsados se presenta como una solución viable y segura en el ámbito industrial para disminuir las tasas de exposición del personal ocupacionalmente expuesto y del público en general.

ABSTRAC

Industrial Radiography is a non-destructive testing technique used to examine the integrity of industrial materials and structures using ionizing radiation. Industrial radiography is used in a wide range of applications, from detecting flaws in pipes and welds to evaluating the quality of concrete in bridges and buildings.

In industrial radiography, an X-ray or gamma equipment is used to emit ionizing radiation through the material or structure to be inspected. The radiation is absorbed differently by different materials and structures, allowing any anomalies or defects inside the material to be detected. The radiation transmitted through the material or structure is captured on a film or digital detector, which is processed to produce a radiographic image.

Industrial radiography is a very valuable technique for the early detection of faults or defects in industrial materials and structures, which can help prevent accidents and save long-term costs. However, the ionizing radiation used in industrial radiography can be dangerous to workers and the environment, so appropriate safety measures must be taken to minimize the risk of exposure to radiation.

Idiem from Universidad de Chile aims to develop a working methodology based on high national (CCHEN) and international (IAEA) standards.

The aim is to propose an alternative system to industrial gammagraphy through the implementation of state-of-the-art pulsed X-ray equipment such as Golden Engineering models XRS-3 and XRS-4.

INDICE

INTRODUCCION	1
OBJETIVOS	2
OBJETIVO GENERAL	2
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
CAPITULO 1: MARCO TEORICO	3
1. MARCO TEORICO	4
1.1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	4
1.1.1. IDIEM	4
1.1.2. Actualidad	4
1.2. NORMATIVA	5
1.2.1. Ley N° 18.302 Ley de Seguridad Nuclear, Ministerio de Minería.	5
1.2.2. Decreto Supremo N.° 133	5
1.2.3. Decreto Supremo N.° 3	6
1.2.4. Resolución Exenta N° 034/2017	6
1.2.5. Resolución Exenta N.° 024/2019	6
1.2.6. Resolución Exenta Disnr N.° 015/19	6
1.3. RESPONSABILIDADES	6
1.3.1. Explotador	6
1.3.2. Oficial Protección Radiológica (OPR)	8
1.3.3. Operador Radiográfico	11
1.3.4. Operador Asistente.	12
1.3.5. Supervisor END	14
1.4. VIGILANCIA EN EL ÁREA CONTROLADA, EN TÉRMINOS FÍSICOS Y RADIOLÓGICOS	14
1.4.1. Técnicas de exposición	14
1.4.1.1. Pared simple / Vista simple	15
1.4.1.2. Pared doble / Vista simple	15
1.4.1.3. Doble pared / Vista doble	16
1.5. DOSIMETRIA	16
1.5.1. Vigilancia radiológica	16
1.5.2. Elección del dosímetro personal	17
1.5.3. Características del dosímetro de termoluminiscencia:	17
1.5.4. Control trimestral	18
1.5.5. Uso del dosímetro	18
1.5.6. Cuidado del dosímetro	19
CAPÍTULO 2: DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	20
2. DEFINICION DEL PROBLEMA	21
2.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	21
2.2. TIEMPOS DE RESPUESTA Y RESULTADOS.	26
2.3. MEDIDORES DE RADIACIÓN UTILIZADOS EN GAMMAGRAFÍA	26

2.3.1.	Monitor RDS-30	26
2.3.2.	Monitor RDS-110	27
2.3.3.	Monitor RDS-200	27
2.4.	CALIBRACION DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDICION	28
2.5.	EQUIPOS – POSICIONADORES	29
2.5.1.	Posicionamiento con trípodes	30
2.5.2.	Posicionamiento con atriles estructurales	31
2.5.3.	Posicionamiento sobre superficies	31
CAPITULO 3: SOLUCION DEL PROBLEMA		33
3.	SOLUCIÓN DEL PROBLEMA	34
3.1.	PROPUESTA DE MEJORA - EQUIPOS DE PULSO RX - GOLDEN ENGINEERING XRS-3	35
3.2.	VENTAJAS EQUIPO DE PULSO GOLDEN ENGINEERING XRS	37
3.2.1.	Seguridad de las personas	37
3.2.2.	Medio Ambiente	37
3.2.3.	Calidad	37
3.2.4.	Desventaja.	38
3.3.	VENTAJAS DEL EQUIPO XRS-3 V/S GAMMAGRAFÍA	39
3.4.	DOCUMENTACION REQUERIDA PARA LA OPERACION DE EQUIPOS	
GENERADORES DE RADIACION IONIZANTE DE PRIMERA CATEGORIA		40
3.4.1.	Gammagrafía Industrial.	40
3.4.2.	Radiografía Industrial con equipo Rx Golden Engineering.	40
3.5.	EQUIPOS – GENERADOR DE RADIACION	41
3.5.1.	Radiografía Computarizada (CR)	42
3.5.2.	Radiografía digital (DR)	43
3.5.3.	Medios de Activación Equipos Pulso de rayos - X.	45
3.6.	SEÑALIZACIÓN Y VIGILANCIA	46
3.7.	TIPOS DE SEÑALÉTICA	46
3.7.1.	Instalación de señalética	47
3.7.2.	Retiro de señalética:	48
3.7.3.	Función de vigilancia	48
3.7.4.	Cantidad y distribución de señalética	48
3.7.4.1.	Cantidad de señalética:	48
3.7.4.2.	Distribución de señalética:	48
3.8.	BARRERAS FÍSICAS	50
3.9.	BARRERAS NATURALES.	50
3.10.	MEMORIA CALCULO	51
3.10.1.	Metodología general	52
3.10.2.	Magnitudes y unidades	53
3.11.	FACTORES DE CORRECCIÓN MEMORIAS DE CÁLCULO (FCMC)	54
3.11.1.	Atenuación implícita:	54
3.11.2.	Atenuación estructural	54
3.11.3.	Atenuación por cono truncado	55
3.11.4.	Exposición al vacío	55

3.11.5.	Exclusiones de zona garantizadas	55
3.11.6.	Geometría de exposiciones colimadas multidireccionales	56
3.11.7.	Proyecciones y colimación de haces radiactivos	56
3.11.8.	Exposición constante	58
3.11.9.	Fórmulas	58
3.11.9.1.	Coefficientes de atenuación másicos (μm)	59
3.11.9.2.	Densidad del material interpuesto (ρ)	60
3.12.	EQUIPOS – DETECTORES DE RADIACION	61
3.12.1.	Cámara de ionización FLUKE 451P	61
3.13.	OPERACIÓN CÁMARA DE IONIZACIÓN	63
3.13.1.	Controles externos	63
3.13.2.	Botón MODE (Modo)	63
3.13.3.	Modo Freeze:	63
3.13.4.	Modo Integración (Integrate)	63
3.13.5.	Modo Normal	63
3.14.	EVALUACIÓN DE RIESGOS RADIOLÓGICOS	64
3.14.1.	Evaluación de riesgos:	64
CAPITULO 4: PROPUESTA TÉCNICO ECONÓMICA		67
4.	PROPUESTA TÉCNICA ECONÓMICA	68
4.1.	COSTOS INICIALES DE EQUIPOS:	68
4.1.1.	Gastos operativos capacitación (5 días):	69
4.2.	ANÁLISIS COSTOS BENEFICIO	70
4.3.	ANÁLISIS DE COSTO:	70
CONCLUSIONES		73
BIBLIOGRAFIA		74

ÍNDICE DE FIGURAS

Ítem	Figura	Descripción	Pág.
1	Figura 1-1	Idiem	4
2	Figura 1-2	Técnicas simple pared interior y exterior	15
3	Figura 1-3	Técnica doble pared doble imagen	15
4	Figura 1-4	Técnica doble pared doble imagen	16
5	Figura 1-5	Tipos de dosímetros	18
6	Figura 2-1	Rados rds-30	26
7	Figura 2-2	Rados RDS-110	27
8	Figura 2-3	Rados RDS-200	27
9	Figura 2-4	Uso en terreno de cámara de ionización por el operador	29
10	Figura 2-5	Posiciones de superficie	29
11	Figura 2-6	Equipo XRS-4 con trípode	30
12	Figura 2-7	Exposición radiográfica con posicionamiento mixto	30
13	Figura 2-8	Exposición con atril estructural	31
14	Figura 2-9	Exposición a nivel de superficie o suelo	32
15	Figura 3-1	Equipos Golden Engineering	36
16	Figura 3-2	Evolución de radiografía en Chile	36
17	Figura 3-3	Ventajas radiografía computarizada y digital	38
18	Figura 3-4	Radiaciones utilizadas en la industria.	39
19	Figura 3-5	Esquema de un tubo de rayos XRS-3	41
20	Figura 3-6	Esquema de control equipos XRS	41
21	Figura 3-7	Placas de fosforo (IP)	42
22	Figura 3-8	Escáner Plano VMI Radiografía computarizada	43
23	Figura 3-9	Equipo de adquisición Digital	43
24	Figura 3-10	Interfaces de conexión.	44
25	Figura 3-11	Señalética instalación radiactiva	46
26	Figura 3-12	Etiquetas de identificación	47
27	Figura 3-13	Diagramas de referencia distribución de señal ética	48
28	Figura 3-14	Diagramas de referencia barrera natural y física.	49
29	Figura 3-15	Diagramas de referencia barrera natural - física.	49
30	Figura 3-16	Implementación de barrera	50
31	Figura 3-17	Barreras naturales	51
32	Figura 3-18	Esquema de identificación de zonas del cuerpo	53

33	Figura 3-19	Atenuación equipo RX	54
34	Figura 3-20	Estructura sobre calentado de una caldera recuperadora	54
35	Figura 3-21	Cono truncado	55
36	Figura 3-22	Exposición al vacío	55
37	Figura 3-23	Proyección esférica (gammagrafía)	56
38	Figura 3-24	Proyección Cónica (Pulso de Rayos “X”)	56
39	Figura 3-25	“c” representa una exposición con “Cono Truncado”	57
40	Figura 3-26	Exposición plano horizontal-perimetral (EHP)	57
41	Figura 3-27	Exposición plano vertical-radial (EVR)	57
42	Figura 3-28	Monitor de área portátil Fluke 451P	61

ÍNDICE DE TABLAS

Ítem	Tablas	Descripción	Pág.
1	Tabla 3-1	Ventajas equipos XRS-3 V/S Gammagrafía	39
2	Tabla 3-2	Descripción menú equipos XRS	42
3	Tabla 3-3	Tipos de operación de equipo RX	45
4	Tabla 3-4	Pasos desarrollo memoria de calculo	52
5	Tabla 3-5	Límite de dosis anual	53
6	Tabla 3-6	Formulas	58
7	Tabla 3-7	Coeficientes de atenuación masico	59
8	Tabla 3-8	Densidad de los materiales	60
9	Tabla 3-9	Especificación técnica cámara de ionización	62
10	Tabla 3-10	Probabilidad y Consecuencia	65
11	Tabla 3-11	Evaluación de riesgos	65
12	Tabla 3-12	Probabilidad y Consecuencia (Colorimetría).	66
13	Tabla 3-12	Acciones a seguir	66

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

SIGLA

OPR	:	Oficial de Protección Radiológica
POE	:	Persona Operacionalmente Expuesta
EMC	:	Especificación de Memoria de Cálculo.
MCC	:	Memorias de Cálculo Calificadas
FS	:	Factor de Seguridad
AIM	:	Atenuación Implícita
AES	:	Atenuación Estructural
ACT	:	Atenuación por Cono Truncado
TDE	:	Tipo de Exposición
EZG	:	Exclusiones de Zona Garantizadas
FCCM	:	Factores de Corrección Memorias de Calculo
AST	:	Análisis seguro del trabajo
ARCAL	:	Arreglos Regionales Corporativos para la promoción de la Ciencia y tecnología nucleares en América Latina.
CCHEN	:	Comisión Chilena de energía nuclear
OIEA	:	Organismo Internacional de Energía Atómica
IAEA	:	Organismo Internacional de Energía Atómica
ALARA	:	As Low As Reasonably Achievable, (tan bajo como sea razonablemente posible)

INTRODUCCION

La radiografía industrial ha tenido un importante número de casos de accidentes como incidentes en materia de seguridad radiológica, minimizando los riesgos y aumentar el nivel de conocimiento y desempeño, principalmente de los POE, (personal operacionalmente expuesto) que desarrollan su trabajo utilizando equipos generadores de radiación ionizante de primera categoría.

Por lo cual presentaremos una alternativa a la gammagrafía industrial ya que en la actualidad, el sector industrial ha ido evolucionando tecnológicamente ofreciendo nuevos productos en materia de inspección radiográfica, siendo más seguros y dinámicos en su uso operacional, para ello nos basaremos en la implementación de equipos Golden Engineering modelo XRS ya que estos equipos no contienen isotopo radiactivo, y adicionalmente entregaremos conocimientos técnicos sólidos en la manipulación de dichos equipos, instaurando capacitaciones periódicas, calificaciones y certificaciones de un trabajo que cumple con altos estándares de ejecución. Además, se reforzará y complementará las materias impartidas en el curso CEPRO que ha cursado y aprobado cada operador y, en el mismo orden aportará modernidad en el uso de tecnologías de Rayos “X” pulsado; también permitirá, el reentrenamiento de operadores.

OBJETIVOS

Objetivo General

Evaluar un sistema alternativo a la gammagrafía que permita la detección y evaluación de defectos en materiales y estructuras de manera segura, eficiente y precisa, utilizando tecnologías y técnicas no destructivas que minimicen los riesgos para los operadores y el medio ambiente, y que sean accesibles y rentables para su implementación en distintos campos y aplicaciones industriales.

Objetivos Específicos

- Analizar y revisar las competencias en seguridad radiológica, del personal que está involucrado en la operación de equipos de primera categoría, a través de un proceso estandarizado DS 133/84.
- Realizar capacitaciones periódicas, calificación y certificación de los operadores radiográficos de acuerdo Decreto Supremo 133/84.
- Implementar sistemas de control que permitan el monitoreo de la actividad de la radiografía industrial en el desarrollo físico DS 015/19.
- Investigar y evaluar tecnologías y técnicas no destructivas que puedan utilizarse como alternativas a la gammagrafía, tales como radiografía digital y computarizada.
- Realizar estudio económico para la implementación de nuevas tecnologías.

CAPITULO 1: MARCO TEORICO

1. MARCO TEORICO

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

1.1.1. IDIEM

Es el Centro de Investigación, Desarrollo e Innovación de Estructuras y Materiales, dependiente de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Chile, fundado en 1898.



Figura 1-1 - Fotografía IDIEM.

Fuente: <https://www.idiem.cl/quienes-somos>

1.1.2. Actualidad

Nuestro centro es una institución con reconocida trayectoria y experiencia en la solución de problemas de la construcción. Los servicios que IDIEM ofrece son una respuesta a las necesidades que la industria requiere, aportando al desarrollo de la infraestructura pública y privada del país, además de contribuir a sectores clave como son la minería y energía.

El equipo de profesionales y técnicos de IDIEM, sus laboratorios e instalaciones representan una capacidad para atender los desafíos del sector construcción en innovación, desarrollo y digitalización. Hoy IDIEM participa activamente en propuestas que permiten al sector innovar y mejorar la sustentabilidad, resiliencia y vulnerabilidad de la infraestructura, además de un desarrollo eficiente, sostenible, digital y competitivo, en un entorno de colaboración y responsabilidad con el medio.

Nuestros servicios asesoran en todas las etapas del proceso constructivo, desde la mecánica de suelos hasta peritajes en etapa de rehabilitación. Para lo cual contamos con un equipo compuesto por más de 900 profesionales y técnicos.

Nuestros servicios se agrupan en:

- Geotecnia y prospecciones.
- Ensayos de laboratorio.
- Asesorías y estudios técnicos.
- Inspección técnica de obra.
- Peritajes y análisis de fallas.
- Laboratorios en obra o fábrica.
- Asesoría contractual en controversias y claims.

1.2. NORMATIVA

1.2.1. Ley N° 18.302 Ley de Seguridad Nuclear, Ministerio de Minería.

Esta ley regula las actividades relacionadas con los usos pacíficos de la energía nuclear y con las instalaciones y las sustancias nucleares que se utilicen en la actividad, con el objeto de proveer la protección de la salud, la seguridad y el resguardo de las personas, los bienes y el medio ambiente, y a la justa indemnización o compensación por los daños que dichas actividades pudiesen provocar, prevenir la apropiación indebida y el uso ilícito de la energía, sustancias e instalaciones nucleares y de asegurar el cumplimiento de los acuerdos o convenios internacionales sobre la materia, en que sea parte Chile. La regulación, supervisión, control y fiscalización de dichas actividades corresponde a la Comisión Chilena de Energía Nuclear en conjunto con el Ministerio de Minería.

1.2.2. Decreto Supremo N.° 133

Aprueba Reglamento sobre autorizaciones para instalaciones radiactivas o equipos generadores de radiaciones ionizantes, personal que se desempeña en ellas, u opere tales equipos y otras actividades afines.

1.2.3. Decreto Supremo N.º 3

Aprueba reglamento de protección radiológica de instalaciones radiactivas.

1.2.4. Resolución Exenta N.º 034/2017

Aprueba la norma de seguridad NS-GGDL-11.0 “Contenido del manual de protección radiológica para instalaciones radiactivas de primera categoría”.

1.2.5. Resolución Exenta N.º 024/2019

Considera condiciones y plazos respecto de las autorizaciones

1.2.6. Resolución Exenta Disnr N.º 015/19

Considera Condiciones y exigencias de las autorizaciones a las instalaciones radioactivas

1.3. RESPONSABILIDADES

1.3.1. Explotador

Persona natural o jurídica que realiza una práctica con radiaciones ionizantes.

Condiciones y exigencias

1. Esta autorización sólo garantiza que la autoridad competente, Comisión Chilena de Energía Nuclear (en adelante la comisión), verifique que la institución poseedora de la instalación radiactiva de primera categoría individualizada al inicio de este documento (en adelante la instalación), cuente con todos los elementos de seguridad radiológica necesarios para la correcta utilización de la instalación. Esto no garantiza la calidad de los resultados en los que se utilice la instalación.
2. El Explotador de la Instalación es responsable mientras la misma no sea traspasada a otro explotador debidamente autorizado por la Comisión. Su responsabilidad se extiende a que la instalación y el personal que la opere, cumpla las disposiciones legales vigentes, los límites y condiciones aquí establecidas.

3. El titular de una autorización para instalación radiactiva, será siempre responsable de la seguridad de su emplazamiento, puesta en servicio, funcionamiento y cierre temporal o definitivo, sin perjuicio de la responsabilidad que pudiera afectar al personal que se desempeña en dicha instalación, de acuerdo a las normas generales del derecho.
4. Esta autorización no exime al explotador de obtener todos los otros permisos y autorizaciones establecidos en la legislación vigente.
5. La utilización de la Instalación debe efectuarse de acuerdo con los procedimientos establecidos en la documentación de licenciamiento aprobada por la Comisión, la que se entenderá forma parte de estos límites y condiciones. En particular, el explotador y los operadores deberán cumplir con las disposiciones indicadas en el Manual de Protección Radiológica Operacional (MPRO) para Equipos Generadores de Radiación Ionizante Pulso de Rayos X y sus actualizaciones posteriores.
6. El Explotador deberá solicitar una autorización específica a la Comisión antes de utilizar la Instalación en una actividad no contemplada en la documentación de licenciamiento. Se considera incluido el arrendamiento, venta, transferencia a cualquier título, inutilización, desmantelamiento o cualquier otro destino de la instalación.
7. No se deberá modificar la Instalación autorizada ni sus sistemas de seguridad. Sólo se deberá utilizar repuestos originales cuando sea necesario reemplazar partes o accesorios de la Instalación. Cualquier modificación a los procedimientos de operación u otra condición que afecte sus condiciones de seguridad deberá ser previa autorización de la Comisión.
8. La Instalación no se deberá operar si presenta falta visible en esta o sus accesorios y puedan afectar la seguridad radiológica de los operadores o público en general.
9. El Explotador deberá implementar sistemas de seguridad que garanticen la vigilancia de la Instalación durante las actividades de operación (letreros de seguridad, cintas, balizas, etc.)

10. La instalación deberá contar con detectores de radiación apropiados a la práctica (Cámara de Ionización Digital en modo integración), estar operativos y ser calibrados cada dos años por un organismo reconocido por la CCHEN y que cuenten con un patrón trazable. Para los detectores nuevos se aceptará la calibración del fabricante por un plazo máximo de un año.
11. El Explotador deberá dar cumplimiento a lo estipulado en la Normativa Nuclear y Radiológica vigente. A este respecto, se debe tener presente que es obligación del explotador estar al tanto de la normativa vigente, teniendo en consideración que no se podrá alegar ignorancia de ésta, una vez que haya entrado en vigor.
12. El explotador deberá gestionar una nueva autorización para esta instalación con a lo menos 40 días de anticipación a su vencimiento. Su incumplimiento podrá ser sancionado de acuerdo con lo establecido en la Ley N° 18.302.

1.3.2. Oficial Protección Radiológica (OPR)

Persona responsable de la elaboración de procedimientos y protocolos en protección radiológica. El control del uso, manejo o manipulación de material radiactivo o sustancia nuclear, y de la operación de equipos generadores de radiación ionizante. Incluyendo la protección radiológica, además de controlar en terreno la correcta utilización de los procedimientos que ejecuta el POE.

La evaluación periódica de las funciones ejercidas por las personas con autorización especial de operación y aquellas con autorización de desempeño.

El oficial de protección radiológica cumplirá las siguientes funciones establecidas (normativa Legal) en “Resolución Exenta DISNR N.º 015/2019”:

Responsabilidades

Planificar, organizar, asesorar, ejecutar, supervisar y promover acciones tendientes prevenir o limitar la probabilidad y la magnitud de las exposiciones de las personas, tanto en situaciones de exposición planificada como en situaciones de emergencia, según el marco normativo nacional.

- a) Evaluar, periódicamente, según lo dispuesto en los manuales, planes y procedimientos autorizados de cada instalación o práctica, las funciones ejercidas por las personas con autorización especial de operador.
- b) Implementar acciones, incluida la suspensión temporal de la operación de una instalación o el desempeño de un operador, en caso de prever la ocurrencia de situaciones de exposición de emergencia.
- c) Impartir capacitaciones de protección radiológica al personal vinculado a la operación de la instalación.
- d) Elaborar anualmente un informe de seguridad de la instalación y su personal, de acuerdo a los contenidos e instrucciones que imparta la Comisión.

Límites y condiciones

1. Esta autorización acredita que el titular posee conocimientos de protección radiológica operacional y de operación práctica para trabajar en gammagrafía industrial y rayos x industrial, autorizada por la Comisión Chilena de Energía Nuclear.
2. El titular será responsable de:
 - a) Ejecutar la elaboración de los procedimientos y protocolos de protección radiológica,
 - b) Llevar un control del uso, manejo o manipulación de material radiactivo o sustancia nuclear
 - c) La operación de equipos generadores de radiación ionizante, incluyendo la protección radiológica.

La evaluación periódica de las funciones ejercidas por las personas con autorización de desempeño. la elaboración de un informe anual de seguridad de la instalación. notificar a la comisión, según lo establecido en el artículo 17 de la ley 18.302.
3. El titular deberá cumplir con las disposiciones indicadas en el manual de protección radiológica operacional aprobado por la comisión.

4. El titular deberá portar, durante la ejecución de los trabajos, un dosímetro personal proporcionado por su empleador, el cual registra las dosis absorbidas de radiación al momento de manipular un equipo radiactivo.
5. Los límites de dosis para trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes, según la normativa vigente, son los siguientes:
 - a) Cuerpo entero, gónadas, médula ósea 50 mSv anual
 - b) Cristalino 300 mSv anual
 - c) Cualquier otro órgano en forma individual 500 mSv anual
6. Si se sobrepasan las dosis permitidas por la Comisión, se deberá realizar internamente una investigación, la cual deberá de igual manera ser presentada a la CCHEN para su evaluación, y de esta forma asegurar del bienestar del POE. Según el resultado de la investigación algunas de las sanciones podrán ser: suspensión periódica de la dependencia donde se encuentran almacenados los equipos radiactivos, suspensión temporal del trabajador que presento dosis alta.
7. Esta autorización no exime al titular de obtener otros permisos y autorizaciones establecidos en la legislación nacional vigente.

Acciones que debe realizar el OPR para controlar que los operadores de la empresa cumplan en todo momento con las disposiciones de protección radiológica:

- a) Acciones de Control Administrativo: Capacitación, Calificación, Certificación y Recertificación de operadores.
 - b) Acciones de Control Operacional: Las acciones que realizará el OPR para controlar que los operadores en distintos puntos del país, será que todo trabajo debe contar con una MCAB aprobada por el OPR.
- El OPR o a quien se delegue realizará control de terreno vía telefónica, WhatsApp y correo electrónico según corresponda de manera diaria, mientras se estén ejecutando actividades radiográficas.
 - El OPR o a quien se delegue realizará control directo de terreno de manera presencial con frecuencia mensual para aquellos contratos que superen 1 mes,

siempre y cuando se pueda ingresar a Planta. (hay que considerar que las plantas industriales tienen distintas formas de proceder en cuanto a control operacional).

Para ambos casos, se mantendrá archivo permanente y disponible para cualquier requerimiento por parte de la CCHEN.

1.3.3. Operador Radiográfico

Está a cargo de la configuración de tiempos, operación equipo generadores de radiación ionizante, indicar instrucciones al operador asistente y zona a controlar.

Responsabilidades

1. Tomar conocimiento y aplicar el manual de protección radiológica operacional.
2. El control del uso y operación de equipos.
3. La evaluación periódica de las funciones ejercidas por las personas con autorización especial de operador y aquellas con autorización de desempeño.
4. Cumplir con los aspectos de Seguridad Industrial y Protección Radiológica, durante la realización de los trabajos.
5. Operar equipos de radiación ionizante, según los procedimientos establecidos.
6. Dirigir las acciones de operación de acuerdo a las instrucciones del Supervisor END.
7. Mantener bajo control las acciones dentro del área de exclusión de público general.
8. Utilizar dosímetro personal y de lectura directa (cámara de ionización) durante toda la jornada de trabajo con equipos generadores de radiación ionizante.
9. Proponer mejoras al Procedimiento.
10. Supervisión de las mantenciones mensuales a los equipos de radiación

Límites y condiciones

1. Autorización acredita que el titular posee conocimientos de protección radiológica operacional y de operación práctica para trabajar en la aplicación de gammagrafía industrial y rayos x industrial.
2. El titular podrá realizar las funciones determinadas y específicas siguientes: uso, manejo o manipulación de material radiactivo o sustancia nuclear, o la operación de equipos generadores de radiación ionizante.
3. El titular deberá cumplir con las disposiciones indicadas en el Manual de Protección Radiológica Operacional aprobado por la Comisión, de la instalación en la cual trabaje.
4. El titular deberá portar, durante su jornada de trabajo, un dosímetro personal proporcionado por su empleador, destinado a detectar y registrar las radiaciones ionizantes que pudiere recibir como resultado de su trabajo
5. Los límites de dosis para trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes, según la normativa vigente, son los siguientes:
 - a. Cuerpo entero, gónadas, médula ósea 50 mSv anual
 - b. Cristalino 300 mSv anual
 - c. Cualquier otro órgano en forma individual 500 mSv anual
6. Esta Autorización podrá ser modificada, suspendida o revocada por la Comisión si se produjeren situaciones que puedan afectar a la seguridad del titular, de las personas o del medio ambiente.
7. Esta Autorización no exime al titular de obtener otros permisos y autorizaciones establecidos en la legislación nacional vigente.

1.3.4. Operador Asistente.

Seguir instrucciones del operador en cuanto a posicionamiento, identificación de uniones, mantener cámara de ionización disponible y controlar zona.

Límites y condiciones

1. Autorización acredita que el titular posee conocimientos de protección radiológica operacional y de operación práctica para trabajar en la aplicación de gammagrafía industrial y rayos x industrial.
2. El titular podrá realizar las funciones determinadas y específicas siguientes: uso, manejo o manipulación de material radiactivo o sustancia nuclear, o la operación de equipos generadores de radiación ionizante.
3. El titular deberá cumplir con las disposiciones indicadas en el Manual de Protección Radiológica Operacional aprobado por la Comisión, de la instalación en la cual trabaje.
4. El titular deberá portar, durante su jornada de trabajo, un dosímetro personal proporcionado por su empleador, destinado a detectar y registrar las radiaciones ionizantes que pudiere recibir como resultado de su trabajo
5. Los límites de dosis para trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes, según la normativa vigente, son los siguientes:
 - a. Cuerpo entero, gónadas, médula ósea 50 mSv anual
 - b. Cristalino 300 mSv anual
 - c. Cualquier otro órgano en forma individual 500 mSv anual
6. Esta Autorización podrá ser modificada, suspendida o revocada por la Comisión si se produjeren situaciones que puedan afectar a la seguridad del titular, de las personas o del medio ambiente.
7. Esta Autorización no exime al titular de obtener otros permisos y autorizaciones establecidos en la legislación nacional vigente.

1.3.5. Supervisor END

Las funciones del Supervisor END:

1. Coordinar las actividades diarias con el Cliente.
2. Verificar las condiciones de seguridad en terreno.
3. Asignar el trabajo de radiografía en terreno al operador, de acuerdo con las actividades a ejecutar.
4. Proponer mejoras al Procedimiento.

1.4. VIGILANCIA EN EL ÁREA CONTROLADA, EN TÉRMINOS FÍSICOS Y RADIOLÓGICOS

La vigilancia del sector, como se definió anteriormente, está determinada por las denominadas previsiones de delimitación, las cuales se detallan a continuación:

- a) Línea vista perimetral respecto de la zona controlada.
- b) Restricciones de área, producto de barreras físicas o naturales.
- c) Blindaje del entorno
- d) Mediciones con cámara de ionización.
- e) Permisos de trabajos asociados.

1.4.1. Técnicas de exposición

Las técnicas de exposición son ángulos geométricos utilizados para obtener imágenes de radiografía, los cuales se usan para determinar la longitud entre la fuente y objeto que se desea radiografiar. Considerando los siguientes parámetros:

1. Estructura geométrica del elemento a radiografiar.
2. Tamaño o forma del elemento a radiografiar.
3. Espesor del elemento a radiografiar.
4. Condición física del entorno.

1.4.1.1. Pared simple / Vista simple

En la técnica de pared única, la radiación pasa a través de una sola pared de la soldadura (material), que se ve para su aceptación en la radiografía.

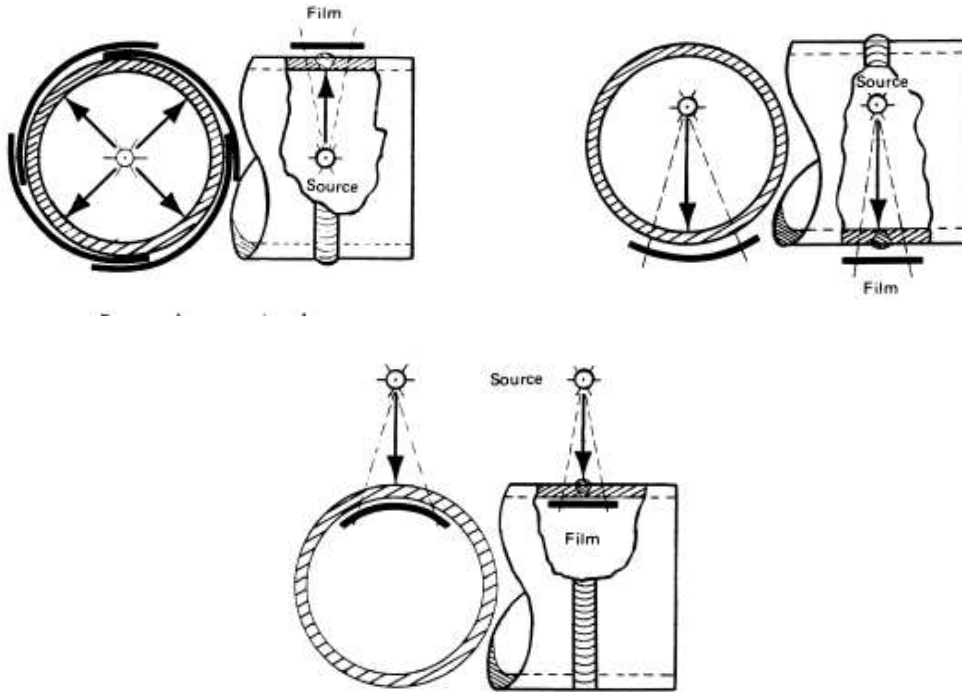


Figura 1-2 - Técnicas simple pared interior y exterior.

Fuente: ASME V

1.4.1.2. Pared doble / Vista simple

En el caso de los materiales y las soldaduras de los componentes, se podrá utilizar una técnica en la que la radiación atraviese dos paredes y sólo se vea la soldadura (material) de la pared del lado de la película para su aceptación en la radiografía.

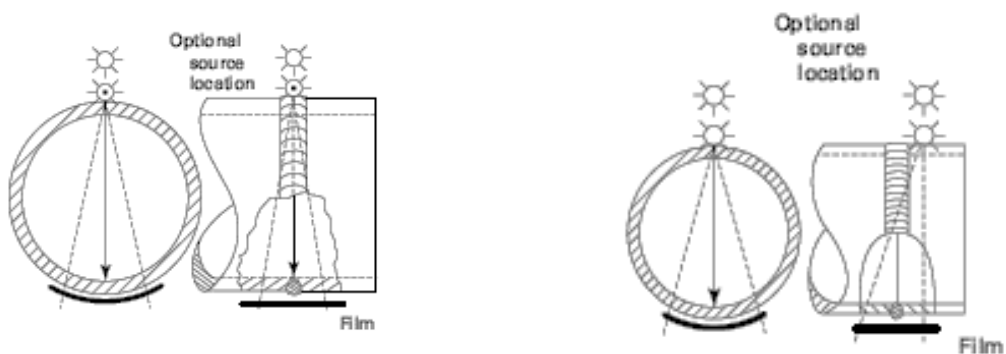


Figura 1-3 - Técnica doble pared doble imagen.

Fuente ASME V

1.4.1.3. Doble pared / Vista doble

Técnica en la que la radiación atraviesa dos paredes y la soldadura (material) de ambas paredes se ve para su aceptación en la misma radiografía.

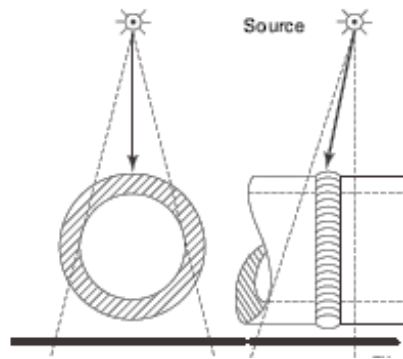


Figura 4 - Técnica doble pared doble imagen.

Fuente: ASME V

1.5. DOSIMETRIA

La dosimetría personal, entendida como la técnica para medir las Dosis absorbidas por una persona expuesta a las radiaciones ionizantes en un período determinado de tiempo, podrá ser efectuada por la Comisión Chilena de Energía Nuclear u otros organismos especialmente habilitados para tales efectos, por el Ministerio de Salud.

Toda persona ocupacionalmente expuesta deberá portar durante su jornada de trabajo, un dosímetro personal destinado a detectar y registrar las radiaciones ionizantes que pudiere recibir, el que le será proporcionado por el empleador cada vez que sea necesario.

1.5.1. Vigilancia radiológica

Como definición, vigilancia Radiológica se refiere al conjunto de medidas y acciones tendientes a controlar el cumplimiento y evaluar la eficacia del programa de protección radiológica operacional (PPRO) de una instalación radiactiva.

La función de la vigilancia radiológica a través de los dosímetros personales es controlar los límites de dosis radiactivas que pueden recibir las personas

ocupacionalmente expuestas, con el objeto de prevenir y evitar la sobreexposición a las radiaciones ionizantes y sus efectos en la salud

El explotador tiene la responsabilidad de proporcionar la dosimetría personal y otorgar todos los elementos de protección radiológica personales necesarios para disminuir los riesgos del trabajador expuesto.

Será obligación del empleador remitir, trimestralmente, al Instituto de Salud Pública, él o los dosímetros personales de sus trabajadores expuestos, para que ese organismo registre las dosis recibidas por el personal durante el período señalado, en sus respectivos historiales dosimétricos.

1.5.2. Elección del dosímetro personal

No solo depende del tipo de radiación, sino también de la información que se requiera obtener.

Tipos de dosímetros:

- a) Dosímetros fílmicos (películas fotográficas)
- b) Dosímetros termoluminiscencia (de TLD).
- c) Dosímetros de lapicero (de lectura directa).
- d) Dosímetros digitales (de lectura directa).
- e) Dosímetros infolight.

1.5.3. Características del dosímetro de termoluminiscencia:

El dosímetro tipo TLD, utiliza como método de medición de dosis la “luminiscencia ópticamente estimulada” u OSL por sus siglas en inglés. El método “OSL”, ofrece un grado muy alto de sensibilidad al proporcionar una lectura precisa tan baja como 1 mRem para fotones de rayos.



Figura 1-5 - Tipos de dosímetro

Fuente: <https://www.apuntesusc.es/api/api/documents/download/84>

1.5.4. Control trimestral

Será obligación del empleador remitir, trimestralmente, al Instituto de Salud Pública, él o los dosímetros personales de sus trabajadores expuestos, para que ese organismo registre las dosis recibidas por el personal durante el período señalado, en sus respectivos historiales dosimétricos.

Los organismos habilitados por el Ministerio de Salud para estos efectos, deberán remitir, trimestralmente, al Instituto de Salud Pública la siguiente información:

- a) Individualización del trabajador, lugar del trabajo y funciones específicas que desempeña en las instalaciones radiactivas;
- b) Dosis absorbidas por el trabajador;
- c) Nombre del empleador.

Si se detectare que un trabajador ha excedido el límite de dosis anual, el Instituto lo comunicará al Servicio de Salud correspondiente, con el objeto de que éste exija al empleador que destine a su dependiente otra función.

1.5.5. Uso del dosímetro

El dosímetro del tipo TLD, deberá ser portado en la región precordial, altura pecho, siempre en el mismo lugar para una mejor interpretación de los datos, protegiendo de las condiciones climáticas y otros.

1.5.6. Cuidado del dosímetro

El cuidado y porte del dosímetro es de responsabilidad directa del trabajador, por tanto, se debe tener presente las siguientes consideraciones:

- No debe exponerse a temperaturas elevadas ni a la humedad.
- No exponer el dosímetro a contacto con líquidos contaminantes, ácidos o corrosivos.
- No debe recibir salpicaduras de líquidos ni lavar junto al uniforme del usuario (overol).
- Evitar golpes y daños físicos o toda manipulación que los altere.
- No colocar objetos adicionales al dosímetro como calcomanías ni etiquetas autoadhesivas.
- No dejar dosímetro olvidado en vestimenta u overoles, en sectores donde se realizan exposiciones radiográficas.
- Dar cuenta de todo hecho que pueda afectar el control.

CAPÍTULO 2: DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

2. DEFINICION DEL PROBLEMA

2.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Dentro del ámbito de los ensayos de laboratorio, existen varios tipos de ensayos para determinar la calidad de la fabricación, montaje y reparación en trabajos industriales. Entre ellos, encontramos los ensayos destructivos y no destructivos. En este caso, nos centraremos en un ensayo no destructivo: la radiografía industrial.

Sin embargo, debido al gran número de accidentes e incidentes relacionados con la seguridad radiológica, es crucial minimizar los riesgos y aumentar el conocimiento y desempeño de los operadores radiográficos que utilizan equipos generadores de radiación ionizante de primera categoría.

Según información proporcionada por ARCAL (Acuerdo Regional de Cooperación para la Promoción de la Ciencia y la Tecnología Nucleares en América Latina y el Caribe), en América Latina y el Caribe, se han registrado más de 1300 incidentes relacionados con el uso de fuentes de radiación en diferentes sectores, como la medicina, la industria, la investigación y la agricultura, entre otros.

El aumento de los estándares de seguridad en el ámbito industrial surge como una medida para mitigar o prevenir los riesgos asociados a las actividades que se realizan, tanto para las personas como para el medio ambiente. Por esta razón, la necesidad de reducir el impacto se vuelve fundamental al realizar las labores operacionales, utilizando maquinarias, herramientas y equipos que garanticen la seguridad durante su funcionamiento. Como resultado, la constante investigación ha generado nuevas ideas y tecnologías más seguras y eficientes.

¿Qué es RADIOGRAFIA INDUSTRIAL (RT)?

La Radiografía Industrial (RT) es una técnica no destructiva utilizada para examinar materiales y componentes en busca de defectos internos. En esta técnica se utilizan radiaciones ionizantes, generalmente rayos X o gamma, que son emitidas por una fuente de radiación colocada en un lado del objeto a examinar y son detectadas por una película o un detector de radiación en el otro lado.

La RT se utiliza en una amplia variedad de industrias, como la aeroespacial, la de energía, la automotriz, la de construcción y la de manufactura, para detectar defectos internos en componentes, soldaduras, fundiciones, forjados y otros materiales.

La técnica de RT es muy útil para detectar defectos internos como grietas, porosidades, inclusiones, desalineaciones, falta de penetración, entre otros. Los resultados de las pruebas de RT son evaluados por un operador calificado en interpretación de radiografías, quien identifica los posibles defectos y evalúa su gravedad.

La RT es una técnica segura y confiable siempre y cuando se sigan las normas y procedimientos de seguridad establecidos para la protección de los operadores y del medio ambiente, ya que las radiaciones ionizantes pueden ser perjudiciales para la salud si no se manejan correctamente.

En el pasado, los operadores de rayos X o Gammagrafíco, se encontraban expuestos a una alta radiación ionizante, lo que producía efectos perjudiciales a la salud, como la pérdida de leucocitos, eritema, descamación seca o húmeda de la piel, daños en el sistema reproductivo y digestivo, e incluso la muerte.

Para abordar estos riesgos, existen organismos gubernamentales, como la Comisión Chilena de Energía Nuclear (CCHEN), creada bajo la ley 16.319 en 1964. Esta entidad regula, autoriza y fiscaliza las fuentes nucleares y radiactivas catalogadas como de primera categoría y a los operadores que las utilizan. Además, protege a las personas y al medio ambiente mediante monitoreo y vigilancia radiológica.

la normativa que regula la protección radiológica se encuentra en la DS N° 133 de 1984 del Ministerio de Salud y en la Resolución Exenta DISNR N.° 015/2019, la cual establece las prácticas y requisitos de capacitación que deben cumplir los usuarios y operadores de equipos generadores de radiación ionizante de primera categoría.

Nota: Gráfica desarrollada con datos obtenidos en el estudio "Accidentes e Incidentes en el Área Nuclear ocurridos en América Latina y el Caribe" del año 2005, realizado por la Sra. María Alicia Carregado de la Autoridad Reguladora Nuclear de Argentina y Lila Trujillo de la Comisión Chilena de Energía Nuclear, es una investigación que se enfocó en analizar los accidentes e incidentes ocurridos en la región de América Latina y el Caribe relacionados con la utilización de materiales y equipos nucleares.

Se puede observar que Brasil posee la mayor cantidad de frecuencia en incidentes, llegando a 16 en el período evaluado, seguido por Argentina con 14 eventos, Perú con 7, En Chile se registra en el período evaluado 2 eventos uno 1991 planta Arauco y 2005 planta Nueva Aldea.

El Instituto de Investigación y Ensayos de Materiales (IDIEM), utiliza radiografía industrial con fuente radiactiva de iridio-192 como una de sus técnicas no destructivas de ensayo.

La radiografía industrial con iridio-192 es una técnica comúnmente utilizada en la industria para inspeccionar la integridad y calidad de materiales y componentes. El iridio-192 emite radiación gamma de alta energía que puede penetrar a través de materiales gruesos y detectar defectos internos, como grietas, poros, inclusiones y otras discontinuidades.

Es importante destacar que el uso de fuentes radiactivas en la radiografía industrial conlleva riesgos radiológicos significativos y, por lo tanto, requiere una gestión rigurosa de la seguridad radiológica. El personal que realiza la radiografía debe estar capacitado y autorizado para el manejo de fuentes radiactivas, y se deben tomar medidas de seguridad adecuadas para proteger a los trabajadores, el público y el medio ambiente de la exposición a la radiación.

El uso de iridio-192 en la industria radiológica puede causar accidentes e incidentes radiológicos si no se toman las precauciones necesarias. A continuación, se presentan algunas posibles causas y efectos de accidentes e incidentes radiológicos que involucran el uso de iridio-192 en diferentes países de Sudamérica:

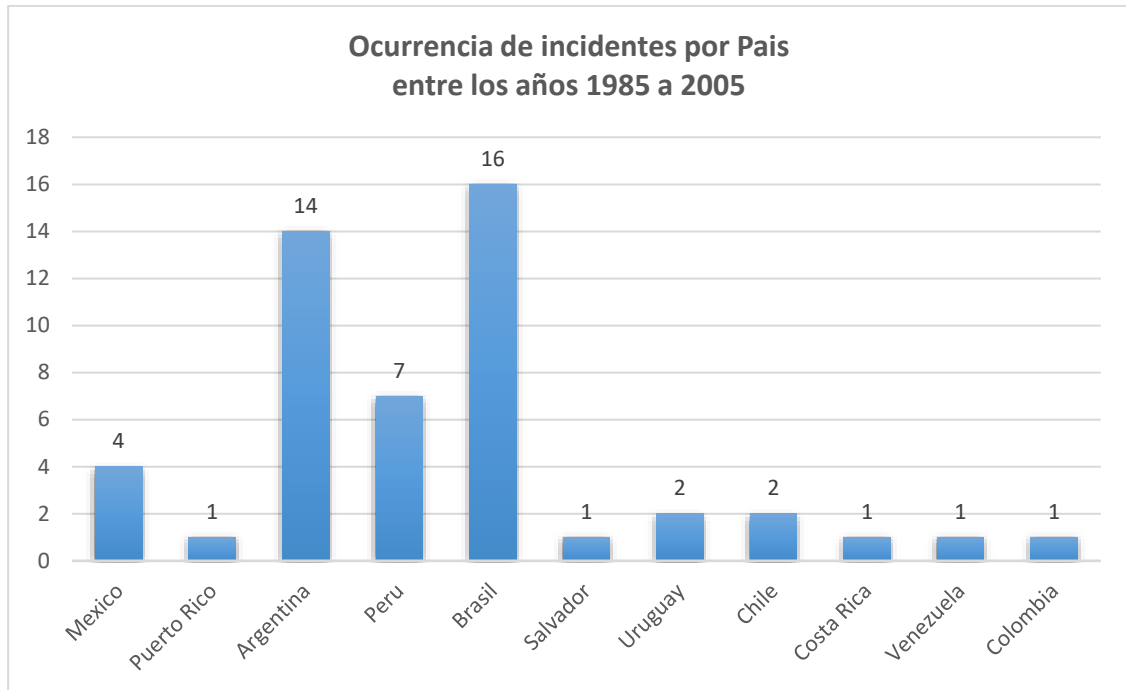


Gráfico estadístico de con datos obtenidos de publicación de ARCAL*

Fuente: Elaboración Propia

La Radiografía Industrial (RT) tiene varias ventajas y desventajas que es importante tener en cuenta:

Ventajas:

- Permite la detección de defectos internos en materiales y componentes sin dañarlos.
- Es una técnica no destructiva, lo que significa que el objeto examinado puede seguir siendo utilizado después de la prueba.
- La RT puede detectar una amplia variedad de defectos internos, como grietas, porosidades, inclusiones, desalineaciones, falta de penetración, entre otros.
- La RT es una técnica ampliamente utilizada y aceptada en una gran variedad de industrias.
- La RT es una técnica rápida y eficiente que puede producir resultados en tiempo real.

Desventajas:

- Las radiaciones ionizantes utilizadas en la RT pueden ser perjudiciales para la salud si no se manejan adecuadamente. Es importante seguir los procedimientos de seguridad establecidos para proteger a los operadores y al medio ambiente.
- La RT puede ser costosa debido a la necesidad de equipos especializados y operadores calificados.
- La RT requiere un alto nivel de habilidad y experiencia para interpretar correctamente las imágenes y detectar defectos.
- La RT puede ser limitada en la detección de ciertos tipos de defectos, como los que están cerca de la superficie o los que no son lo suficientemente grandes para ser detectados por la técnica.
- La RT produce imágenes bidimensionales que pueden ser difíciles de interpretar en objetos tridimensionales.

En general, la radiografía industrial es una técnica muy útil y precisa para la detección de defectos internos en materiales y componentes, pero requiere de un enfoque riguroso en cuanto a la seguridad y capacitación adecuada del personal que la utiliza.

El problema del uso de gammagrafía industrial se refiere a los riesgos y desafíos asociados con el uso de radiación ionizante en el proceso de inspección no destructiva en la industria. La gammagrafía industrial es una técnica que utiliza fuentes radiactivas para producir imágenes de alta resolución de objetos y estructuras internas en la industria, tales como tuberías, tanques, recipientes a presión y soldaduras.

El principal desafío en el uso de la gammagrafía industrial es garantizar la seguridad de los trabajadores y el público en general. La exposición a la radiación ionizante puede tener efectos dañinos en la salud, incluyendo la posibilidad de cáncer y otros problemas de salud.

Otro problema asociado con el uso de gammagrafía industrial es la formación adecuada del personal y la capacitación en seguridad radiológica.

En resumen, el problema del uso de gammagrafía industrial se refiere a los riesgos y desafíos asociados con el uso de radiación ionizante en la industria y la necesidad de garantizar la seguridad y la capacitación adecuada del personal para evitar consecuencias negativas para la salud y el medio ambiente.

2.2. TIEMPOS DE RESPUESTA Y RESULTADOS.

Los tiempos para la ejecución de los trabajos de radiografía industrial con gammagrafía son muy intensos debe delimitar la zona controlada con cintas, letreros balizas en un radio de alrededor 50mt² y evacuando al personal no operacionalmente expuesto y largos tiempos de exposición, sin mencionar los permisos de trabajos aplicables a la actividad.

La obtención de los resultados se debe realizar un revelado manual de las placas en cuarto oscuro con un líquido revelador, para obtener los resultados para la elaboración de informes en alrededor de 12 a 24horas después de la inspección.

2.3. MEDIDORES DE RADIACIÓN UTILIZADOS EN GAMMAGRAFÍA

2.3.1. Monitor RDS-30

Monitor a base de GM para ser utilizado en la detección y medición de radiaciones ionizantes emitidas por generadores de Rx e isótopos radiactivos



Figura 2-1 - Rados RDS-30.

Fuente: Catálogo RADOS RDS

2.3.2. Monitor RDS-110

Es un medidor de detección de radiación versátil que tiene las funciones que comprenden dosis y tasa de dosis mediciones y registro con extendido límite superior (100 mSv / h), se puede conectar a una ventana de extremo tubo GM para contaminación monitoreo y también se puede utilizar como un monitor de alarma gamma con gamma externa sonda.



Figura 2-2 - Rados RDS-110.

Fuente: Catálogo RADOS RDS

2.3.3. Monitor RDS-200

El RDS-200 utiliza mediciones comprobadas en campo electrónica y también el TIM (Intervalo de tiempo Método) principio de medición.

Especialmente fue diseñado para situaciones donde las mediciones precisas a bajo los niveles de dosis son importantes.



Figura 2-3 - Rados RDS-200.

Fuente: Catálogo RADOS RDS

2.4. CALIBRACION DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDICION

Solo en laboratorios de la Comisión se efectuará una calibración cada dos años de los instrumentos de medición, cuyo antecedente y factor de corrección quedará por escrito. El nuevo factor de calibración debe estar adherido al instrumento en etiqueta autoadhesiva. La Comisión entregará certificados de calibración que deben ser parte de la carpeta de cada instrumento, usada en terreno.

La responsabilidad de que los instrumentos estén calibrados con fecha vigentes es de los OPR.

Si por alguna razón el instrumento de medición, sufre algún golpe, caída, contacto con agua, ácidos, bases, contacto con energía eléctrica o cualquier evento que signifique un posible deterioro en la confiabilidad de los resultados de las mediciones, el equipo deberá ser enviado a la Comisión para su chequeo.

Los instrumentos defectuosos serán marcados inmediatamente con etiquetas alusivas y retirados de uso.

Uso de detectores por parte del operador

1. El operador durante la operación deberá utilizar un detector de radiación calibrado y autorizado por la autoridad competente.
2. Durante la operación radiográfica, el medidor deberá estar configurada en **modo integración** la cual sumará las dosis acumuladas.
3. Los registros de dosis obtenidos por los medidores deberán ser registrados en bitácora (anexo 1) operacional al finalizar la jornada laboral.
4. El medidor de radiación será ubicado al costado del operador en terreno, durante la operación de la toma radiográfica.
5. La cámara de ionización deberá ser resguarda por el operador para evitar todo tipo de daños (Ej. golpes o caídas) que pudieran afectar la lectura de este. Si este equipo es dañado, debe ser informado de inmediato al supervisor u OPR.



Figura 2-4 - Uso en terreno de cámara de ionización por el operador

Fuente: Elaboración Propia

2.5. EQUIPOS – POSICIONADORES

Para la realización de una muestra radiográfica, se requiere que la fuente de radiación ionizante quede en una posición definida, esto implica utilizar los denominados posicionadores (atriles, trípodes, otros). que pueden ser empleados en superficies fijas (suelo) o temporales (andamios, plataformas, tablonés, otros).

Los posicionadores, están referidos a las superficies de apoyo que se requiere para fijar una posición (X, Y, Z) * de las fuentes de pulso y poder producir exposiciones bajo parámetros de alturas y distancias, según cada elemento a radiografiar considerando la técnica de exposición empleada; obteniendo de esta forma imágenes radiográficas.



Figura 2-5 - Posiciones de superficie

Fuente: Elaboración Propia

A su vez, cierto tipo de adquirentes de imágenes, requieren también mecanismos para fijar una posición, como son el caso de los Digital Detector Array (DDA) o también denominados “Flat Panel”.



Figura 2-6 - Equipo XRS-4 con trípode.

Fuente: Elaboración Propia

2.5.1. Posicionamiento con trípodes

Se utiliza generalmente para dar altura de posicionamiento y superficie de apoyo provisoria, con técnicas radiográficas pared simple, simple imagen y/o doble pared, doble imagen en donde el haz del equipo de pulso Rx queda frente al objeto y producir la exposición.



Figura 2-7 - Exposición radiográfica con posicionamiento mixto.

Fuente: Elaboración Propia

Fuente de pulso posicionada con trípode y panel fijado en superficie provisoria.

2.5.2. Posicionamiento con atriles estructurales

Los atriles estructurales son utilizados como medio para poder conseguir posicionar el equipo en distintas ubicaciones radiales.

Estos son empleados principalmente cuando se utiliza la técnica doble pared simple imagen; siendo a su vez el objeto o elemento a radiografiar un blindaje para reducir la energía emitida por el equipo de pulso Rx.



Figura 2-8 - Exposición con atril estructural

Fuente: Elaboración Propia

2.5.3. Posicionamiento sobre superficies

El posicionamiento sobre superficies (Ej. Suelo, andamios, plataformas, tablones, otros), se realizan sin utilizar trípodes o atriles, esto debido a la ubicación o configuración que puedan encontrarse las piezas o elementos en terreno y las facilidades de posicionar sin estos, como también su uso podría entorpecer o no permitir el posicionamiento para realizar una exposición determinada.



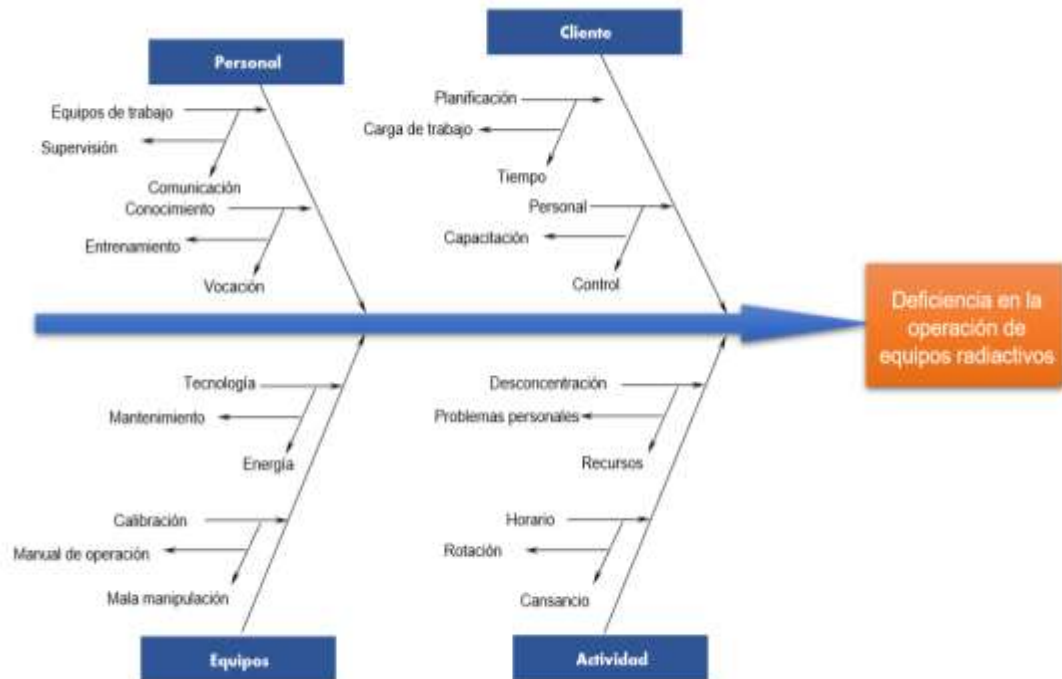
Figura 2-9 - Exposición a nivel de superficie o suelo, sin el uso de posicionadores

Fuente: Elaboración Propia

CAPITULO 3: SOLUCION DEL PROBLEMA

3. SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

Diagrama de Ishikawa



Fuente: Elaboración propia

Dentro de las causas encontradas se estableció realizar las siguientes medidas:

- Implementar nuevas tecnologías como son los equipos XRS-3, para evitar riesgos a la salud de las personas por exposiciones prolongadas a radiaciones ionizantes.
- Capacitar al personal NDT y operativo sobre la seguridad y manipulación de equipos y procedimientos operativos de equipos radiactivos.
- Establecer procedimientos estándar para las diferentes áreas que guíen al personal al momento de realizar sus actividades.
- Revisar los procesos, los requerimientos técnicos de equipos y del proveedor para actualizarlos según las nuevas tecnologías vigentes y considerando la confiabilidad del proveedor.
- Establecer un Plan de Contingencias que defina los canales de comunicación para diferentes situaciones.
- Trabajar en la cultura de prevención de tal forma que se establezcan planes de mantenimiento preventivo que eviten fallas en los equipos y a las personas.

El equipo Golden Engineering XRS es uno de los equipos utilizados dentro de la radiografía industrial para la detección de fallas, fisuras, grietas, corrosión y otros defectos en estructuras y materiales.

Entre las ventajas que se atribuyen al equipo Golden Engineering XRS en comparación con otros equipos de gammagrafía industrial se encuentran:

- Portabilidad: El equipo Golden Engineering XRS es compacto y liviano, lo que permite su fácil transporte y uso en lugares de difícil acceso o en ambientes donde es difícil mover grandes equipos.
- Rápido tiempo de exposición: Los equipos Golden Engineering XRS utilizan fuentes radiactivas de baja actividad, lo que permite tiempos de exposición más cortos y reducir el tiempo de exposición del personal.
- Menor radiación: Los equipos Golden Engineering XRS emiten una menor cantidad de radiación en comparación con otros equipos de gamagrafía industrial, lo que reduce los riesgos asociados a la exposición a la radiación.
- Alta resolución: El equipo Golden Engineering XRS proporciona una alta resolución de imagen y una mayor calidad de imagen, lo que permite una detección más precisa de los defectos.
- Mayor seguridad: Los equipos Golden Engineering XRS tienen múltiples medidas de seguridad incorporadas, como alarmas sonoras y visuales, indicadores de exposición y bloqueos automáticos de la fuente, lo que reduce el riesgo de errores humanos y aumenta la seguridad del personal.

En general, el equipo Golden Engineering XRS es considerado como una herramienta confiable y efectiva para la detección de fallas y defectos en estructuras y materiales en la industria. Sin embargo, es importante tener en cuenta que cada equipo tiene sus propias limitaciones y que su uso debe ser siempre supervisado por personal capacitado y con experiencia en la radiografía industrial.

3.1. PROPUESTA DE MEJORA - EQUIPOS DE PULSO RX - GOLDEN ENGINEERING XRS-3

Golden Engineering diseña y fabrica generadores de rayos X portátiles alimentados por batería que se utilizan para aplicaciones de seguridad e industrial (NDT). Con una capacidad de penetración de 25mm para equipos XRS-3 y 35mm para XRS-4.

Las unidades XRS-3 o XRS-4, son unidades pequeñas, capaces de generar rayos-X que opera utilizando baterías removibles de 14, 18 o 20 volt. La unidad XRS3 es una unidad de Rayos-X que produce pulsos de duración bastante cortos (25 nanosegundos). La energía producida por la XRS3 es de hasta 270kVp y 370kVp para XRS-4 lo cual hace posible radiografiar hasta una pulgada (1 pulgadas/2.54cm) de acero.



Figura 3-1 - Equipos Golden Engineering.

Fuente <https://www.goldenengineering.com/>

Su principal característica en temas de seguridad radiológica es que no causa bajo ningún motivo una exposición aguda a radiaciones ionizante, por sus cortos ciclos de trabajo ya que estos no superan los 25 nanosegundos.

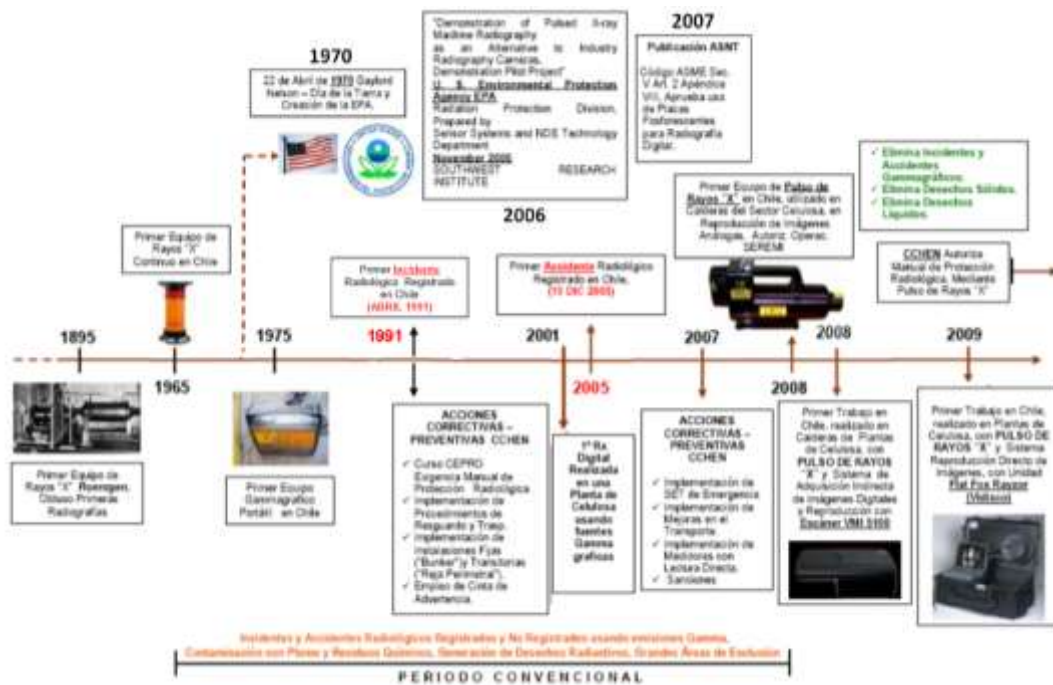


Figura 3-2: Evolución de radiografía en Chile

Fuente: Elaboración Propia

3.2. VENTAJAS EQUIPO DE PULSO GOLDEN ENGINEERING XRS

3.2.1. Seguridad de las personas

- Al utilizar rayos X pulsado no existe riesgo de exposición aguda a radiación ionizante. Se protege al operador como al público en general.
- Radio de exclusión de sólo 4,3 mts. Permite trabajar en producción a diferencia de las distancias requeridas para gammagrafía industrial.
- No requiere dependencia fija y móvil
- No requiere set de emergencia y rotulación de vehículo para el transporte.
- Menor documentación legal. Ver cuadro de documentos legales exigidos.

Este tipo de equipo evita accidentes graves, detención de obras y protestas de trabajadores.

3.2.2. Medio Ambiente

- Conciencia ecológica, al eliminar isotopos radioactivos
- No existe disposición final de residuos líquidos (revelador, fijador y aguas contaminadas).
- No existe disposición final de residuos sólidos (Plomo de película AGFA D7)
- No requiere demarcar áreas con cintas y alarmas sonoras, evitando así el desecho plástico.

3.2.3. Calidad

- Resultados inmediatos. Optimiza los tiempos de proceso y toma de decisiones.
- Cumple con normativa del código de proyecto.
- Permite trabajar en producción (Rx pulsado). No es necesario retirar otras disciplinas vinculantes al proyecto para realizar los ensayos de RT.
- La entrega de información es digital a través de una nube y no cajas de películas con elemento plástico.



Figura 3-3: Ventajas radiografía computarizada y digital

Fuente: Elaboración Propia

3.2.4. Desventaja.

- Energía de penetración máximo 25 mm.
- Cuidado del equipo y detención programada de 200 pulso cada 4 min.
- Altura geográfica mayor 3000 m.s.n.m.
- Mantenimiento cada 6 meses.
- Costo de mantenimiento.
- Gestión de importación y exportación por mantención.
- Lucro cesante por mantenimiento.

3.3. VENTAJAS DEL EQUIPO XRS-3 V/S GAMMAGRAFÍA

TABLA 3-1: Ventajas equipos XRS V/S Gammagrafia	
• Radiación limpia	• Baterías portables
• No porta isótopo	• Zonas de exclusión mínimas
• Seguridad operacional	• Tiempos efectivos de inspección
• Proceso digital pulsado	• Mejoras en calidad de imagen
• No requiere autorización de transporte	• Permite trabajos en producción.
• No requiere insumos para el revelado	• Informes con imágenes en tiempos mínimos
• Informes con imágenes en tiempos mínimos	

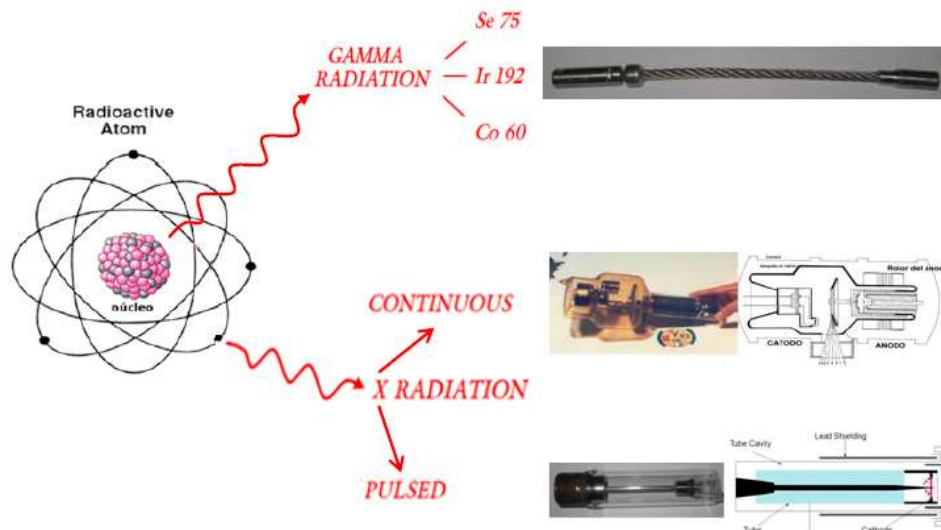


Figura 3–4: Radiaciones utilizadas en la industria.

Fuente: Elaboración Propia

3.4. DOCUMENTACION REQUERIDA PARA LA OPERACION DE EQUIPOS GENERADORES DE RADIACION IONIZANTE DE PRIMERA CATEGORIA

Para la operación y almacenar equipos radiactivos de primera categoría, se requiere la siguiente documentación:

3.4.1. Gammagrafía Industrial.

- Autorización de almacenamiento (dependencias fijas y móviles) equipos radiactivos, emitidos por CCHEN.
- Autorización de importación de bulto radioactivo por CCHEN.
- Autorización de Operadores para manipular equipos Radiactivos de primera categoría. Emitido por CCHEN.
- Autorización de desempeño en instalaciones radiactivas de 1°, 2° y 3° categoría
- Autorización de transporte equipos radiactivos de primera categoría, emitido por CCHEN.
- Certificados de calibración de equipos detectores de radiación Ionizante. Emitido por CCHEN
- Procedimiento de Gammagrafía Industrial
- Manual de protección radiológica operacional
- Procedimiento de emergencia

3.4.2. Radiografía Industrial con equipo Rx Golden Engineering.

- Autorización de importación de equipo pulso Rx por CCHEN.
- Autorización de Operadores para manipular equipos Radiactivos de primera categoría. Emitido por CCHEN.
- Autorización de desempeño en instalaciones radiactivas de 1°, 2° y 3° categoría
- Certificados de calibración de equipos detectores de radiación Ionizante. Emitido por CCHEN
- Procedimiento de radiografía Industrial
- Manual de protección radiológica operacional
- Procedimiento de emergencia

3.5. EQUIPOS – GENERADOR DE RADIACION

Es un dispositivo capaz convertir la energía eléctrica a través de sistema de capacitores generando un alto voltaje el cual viaja a alta velocidad mediante una colisión de los electrones producidos en cátodo hacia el ánodo a través de cátodo el cual un ánodo de tungsteno generando rayos X.

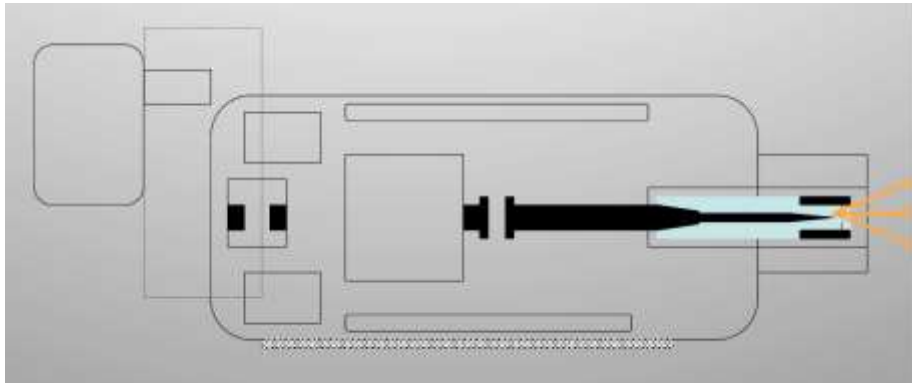


Figura 3-5: Esquema de un tubo de rayos XRS-3

Fuente: Golden Engineering.

Comandos Equipo Rx

La siguiente imagen, muestra la caja comando de un equipo de Rayos “X” pulsado Modelo XRS-3, según catálogo de fábrica Golden Engineering.



Figura 3-6: Esquema de control equipos XRS

Fuente: Catálogo de fábrica Golden Engineering

Tabla 3-2: Descripción menu equipos XRS		
Ítem	Comandos	Acción
1	Delay switch	Permite activar el retardo en 60 y 15 seg.
2	Range switch	Permite seleccionar pulsos
3	Units switch	Permite aumentar o disminuir los pulsos
4	Emergency Stop	Permite detener el equipo antes de comenzar a pulsar
5	X-Ray Pulsing Light	Permite verificar que el equipo esta ejecución
6	LCD	Muestra el pulso seleccionado
7	Key	Llave de encendido
8	Power on light	Luz de encendido del equipo

3.5.1. Radiografía Computarizada (CR)

Radiografía computarizada (CR), es un ensayo volumétrico, el cual utiliza como medio de adquisición “Image Plate”, que son placas fosforescentes flexibles, denominadas también, como “IP”.



Figura 3–7: Placas de fosforo (IP)

Fuente Catálogo Carestream

El proceso de adquisición de la imagen se lleva a cabo mediante un escáner VMI. En este proceso, se inserta una placa de fósforo en un casete que procesa los datos obtenidos y realiza una digitalización de la información, convirtiéndola en una imagen digital. Este proceso permite obtener imágenes de alta calidad con una excelente resolución y detalle, lo que resulta fundamental en el campo de la inspección radiográfica para detectar cualquier tipo de anomalía o defecto en los objetos inspeccionados. Además, esta tecnología permite una mayor rapidez y eficiencia en el proceso de inspección, lo que se traduce en un ahorro de tiempo y recursos para la empresa y una mayor seguridad para el personal involucrado en la tarea de inspección.



Figura 3–8: Escáner Plano VMI Radiografía computarizada.

Fuente: Catálogo VMI

3.5.2. Radiografía digital (DR)

La radiografía digital (DR) es una técnica volumétrica utilizada para la inspección de objetos y materiales. Este método consiste en capturar una imagen del objeto o material mediante un haz de radiación. La principal diferencia entre la radiografía digital y la radiografía convencional es el tipo de receptor utilizado para capturar la imagen. En el caso de la radiografía digital, se utiliza un panel rígido compuesto por fotodiodos, conocido técnicamente como "Digital Detector Array" o más comúnmente como "Flat Panel". Este panel se encarga de convertir los rayos X en señales eléctricas que son procesadas por un software especializado para generar una imagen digital de alta calidad y resolución. La radiografía digital ofrece numerosas ventajas en comparación con la radiografía convencional, tales como una mayor rapidez en la obtención de imágenes, una mayor precisión y sensibilidad en la detección de defectos y una menor exposición a la radiación ionizante tanto para el personal como para el medio ambiente.

Figura 3–9: Equipo de adquisición Digital



Modo Remoto Cable

Modo Remoto WIFI

Fuente: www.vidisco.com

La interface de activación del equipo de pulso de rayos- X, comandada por la unidad de imagenología “Vidisco”, pueden ser de dos formas:

- a) Mediante cable conector a la unidad de comunicación de imagen (ICU).
- b) A través de una interface inalámbrica WIFI,

Ambas formas son controladas directamente desde el software Xbit PRO alojado en la unidad de imagenología “Vidisco”.



Cable conector UCI – XRS



El transmisor UCI - XRS

Figura 3–10: Interfaces de conexión.

Fuente: Manual Vidisco Flat panel

3.5.3. Medios de Activación Equipos Pulso de rayos - X.

Los medios de activación de un equipo de pulso de rayos-X, según el método de adquisición, son:

Tabla 3-3: Tipos de operación de equipo RX				
Ítem	Técnica	Transmisión	Medio	Proceso
1	Radiografía digital (DR)	Software-Equipo Rx-Panel Rígido	Remoto	Activación equipo Rx mediante cable conector (red alámbrica)
		Software-Equipo Rx-Panel Rígido	Remoto Wifi	Activación equipo Rx mediante interface Wifi (red inalámbrica)
		Directa desde Equipo Rx	Comando	Activación equipo Rx con pulsador
		Directa desde Equipo Rx	Retardo	Activación equipo Rx con dispositivo Delay (Tiempo)
2	Radiografía computarizada (CR)	Directa desde Equipo Rx	Comando	Activación equipo Rx con pulsador
		Directa desde Equipo Rx	Retardo	Activación equipo Rx con dispositivo Delay (Tiempo)

3.6. SEÑALIZACIÓN Y VIGILANCIA

Se establecen las medidas de supervisión y prácticas de trabajo, para controlar el cumplimiento y evaluar la eficacia del programa de protección radiológica operacional de una instalación radiactiva y toda situación que involucre exposición de pulso rayos x en terreno.

Las áreas de trabajo donde se realicen dichas actividades serán zonas controladas; siendo estas supervisadas (línea vista) de acuerdo a las características de la práctica, así como también la señalización y geometría de su delimitación.

Es importante destacar que antes de dar inicio a la operación radiográfica, el operador debe contar con una memoria de cálculo “As Built” (MCAB). Como mejora el OPR, deberá acudir trimestralmente al área en donde se realizan los trabajos con equipos Radiactivos y controlar la seguridad radiológica operacional.

3.7. TIPOS DE SEÑALÉTICA

Señalética para delimitación en terreno

Los elementos que se utilizan en delimitación de área (zona controlada) para referenciar el peligro de una exposición son principalmente:

- Letreros de advertencia pulso de rayos x (debe incluir símbolo de radiación).
- Conos de advertencia que permitan identificar junto con letreros el peligro de exposiciones radiográficas.



Paletas de advertencia



Cono de Advertencia



Letreros de advertencia

Figura 3-11: Señalética instalación radiactiva.

Fuente: Elaboración Propia

Toda instalación o equipo de pulso debe etiquetarse claramente de forma permanente, según los siguientes detalles:

- Etiqueta internacional de radiación ionizante
- Identificación de la empresa, nombre y número de teléfono del explotador.
- Leyenda de advertencia de identificación del peligro.
- Placa que identifique: nombre del fabricante, modelo y número de serie del dispositivo de exposición.



Fuente: Elaboración Propia

3.7.1. Instalación de señalética

La instalación de la señalética (conos y letreros de advertencia) está basada en las distancias obtenidas en memorias de cálculo “As Built” (MCAB), donde se definirá las distancias para delimitar las zonas controladas, público y supervisadas.

Orientaciones precisas respecto a cuándo se colocan y retiran las señaléticas

Instalación de señalética en terreno

- La señalética se instalará mandatoriamente en función de los límites que establecen las memorias de cálculo.
- Las señaléticas se instalarán mandatoriamente antes de proceder con cualquiera exposición.
- No está permitido realizar exposiciones sin instalación de señalética.
- El operador asistente instalará la señalética si el operador titular le delega. En cualquier caso, el operador titular debe asegurar que esté instalada de acuerdo con la memoria de cálculo.

3.7.2. Retiro de señalética:

- a) El operador asistente es el que tiene la función de asegurar el retiro de toda la señalización instalada que se utilizó en la realización de una exposición

3.7.3. Función de vigilancia

- b) El operador titular es el que define hacia qué puntos mirar o vigilar cuando se realice la exposición.
- c) El operador titular y operador asistente, deben asegurar una visión 360 grados como zona controlada, respecto del punto de exposición. Máximo cada uno con visibilidad hacia dos puntos cardinales o 180 grados.

3.7.4. Cantidad y distribución de señalética

3.7.4.1. Cantidad de señalética:

- a. Mínimo se debe contemplar 4 unidades de señalización por cada exposición.
- b. La señalética puede ser de un solo tipo (Cono o Letrero) o mixta (Cono y letrero)

3.7.4.2. Distribución de señalética:

- a) Se considera una distribución mínima en el plano horizontal, para cubrir 4 puntos cardinales.

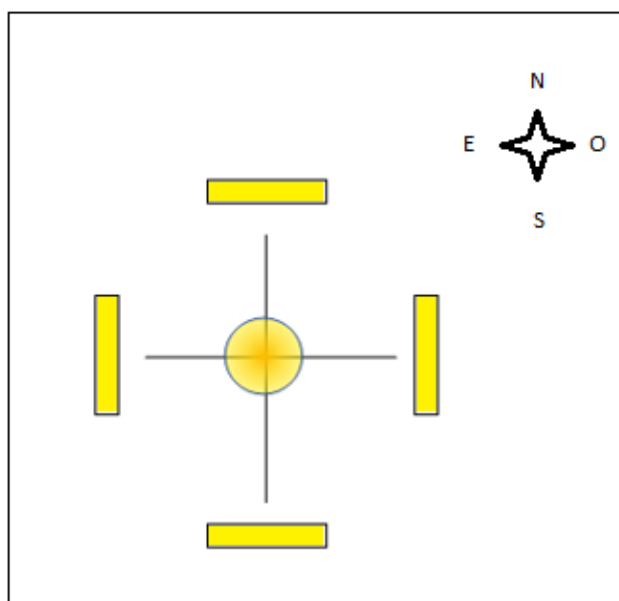


Figura 3-13: Diagramas de referencia distribución de señal ética.

Fuente: Elaboración propia

- b) Una barrera física o natural confirmada puede considerarse como barrera dura y que cubra un punto cardinal eficazmente.

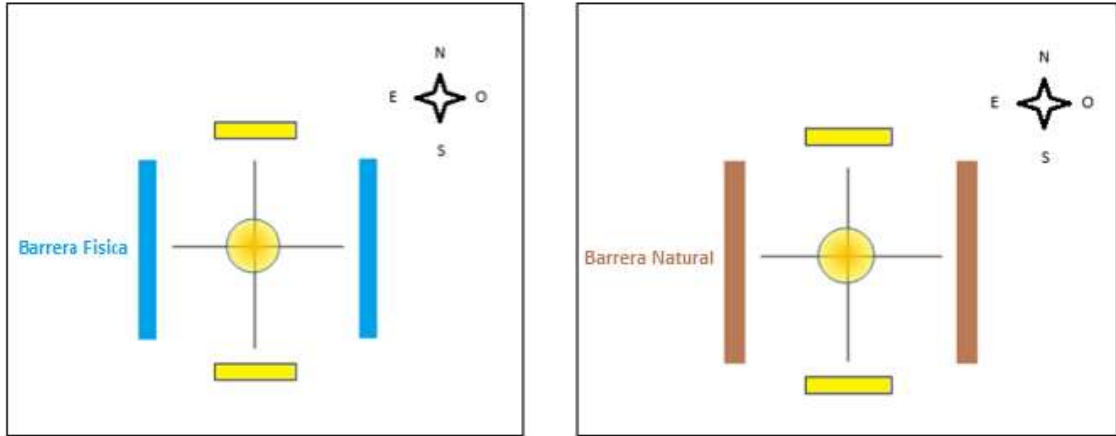


Figura 3-14: Diagramas de referencia barrera natural y física.

Fuente: Elaboración propia

- c) Una barrera mixta (física y natural) confirmada puede considerarse como barrera dura y que cubra algunos puntos cardinales eficazmente.

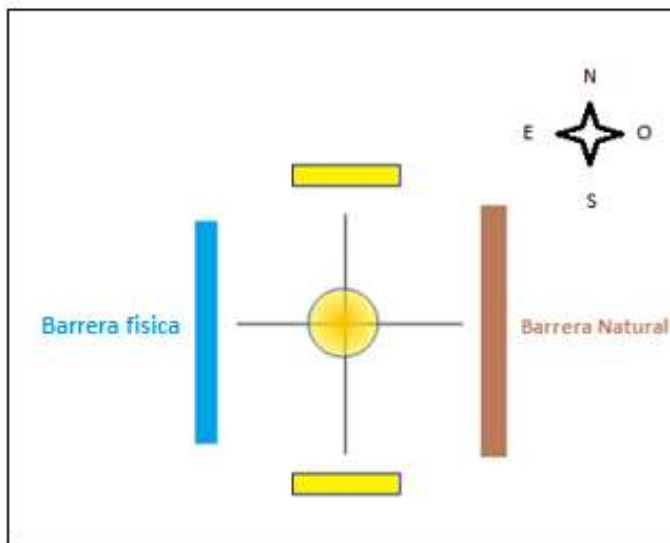


Figura 3-15: Diagramas de referencia barrera natural - física.

Fuente: Elaboración propia

3.8. BARRERAS FÍSICAS

Las barreras físicas son elementos utilizados para la delimitación de zonas controladas (letreros de advertencia y conos), así como también los equipos o estructuras que ofrece el entorno industrial que a su vez proporcionan un blindaje a la operación; permitiendo al operador tener un control absoluto del entorno o línea vista perimetral.

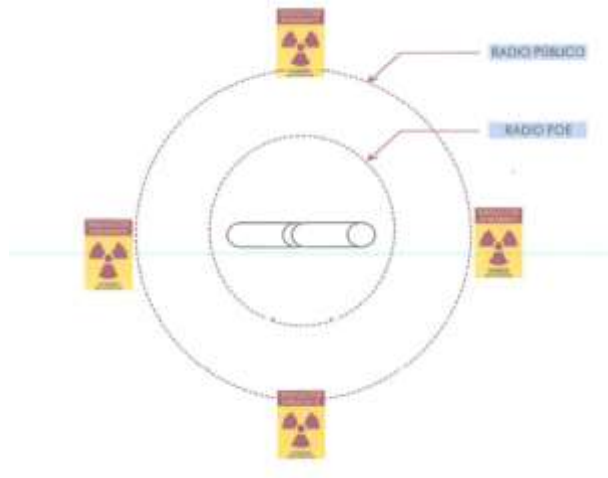


Figura 3-16: Implementación de barrera

Fuente: Elaboración propia

3.9. BARRERAS NATURALES.

Son aquellas que se forman naturalmente, impidiendo el tránsito normal del público; siendo parte del conjunto del cierre perimetral.

Este tipo de barreras también se utiliza para la delimitación de zonas controladas, las cuales pueden ser charcos de agua, zanjas, socavaciones, desniveles, etc. que a su vez proporcionan un blindaje a la operación; permitiendo al operador tener un control absoluto del entorno o línea vista perimetral.



Figura 3-17: Barreras naturales.

Fuente: Elaboración Propia

3.10. MEMORIA CALCULO

La memoria de cálculo, es un documento general que servirá como guía para establecer las tasas de dosis teóricas que genera una exposición determinada sin ningún tipo de blindaje por unidad de tiempo; así también, determinar teóricamente las áreas denominadas: controladas, supervisadas y público.

Se debe realizar comprobaciones de los cálculos obtenidos, mediante mediciones con cámara de ionización en modo integración, certificadas por la CCHEN estableciendo la calificación del cálculo. Sobre esta misma (memoria de cálculo calificada), además se aplicará un factor de seguridad empírico equivalente al 30% de aumento sobre las distancias de zona controladas; es decir aumentar la seguridad de las zonas.

3.10.1. Metodología general

En la siguiente tabla se identifican la secuencia de pasos que se requieren desarrollar como memoria de cálculo, para una toma de radiografía determinada y clasificación de zonas asociadas:

Tabla 3-4; Pasos desarrollo memoria de calculo				
Ítem	Descripción	Memoria de Calculo	Señalización	Responsable
1	Especificaciones	Memoria de Calculo Calificada con Factor de Seguridad	Teórica	OPR
2	Calificación			
3	Factor de seguridad (30%)			
4	Atenuaciones	Memoria de cálculo “As Built” (Incluye Croquis)	Real: POE, PNOE y Supervisada	Operador
5	Barreras físicas y/o naturales			
6	Tipo de Exposición			
7	Zonas Garantizadas			

3.10.2. Magnitudes y unidades

La memoria de cálculo calificada (MCC) será expresada en valores de Tasa de Dosis y la unidad de medida será “mR / hora”. El establecimiento de las mediciones debe ser realizada mediante cámaras de ionización con certificación vigente otorgada por la CCHEN, que permitan la integración de dosis para el caso de equipos pulso de rayos “X”.

Valores de Referencia

Toda persona ocupacionalmente expuesta (POE), en situaciones de exposición planificadas, no deberá exceder los siguientes límites:

Tabla 3-5: Límite de dosis anual		
Dosis Efectiva	POE	PNOE
Cuerpo, gónadas, medula ósea	50 mSv anual	1 mSv en un año
Cristalino	300 mSv anual	15 mSv en un año
Extremidades	500 mSv anual	50 mSv en un año

Fuente: Decreto Supremo N° 3

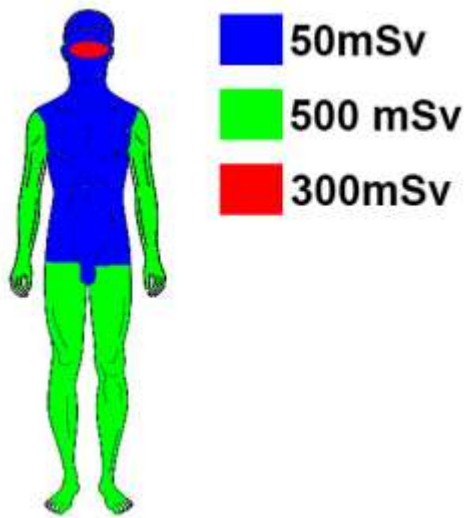


Figura 3-18: Esquema de identificación de zonas del cuerpo

Fuente: Elaboración Propia

3.11. FACTORES DE CORRECCIÓN MEMORIAS DE CÁLCULO (FCMC)

3.11.1. Atenuación implícita:

Se considera como atenuación implícita, todos los materiales que estén en contacto directo con el equipo y/o pantallas de plomo que permiten que el haz pierda intensidad de salida.

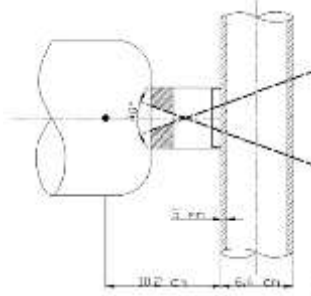


Figura 3-19: Atenuación equipo RX

Fuente: Elaboración propia

3.11.2. Atenuación estructural

Es toda aquella atenuación que permiten los elementos estructurales que pueden interponerse en la proyección del haz. En ciertos casos de alta densidad de elementos estructurales, se puede considerar como una exposición de “Cono Truncado”.

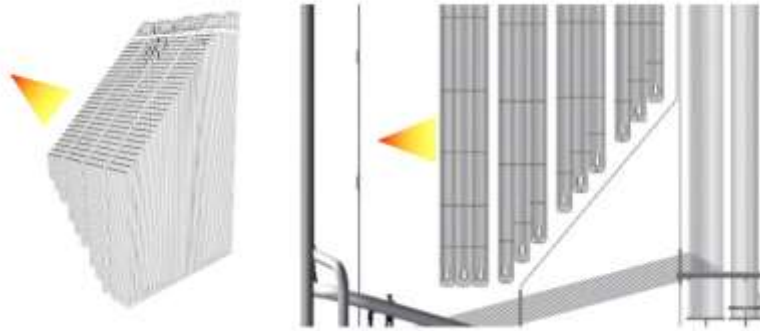


Figura 3-20: Estructura sobre calentado de una caldera recuperadora

Fuente: Elaboración Propia

3.11.3. Atenuación por cono truncado

Es aquella exposición del haz que no permite seguir proyectando el cono original de radiación, hasta llegar a conseguir distancias establecidas como zona controlada, como también la energía es 100% absorbida por el plano o barrera sólida que truncó al cono de exposición; como, por ejemplo: suelo, losa de hormigón, Fuentes de Agua, otras.

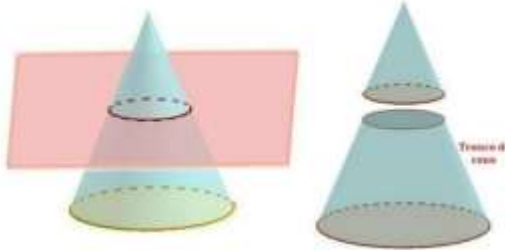


Figura 3-21: Cono truncado

Fuente: <https://www.universoformulas.com/matematicas/geometria/tronco-cono/>

3.11.4. Exposición al vacío

Es aquella exposición en donde la energía es 100% absorbida por la atenuación del aire, sin poder señalizar y medir. Ejemplo, exposiciones hacia el cielo, en mantos de estanques de gran diámetro, etc.

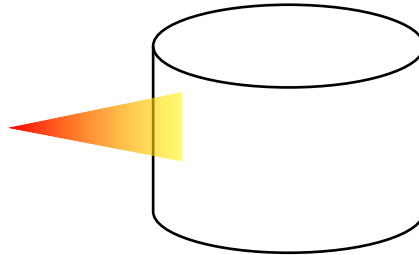


Figura 3-22: Exposición al vacío.

Fuente: Elaboración Propia

3.11.5. Exclusiones de zona garantizadas

Una zona de exclusión garantizada se refiere a aquellas zonas en donde no hay opción de ingreso de Público; como, por ejemplo, zonas: Desértica, Marítima, Aérea, Evacuadas por el Cliente, otras. Si hay alguna opción de ingreso de público, no se puede bajo ningún punto de vista considerar como zona de exclusión garantizada.

3.11.6. Geometría de exposiciones colimadas multidireccionales

Los equipos de Rayos X Pulsado, por diseño generan exposiciones de haces cónicos y estos pueden ser empleados multidireccionalmente, pero no pueden generar exposiciones panorámicas, como lo pueden realizar las fuentes gammagrafías, como también cierto tipo de tubos de rayos “X” continuos.

3.11.7. Proyecciones y colimación de haces radiactivos

Se pueden distinguir dos tipos de proyección de haz radiactivos: Los esféricos y cónicos. A su vez, la colimación de los haces puede ser multidireccionales o radiales.

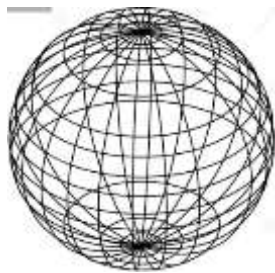


Figura 3-23: Proyección Esférica
(Gammagrafía)

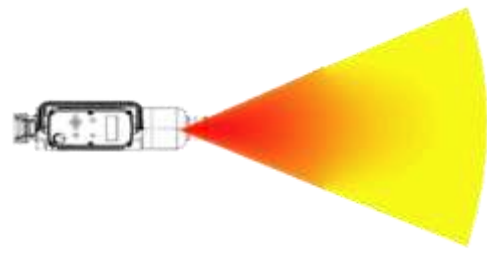


Figura 3-24: Proyección Cónica (Pulso de
Rayos “X”)

Fuente: Fuente: Elaboración

Las proyecciones esféricas, por lo general se producen en gammagrafía cuando la fuente radiactiva hace el recorrido entre el proyector y la punta del flexible o tubo guía. Las fuentes gammagrafías requieren instalar colimadores para dirigir los haces, excepto cuando se realizan exposiciones panorámicas aprovechando la capacidad esférica de alta energía. Este tipo de exposiciones, por su poder energético generan abundante radiación secundaria.

Las fuentes de Pulso de Rayos “X”, no generan proyecciones esféricas bajo ninguna condición.

Proyecciones cónicas genéricas con Pulsos de Rayos “X”

Considerando que los equipos de pulso de rayos “X” generan exposiciones cónicas y estas pueden ser realizadas de forma multidireccional, se establecen dos planos

de exposiciones posibles; es decir, exposiciones en un plano horizontal y exposiciones en un plano vertical. En ambos casos pueden realizarse exposiciones en una sola dirección, como también de forma radial.

A continuación, se muestra un plano genérico de exposición radial, para un haz colimado de 85 Grados. Por efectos de distribución geométrica se considera un haz de 90 grados (a, b, c, d) por cada posibilidad de exposición, lo que implica mayor seguridad.

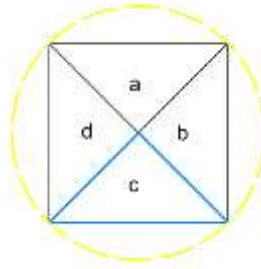


Figura 3-25: “c” representa una exposición con “Cono Truncado”

Fuente: Elaboración Propia

Figura 3-26: Exposición plano horizontal-perimetral (EHP)

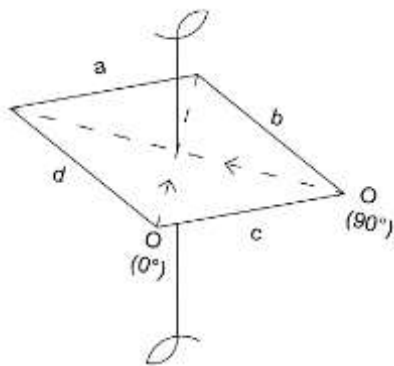
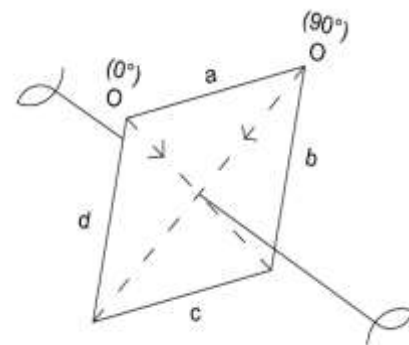


Figura 3-27: Exposición plano vertical-radial (EVR)



Nota: 0° y 90° , representan una exposición doble pared-doble vista (Elíptica), para ambas orientaciones EHP y EVR del plano del haz radiactivo.

Fuente: Elaboración Propia

3.11.8. Exposición constante

Se determina como exposición constante, para el caso de los Rayos “X” Pulsados, aquellas exposiciones en donde la energía emitida (fotón) no será superada por condición eléctrica alguna. Es decir, una cantidad de pulsos de rayos “X” emitidos a partir de una batería con un voltaje determinado, generará siempre la misma intensidad de energía y solo puede ser afectada o disminuida por el desgaste de los tubos de Rayos “X”, como también por el uso prolongado de la batería, lo cual implica pérdida de carga eléctrica.

Los niveles de intensidad de energía constantes se deben determinar a través de pruebas de calificación documentada y con baterías 100% cargadas según sea su capacidad de carga establecida por el fabricante.

3.11.9. Fórmulas

Para la especificación de memorias de cálculo (EMC), se utilizarán valores indicados por el fabricante en sus catálogos de origen enviados con cada tipo de equipo, incorporados en cada maleta de forma impresa, ya que estos varían según su edición, modelos y voltaje (condición eléctrica). No serán considerados como referencia los catálogos que se publican o figuran en internet.

En el área de trabajo se realizará la memoria de cálculo As Built (MCAB) para corroborar (realizar match) con la calificación que es realizada en laboratorio.

Tabla 3-6: Formulas		
CÁLCULO	FORMULA GENERAL	FORMULA DESPEJADA
INTENSIDAD	$\frac{I_1}{I_2} = \frac{(D_2)^2}{(D_1)^2}$	$I_2 = \frac{I_1 * (D_2)^2}{(D_1)^2}$
DISTANCIA	$\frac{I_1}{I_2} = \frac{(D_1)^2}{(D_2)^2}$	$D_2 = \sqrt{\frac{I_1 * (D_1)^2}{I_2}}$
BLINDAJE	$I = I_0 e^{-(\mu m * p * x)}$	$I = I_0 e^{-(\mu L * x)}$

Leyenda de Formulas:

D= Distancia

I = Intensidad de radiación

I_o = Intensidad de radiación incidente μ_m = Coeficiente de atenuación másico (cm²/gr) ρ = Densidad del material interpuesto (gr/cm³)

X = espesor del blindaje (cm)

 μ_L = el coeficiente de absorción lineal ($\mu_m \cdot \rho$)

Los valores de tasas de dosis utilizados se circunscribirán a los siguientes tres niveles de Memoria de Calculo: Especificación, Calificación y As Built, según se indica a continuación, para el cálculo de las distancias de seguridad asociadas a público y POE

3.11.9.1. Coeficientes de atenuación másicos (μ_m)

La siguiente tabla, permite encontrar una serie de coeficientes de atenuación másicos que deben ser considerados, a la hora de establecer Memorias de Cálculo.

Tabla 3-7: Coeficientes de atenuación másico		
Coeficiente de atenuación másico para rayos X con una energía 300 (KeV)		
Ítem	Material	(cm²/gr)
1	Plomo	0,404
2	Acero	0,110
3	Agua	0,117
4	Hormigón	0,108
5	Aire	0,107

3.11.9.2. Densidad del material interpuesto (ρ)

En física y química, la densidad es una magnitud escalar referida a la cantidad de masa en un determinado volumen de una sustancia o un objeto sólido.

Tabla 3-8: Densidad de los materiales		
ítem	Material	Densidad
1	Plomo	11,35 gr/cm ³
2	Acero	7,874 gr/cm ³
3	Agua	1 gr/cm ³
4	Hormigón	2 gr/cm ³
5	Aire	0,0012 gr/cm ³

Ejemplo cálculo distancia:

Para distancia uno “D₁” a 30 cm (0.3 m), con una tasa de exposición de 4,0 mRem/h, realizando una exposición de 30 pulsos a, obtenemos una intensidad de dosis de exposición de 120 mRem/h.

$$Dist\ POE = \sqrt{\frac{120mR_h * (0,3m)^2}{2,5mR_h}}$$

$$**Dist\ POE = 2,08m**$$

$$Dist\ PNOE = \sqrt{\frac{120mR_h * (0,3m)^2}{0,25mR_h}}$$

$$**Dist\ PNOE = 6,6m**$$

De acuerdo a los datos obtenidos la distancia frontal para el personal ocupacionalmente expuestos (POE) debe ser no menor a 2,08 metros, y la distancia pública (PNOE) debiera estar 6,6 metros del equipo de Rx.

3.12. EQUIPOS – DETECTORES DE RADIACION

Puesto que el hombre no puede sentir o medir la presencia de la radiación ionizante en forma sensorial, es necesario emplear instrumentos adecuados para su detección. Un sistema para lograr este propósito compuesto fundamentalmente por dos bloques básicos: que es el detector e instrumentación electrónica asociada como son los detectores de radiación.

3.12.1. Cámara de ionización FLUKE 451P

La cámara de ionización Fluke modelo 451P, es un monitor de área portátil, con alimentación de batería que se emplea para medir niveles de radiación de rayos X y otras fuentes de radiación.



Figura 3-28: Monitor de área portátil Fluke 451P

Fuente: Manual FLUKE

Tabla 3-9: Especificación técnica cámara de ionización	
Radiación detectada	Radiación rayos X, gamma por encima de 25 KeV
Rangos de funcionamiento	Rangos de funcionamiento de 0 $\mu\text{Sv/h}$ a 50 mSv/h . (0 $\mu\text{R/h}$ a 5 R/h)
Precisión	$\pm 10\%$ de la lectura.
Detector	Cámara de ionización con volumen de aire activo de 230 cc y presurizado a 8 atmósferas.
Tiempo de respuesta	<p>Tiempo medido del 10% al 90% del valor final para un aumento/disminución progresiva de la tasa de radiación de tal modo que no se produzca un cambio de rango:</p> <p>Rango de 0 $\mu\text{Sv/h}$ a 5 $\mu\text{Sv/h}$: 5 segundos. Rango de 0 $\mu\text{Sv/h}$ a 50 $\mu\text{Sv/h}$: 2 segundos. Rango de 0 $\mu\text{Sv/h}$ a 500 $\mu\text{Sv/h}$: 1,8 segundos. Rango de 0 mSv/h a 5 mSv/h: 1,8 segundos. Rango de 0 mSv/h a 50 mSv/h: 1,8 segundos.</p> <p>NOTA: En el campo pulsante la tasa instantánea no deber ser superior a 50 mSv/h para permitir la correcta integración; la tasa de exposición instantánea está limitada todavía a 50 mSv/h.</p>
Lectura	<p>Pantalla de cristal líquido: Incluye un gráfico de barras analógico con una escala permanente en la pantalla y una pantalla de 2,5 pulgadas de largo.</p> <p>Las unidades de medida aparecen a la derecha de la pantalla digital.</p> <p>También se muestran los multiplicadores adecuados en la pantalla</p> <p>Unidades: Como se indican en Range (Rango), programables en R/h o Sv/h.</p>
Controles externos	Botón ON/OFF (Encendido/apagado), botón MODE (Modo)
Funciones automáticas	La selección del rango y la calibración del punto cero son funciones totalmente automáticas.

3.13. OPERACIÓN CÁMARA DE IONIZACIÓN

3.13.1. Controles externos

El monitor de área portátil incluye dos controles externos: Un botón ON/OFF (Encendido/apagado) y un botón MODE (Modo).

3.13.2. Botón MODE (Modo)

Se utiliza este botón MODE para cambiar el monitor a modo:

- Freeze (Congelar)
- Integrate (Integrar).
- Rate (Tasa)

3.13.3. Modo Freeze:

El modo Freeze registra la lectura más alta obtenida durante una exposición quedando registrada en un gráfico de barras.

3.13.4. Modo Integración (Integrate)

Esta función mostrará tasa de exposición integrada, que corresponde a la suma de todas exposiciones que se realizarán en el tiempo de la ejecución del trabajo. Para activar pulsa el botón MODE durante un periodo de 30 segundos, la pantalla mostrará "0". Cuando comienza la integración, se muestra "0,0 μSv ".

3.13.5. Modo Normal

Esta función permite medir los niveles de radiación en tiempo real.

3.14. EVALUACIÓN DE RIESGOS RADIOLÓGICOS

El objetivo fundamental de la evaluación de riesgos radiológicos es proporcionar una herramienta preventiva al personal ocupacionalmente expuesto (POE) que permita evaluar riesgos radiológicos en función de la operación de las instalaciones y sus actividades operacionales anexas a la exposición, con la finalidad de poder determinar si ha alcanzado un nivel adecuado de seguridad en terreno (controlar y verificar si los riesgos radiológicos están dentro de los límites y condiciones operacionales).

Concepto y definiciones:

Riesgo: Combinación de la frecuencia, probabilidad y consecuencia que ocurra un evento calificado como peligroso; de que ocurra un suceso o exposición peligrosa. Sus niveles son: tolerable, significativo o intolerable.

Peligro: Fuente o situación con potencial para generar daños o enfermedades profesionales en el personal; daño en la propiedad, daño en el ambiente de trabajo o una combinación de ellos.

Probabilidad: Posibilidad de que ocurra un suceso.

Frecuencia: Repetición de un hecho o un suceso.

Consecuencia: Es el resultado de un evento o suceso.

3.14.1. Evaluación de riesgos:

La evaluación de riesgos determina si se han adoptado medidas adecuadas para controlar, de manera aceptable, los riesgos radiológicos; impidiendo que se puedan producir incidentes operacionales previstos.

Tabla 3-10: probabilidad y consecuencia		
Ítem	Probabilidad	Consecuencia
1	Prácticamente imposible	Lesiones leves / equipos / ambiente
2	No muy a menudo	Lesiones gravedad media / equipos / ambiente
3	Puede pasar	Lesiones graves / equipos / ambiente
4	Ha pasado	Lesiones colectivas graves / equipos / ambiente
5	Frecuente	Fatal o incapacidad permanente /perdida de equipo / daño ambiental serio.

Tabla 3-11: Evaluación de riesgos		
Ítem	Rango	Evaluación
1	Intolerable	El trabajo debe ser detenido inmediatamente y sólo podrá reanudarse cuando se tomen medidas adecuadas para controlar el riesgo.
2	Significativo	Se deben adoptar medidas preventivas provisionales en espera de medidas definitivas en un tiempo determinado.
3	Tolerable	Se puede continuar manteniendo las medidas de control existentes

Tabla 3-12: Probabilidad y Consecuencia (Colorimetría).						
Consecuencia	Probabilidad					
		A	B	C	D	E
	1					
	2					
	3					
	4					
5						

Tabla 3-13: acciones a seguir	
Ítem	Acciones
1	Si la evaluación de riesgo resulta intolerable o significativo debe comunicar al encargado o jefe directo para tomar las medidas necesarias
2	Si los riesgos cambian durante la ejecución o finalización de la tarea debe volver a realizar un análisis seguro del trabajo AST
3	Las actividades rutinarias sólo requieren de un solo análisis de trabajo (AST), siempre y cuando los riesgos de la actividad no hayan cambiado.

Nota: Al realizar trabajos con equipos de pulso de rayos – X, no existe riesgo de exposición aguda a radiación ionizante, como es el caso de la gammagrafía industrial; al contrario, se minimizan los niveles y tiempos de exposición a radiaciones ionizantes para el (POE y PNOE).

CAPITULO 4: PROPUESTA TÉCNICO ECONÓMICA

4. PROPUESTA TÉCNICO ECONÓMICA

Para llevar a cabo nuestra inversión inicial, adquiriremos equipos de última tecnología en generadores de radiación ionizante, con el objetivo de ofrecer un servicio de inspección seguro y sostenible tanto para las personas como para el medio ambiente. En este sentido, realizaremos la compra de los equipos necesarios para cumplir con nuestros objetivos y brindar un servicio de calidad a nuestros clientes.

4.1. COSTOS INICIALES DE EQUIPOS:

ítem	Equipo	Cant.	Valor
1	Equipo de rayos X Golden Engineering XRS-3	1	\$4.920.000
2	Escaner Radiográfico VMI 5100	1	\$36.280.000
3	Placas de fósforo Carestream	1	\$840.000
4	Computador más software Starrview	1	\$3.800.000
		Total	\$45.840.000

Es importante tener en cuenta que, además del costo inicial de la compra de los equipos de última tecnología en generadores de radiación ionizante, se deberá realizar un mantenimiento periódico cada 6 meses. Este mantenimiento tendrá un valor de \$ 3.970.000 por cada equipo, el cual incluirá el envío y retorno del equipo al fabricante para el cambio de piezas necesarias para un óptimo funcionamiento. Además, la mantención contemplará la revisión de los tubos de vacío, el cambio de aceite o refrigerante y la revisión de placas electrónicas. Para completar el proceso de mantenimiento, se gestionará la solicitud de certificado de exportación e importación ante la CCHEN, asegurando así el cumplimiento de las regulaciones y normas aplicables en materia de radiación ionizante.

Ítems	Acción	Tiempo	Observación
1	Solicitud importación y Exportación	30 días	Cchen (duración 1 año)
2	Envío DHL CL - USA	5 días	Incluye tramites aduana
3	Mantención fabricante (Golden Engineering)	20 días	Puede variar informado x fabricante
4	Envío UPS USA – CL	5 días	
		Total	60 días

Otro aspecto clave en nuestra implementación de equipos de última tecnología en generadores de radiación ionizante es la capacitación del personal que participará en su operación. Es fundamental garantizar que se cumplan las normas nacionales e internacionales en materia de seguridad radiológica operacional, para evitar cualquier tipo de transgresión. Al implementar estos equipos, no solo reduciremos el riesgo de exposición aguda a la radiación para las personas, sino que también minimizaremos la generación de desechos tóxicos al medio ambiente. Por lo tanto, se llevará a cabo una capacitación exhaustiva para todo el personal involucrado, asegurando que estén preparados para operar estos equipos de manera segura y efectiva.

4.1.1. Gastos operativos capacitación (5 días):

ítem	Equipo	Cant.	Total
1	Instructor	1	\$1.500.000
2	Alimentación	1	100.000
3	Alojamiento u Hospedaje	5 días	200.000
4	Materiales didácticos	1	100.000
		Total	\$1.900.000

La Capacitación se realizará cada 6 meses o al comienzo de un nuevo proyecto.

Tomando en consideración un proyecto de carácter anual con ventas mensuales de \$18.000.000 más IVA y además el pago del personal que participará de las actividades laborales del proyecto este tendrá un valor mensual de \$1.100.000 por 3 personas más gastos de leyes sociales, los gastos variables serán suministrados por el cliente (alimentación, hospedaje, luz, etc.).

4.2. ANÁLISIS COSTOS BENEFICIO

Para el análisis costo beneficio se analiza el problema inicial donde se requiere disminuir el riesgo de radiación aguda de las personas y medio ambiente para este punto analizaremos los siguientes costos.

Resumen de Gastos	
Datos	Valor
Costo Inicial	\$45.840.000
Costos de Mantenimiento anual	\$7.940.000
Beneficios anuales (Ventas)	\$216.000.000
Gastos Capacitación Anual	\$3.600.000
Gastos Operativos (Comb. Librería, Peajes, etc.)	\$24.000.000
Impuestos Anual 30%	\$64.800.000
Costos Operativos personal Anual (remuneraciones)	\$51.840.000
Cantidad de años	1
Tasa de Actualización o Descuento	22%

4.3. Análisis de costo:

AÑO	INGRESOS	COSTOS	FLUJO EFECTIVO	TASA (1+T) ^{-N}	INGRESOS ACTUALIZADOS	EGRESOS ACTUALIZADOS
0	\$0	\$45.840.000	\$-45.840.000	1,0	\$0,0	\$45.840.000,0
1	\$216.000.000	\$151.240.000	\$64.760.000	0,8	\$177.049.180	\$123.967.213,1
TOTAL	\$216.000.000	\$194.990.000	\$21.010.000		\$177.049.180	\$167.717.213

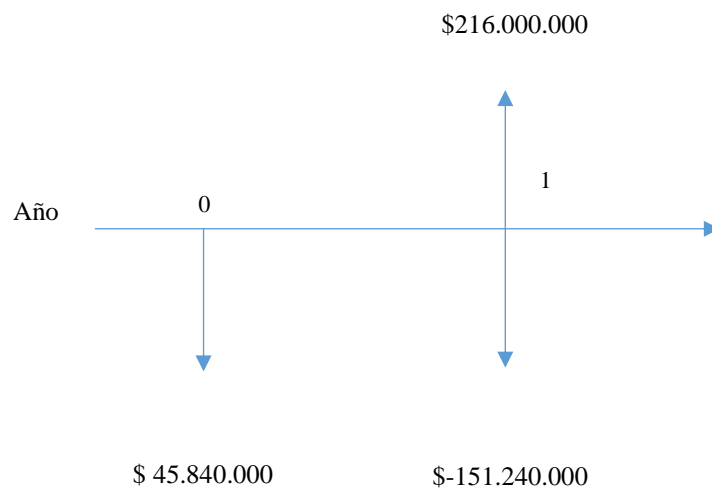


Diagrama flujo de costos para año 1

Resultados

VAN	\$9.331.967
TIR	48%
CB	1,1

VAN= VALOR ACTUAL NETO

TIR=TASA INTERNA DE RETORNO

CB=COSTO BENEFICO

La realización del análisis de costos es crucial para las evaluaciones económicas de un proyecto, especialmente cuando se busca minimizar los riesgos radiológicos. En este sentido, se lleva a cabo una evaluación económica que considera la implementación de nuevas tecnologías y la adquisición de equipos con el objetivo de reducir los posibles daños a las personas y al medio ambiente. Se utilizan herramientas analíticas económicas como el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Costo-Beneficio (CB) para estimar los flujos de efectivo asociados.

Los resultados obtenidos en este análisis de costos y beneficios resultaron positivos, lo que ha llevado a la decisión de realizar la inversión. Esto significa que los beneficios esperados, en términos económicos, superan los costos asociados al proyecto. Con base en esta evaluación, se considera que la inversión es viable y rentable desde una perspectiva económica.

Es crucial tener en cuenta otros aspectos importantes además de la evaluación económica al considerar proyectos relacionados con la seguridad radiológica. Estos aspectos incluyen:

1. Seguridad radiológica: Es fundamental garantizar la seguridad de las personas y del medio ambiente al trabajar con radiación. Se deben seguir estrictamente las normativas y regulaciones establecidas para minimizar los riesgos y proteger a todas las partes involucradas.
2. Cumplimiento de regulaciones y normativas: Existen regulaciones y normativas específicas que rigen el uso de tecnologías radiológicas. Cumplir con estas regulaciones es esencial para garantizar el cumplimiento de los estándares de seguridad y evitar sanciones legales.
3. Protección de las personas y el medio ambiente: Se deben tomar todas las precauciones necesarias para minimizar los posibles impactos negativos en la salud de las personas y el

entorno natural. Esto implica implementar medidas de protección y realizar monitoreo ambiental adecuado.

4. Optimización de los tiempos de obtención de resultados: Es importante considerar la eficiencia en la obtención de resultados para una toma de decisiones oportuna. La utilización de tecnologías y equipos adecuados puede acelerar y agilizar el proceso de análisis y generación de información confiable.

5. Información rápida y confiable para la toma de decisiones en terreno: Contar con resultados de análisis rápidos y confiables es crucial para tomar decisiones efectivas durante las actividades en campo. Esto permite una respuesta rápida y la implementación de acciones correctivas de ser necesario.

6. Minimización de la necesidad de delimitar grandes áreas y paralización de trabajos: La implementación de tecnologías y equipos que permitan realizar inspecciones o análisis de forma no intrusiva y sin requerir delimitación de áreas extensas puede ayudar a optimizar los procesos y evitar la paralización de trabajos adicionales que se puedan realizar en paralelo.

En resumen, la toma de decisiones en proyectos relacionados con la seguridad radiológica debe considerar tanto los aspectos económicos como los aspectos técnicos, de seguridad y cumplimiento normativo. Es importante encontrar un equilibrio entre la rentabilidad económica y la protección de las personas, el medio ambiente y el cumplimiento de los requisitos legales y regulatorios.

CONCLUSIONES

En conclusión, el uso de energía de rayos X pulsados se presenta como una solución viable y segura en el ámbito industrial para disminuir las tasas de exposición del personal ocupacionalmente expuesto y del público en general. Las capacitaciones propuestas en este proyecto establecen las bases para un trabajo de mejora continua tanto del explotador como del personal involucrado en trabajos radiológicos, lo que permite entregar conocimientos sólidos sobre la seguridad radiológica.

Existen diferentes técnicas para la obtención de imágenes radiográficas, asociadas a códigos que describen principalmente los procedimientos necesarios para la correcta aplicación y evaluación del contenido. Para minimizar la exposición a la radiación ionizante se emplean metodologías de trabajo bajo el concepto ALARA (tiempo, distancia y blindaje), mediante el uso de posicionadores y adquiriendo las habilidades necesarias para la toma de decisiones en terreno de manera más eficiente.

En el mundo de la inspección de calidad a través del uso de radiación, hay un gran campo de mejora en cuanto a seguridad radiológica y nuevas tecnologías más seguras, limpias y eficientes. Sin duda, la tecnología de radiación ionizante mediante pulsos Rx es una gran alternativa para avanzar en este camino y es por ello que debemos seguir investigando e invirtiendo nuestros esfuerzos en mantener siempre una mejora continua en esta actividad

BIBLIOGRAFIA

- <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=29719>
- https://www.cchen.cl/transparencia/transparencia_2006_a_2008/MarcoNormativo.htm
- <http://www.goldenengineering.com/home/support/>
- <https://vidisco.com/ndt-solutions/>
- <https://www.vmindt.com/>
- ASME SECCION V
- Manual de protección radiológica IDIEM
- Plan de protección física IDIEM
- Plan de contingencia IDIEM