

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**DISEÑO CONCEPTUAL DE UNA INSTALACIÓN PARA LA
GESTIÓN DE FUENTES SELLADAS EN DESUSO Y DESECHOS
RADIATIVOS PROVENIENTES DE LOS SECTORES
INDUSTRIAL, MÉDICO Y DE INVESTIGACIÓN**

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br. Castillo J., Robert A.
Para optar al Título de
Ingeniero Químico

Caracas, 2013

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DISEÑO CONCEPTUAL DE UNA INSTALACIÓN PARA LA GESTIÓN DE FUENTES SELLADAS EN DESUSO Y DESECHOS RADIATIVOS PROVENIENTES DE LOS SECTORES INDUSTRIAL, MÉDICO Y DE INVESTIGACIÓN

TUTOR ACADÉMICO: Eric Omaña
TUTORA INDUSTRIAL: Emily Pérez

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br. Castillo J., Robert A.
Para optar al Título de
Ingeniero Químico


Caracas, 2013

Caracas, Noviembre de 2013

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por la Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller Castillo J., Robert A., titulado:

“DISEÑO CONCEPTUAL DE UNA INSTALACIÓN PARA LA GESTIÓN DE FUENTES SELLADAS EN DESUSO Y DESECHOS RADIACTIVOS PROVENIENTES DE LOS SECTORES INDUSTRIAL, MÉDICO Y DE INVESTIGACIÓN”.

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Químico, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran:



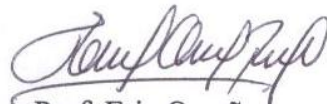
Prof. Johliny Casanova

Jurado



Prof. Elías Cuartín

Jurado



Prof. Eric Omaña

Tutor Académico



Ing. Emily Pérez

Tutor Industrial

DEDICATORIA

A mis familiares y amigos

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Central de Venezuela y a las personas que hicieron posible éste trabajo de investigación.

Br. Castillo J., Robert A.

**DISEÑO CONCEPTUAL DE UNA INSTALACIÓN PARA LA GESTIÓN
DE FUENTES SELLADAS EN DESUSO Y DESECHOS RADIATIVOS
PROVENIENTES DE LOS SECTORES INDUSTRIAL, MÉDICO Y DE
INVESTIGACIÓN**

**Tutor Académico: Prof. Eric Omaña. Tutora Industrial: Ing. Emily Pérez.
Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química.
Año 2013, 139 p.**

Palabras Claves: Diseño Conceptual, Gestión de Fuentes Radiactivas, Desechos Radiactivos, Desechos Industriales.

Resumen. El uso de la tecnología nuclear con fines pacíficos en nuestro país, se encuentra ampliamente difundido; situación que ha originado la acumulación de cierta cantidad de Fuentes Selladas en Desuso así como la generación de Desechos Radiactivos. Con el propósito de incrementar los niveles de control de estos materiales, se plantea la elaboración de un Diseño Conceptual de una instalación para el manejo de Fuentes Selladas en Desuso y Desechos Radiactivos provenientes de los Sectores Industrial, Médico y de Investigación en el contexto de la República Bolivariana de Venezuela. Es así, como en el presente Trabajo Especial de Grado se describe el marco teórico conceptual inherente a la Gestión de Fuentes Selladas en Desuso y Desechos Radioactivos, tomando para ello referentes nacionales e internacionales. De igual forma se presenta una descripción de las diferentes etapas gestión de Material Radiactivo, así como también se presenta una reseña de algunas experiencias de gestión de Material Radiactivo en Venezuela. Finalmente se describen las instalaciones donde deberá ser almacenado el tipo de Material Radiactivo más habitual del país. Como producto del cumplimiento del proceso de investigación desarrollado se concluye que el diseño conceptual permitirá tener una visión efectiva de los aspectos teóricos, jurídicos y operativos de mayor relevancia a considerar al momento de instalar una Unidad de Gestión de Desechos Radiactivos y Fuentes Selladas en Desuso adaptada a la realidad venezolana.

ÍNDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	
FUENDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN	
1.1. Planteamiento del Problema	3
1.2. Objetivos de la investigación	6
1.2.1. Objetivo General	6
1.2.2. Objetivos Específicos	6
1.3. Justificación e importancia de la investigación	7
1.4. Alcance	8
CAPÍTULO II	
MARCO TEÓRICO	9
2.1. Antecedentes de la investigación	9
2.2. Bases teóricas	12
2.4. Bases legales	36
CAPÍTULO III	
MARCO METODOLÓGICO	40
3.1. Tipo y Diseño de investigación	40
3.2. Procedimiento metodológico para el desarrollo de la investigación	41
3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	43
CAPÍTULO IV	
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	45
CONCLUSIONES	100
RECOMENDACIONES	102
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	103
ANEXOS	109

ÍNDICES DE TABLAS

TABLAS	pp.
1 Gestión de Fuentes Selladas y Desechos Radiactivos en Venezuela.	63
2 Radioisótopos utilizados en Venezuela.	68
3 Fuentes Selladas en Desuso existentes en Venezuela.	71
4 Radioisótopos más usados en Medidores Industriales Fijos y Portátiles.	73

ÍNDICES DE FIGURAS

FIGURA		pp.
1	Diagrama de Operaciones para la Gestión de Desechos Radiactivos Sólidos	48
2	Diagrama de Operaciones para la Gestión de Desechos Radiactivos Líquido	54
3	Diagrama de Operaciones para la Gestión de Fuentes Selladas	58
4	Estrategia para la Identificación y Localización de Fuentes Selladas	60
5	Usos principales de los medidores nucleónicos a nivel mundial.	74
6	Fuente de Co ⁶⁰ anteriormente utilizada para Radioterapia.	83
7	Fuentes gamma de alta energía con bulto y vasija interior blindada	83
8	Bulto exterior de fuente gamma de alta energía	84
9	Bultos de sobre embalaje.	84
10	Proyector moderno típico de Gammagrafía Portátil.	85
11	Edificaciones que forman parte de la gestión de Fuentes Selladas	87
12	Cesta metálica para almacenar Fuentes Selladas en Desuso	88
13	Estante para el almacenamiento de Fuentes Selladas en Desuso	89
14	Distribución interna de la Edificación de Almacenamiento.	90
15	Fachadas de la Edificación de Almacenamiento.	91
16	Fachadas de la Edificación de Acondicionamiento.	92
17	Fachadas de la Edificación de Oficinas.	94
18	Montacargas de Accionamiento Hidráulico-Manual	97
19	Mesa de accionamiento Hidráulico-Manual	97
20	Recepción de Fuentes Empaquetadas	98
21	Desembalaje del Paquete y Traslado a la Edificación del Almacén.	99

LISTA DE ANEXOS

ANEXO	pp.
1 Almacén de DRS en el Hospital “Dr. Luis Razetti”.	110
2 Almacén de DRS en el Hospital Universitario	110
3 Gaveta para almacenar DRS en el Hospital “Dr. Luis Razetti”.	111
4 Gaveta para almacenar DRS en el Hospital Universitario.	111
5 Fuente de Iodo 131	112
6 Fuente de Tecnecio 99en un empaque con blindaje de plomo.	112
7 Fármacos utilizados en Medicina Nuclear	113
8 Campana utilizada para trabajar con Flúor 18	113
9 Campana utilizada para trabajar con Iodo 131	114
10 Cámara Gamma se utiliza en el Hospital Oncológico.	114
11 Cámara Gamma se utiliza en el Hospital Universitario.	115
12 Cámara PET-CT	115
13 Unidad de Teleterapia	116
14 Cabezales obsoletos de Teleterapia de ^{60}Co .	116
15 Baños para pacientes de Medicina Nuclear en el Hospital “Dr. Luis Razetti”.	117
16 Recipientes de Centelleo Líquido.	118
17 Recipientes utilizados para preparar soluciones de centelleo líquido y tritio.	118
18 Analizador de Centelleo Líquido	119
19 Recipiente patrón de una muestra de tritio	120
20 Fuente de ^{57}Co con su embalaje de plomo	121
21 Equipos donde se utiliza ^{57}Co para estudiar el efecto Mòssbauer	122
22 Almacén para fuentes de ^{57}Co y ^{57}Fe	122
23 Fuentes Radiactivas sin sus Empaques	123
24 Fuentes Radiactivas en sus Sellos.	124
25 Fuente Radiactiva de Co^{60}	124
26 Bunker de San Tomé	125
27 Indicador de Nivel Gamma / DNG-P	126
28 Indicador de Nivel Gamma / DNG mod.2	127
29 Medidor de Nivel Gamma Relay / NNL nivel	128
30 Calibrador Portátil de Retro-dispersión	129
31 Sensor de Nivel de Llenado	129
32 Medidor de Densidad, tipo GM-06	130
33 Medidor de Densidad de alto rendimiento, tipo (HPDG)	131
34 Medidor de Densidad, modelo 386 Lb-1c.	132
35 Medidor de Espesor, Modelo 03	133
36 Sonda beta para medir espesor	133
37 Calibrador de Concentración de Ácido sulfúrico MKS-6.	134
38 Sistema de Control de Humedad / SMS-BM-CRT	135
39 Densímetro Gamma, modelo A59.	136
40 Medidor de Densidad y Humedad / SRDM-2SV (ANDES)	137
41 Fuente de ^{137}Cs utilizada para diagrafía de pozos petroleros	137

42	Recipientes para transportar y almacenar fuentes con radiación neutrónica.	138
43	Pararrayos radiactivos	138
44	Proyectores modernos típicos de Gammagrafía Portátil.	139

INTRODUCCIÓN

Los Desechos Radiactivos (DR) y las Fuentes Selladas Radiactivas (FSD) suelen generarse a través de una amplia gama de actividades que emplean materiales radiactivos con fines médicos, industriales, agrícolas, de investigación y educativos. Las cantidades de Desechos Radiactivo y Fuentes Selladas en Desuso generadas por estas actividades, son a menudo limitadas en volumen y actividad; sin embargo, se trata de material radiactivo y han de gestionarse como tales.

A partir del año 1920, las Fuentes Radiactivas comienzan a ser importadas al país, empleándose sin previos controles, en primera instancia en el campo de la Medicina a partir de la década de los 70 del siglo XX (Díaz, 2011).

Hasta mediados de los años 90 del siglo XX, la importación y uso de fuentes y equipos generadores de radiaciones ionizantes se realizaron dentro de un marco regulador que no garantizaba su efectiva devolución al fabricante una vez concluida su vida útil. Como consecuencia de esta situación ingresaron al país fuentes radiactivas que aun cuando su vida útil concluyó, conservan una fracción remanente de actividad considerable sin poder ser exportadas. Este tipo de materiales se denominan fuentes en desuso y constituyen un importante pasivo ambiental. Mientras que los Desechos Radiactivos (sólidos y líquidos no encapsulados) son consecuencia de actividades rutinarias (Medicina Nuclear, Investigación y Desarrollo) o derivar de posibles situaciones accidentales.

En la actualidad, se realiza la solicitud de acuerdos convenidos entre el fabricante, el importador y el usuario final para la importación de fuentes radiactivas selladas, a fin de garantizar la reducción del número de éstos materiales en el país una vez declarados en desuso (Resolución Ministerial, 2012). Mientras que la generación de Desechos Radiactivos es limitada, en vista de que la mayoría de los casos estos desechos están contaminados o constituidos por radioisótopos de vida muy corta, que al ser almacenados hasta un tiempo determinado pueden ser tratados como desechos no radiactivos.

Por lo anterior, el presente Trabajo Especial de Grado tiene como alcance el establecimiento de los principales requerimientos que debe ser considerados en

el Diseño Conceptual de una unidad o instalación para la gestión de las Fuentes Selladas en Desuso y Desechos Radiactivos provenientes de la utilización de materiales radiactivos en medicina, industria, investigación, y educación en la República Bolivariana de Venezuela que no pueden ser objeto de liberación del control regulador (dispensa) y de exportación.

Para lograr de manera efectiva, los objetivos planteados en esta investigación, se partió en primera instancia, del establecimiento del marco de referencia sobre el cual se fundamenta la Gestión de Fuentes Selladas en Desuso y Desechos Radiactivos provenientes del Sector Industrial, Médico y de Investigación en el país.

El Trabajo Especial de Grado se estructuró de la siguiente manera:

Capítulo I: En el cual se desarrolló aspectos inherentes a los Fundamentos de la Investigación, al Planteamiento del Problema, los objetivos de investigación, así como también su justificación y alcance.

Capítulo II: Marco Teórico, en el cual se presenta la totalidad del sustento teórico que fundamenta la Gestión de Fuentes Selladas en Desuso y Desechos Radiactivos provenientes de los Sectores Industrial, Médico y de Investigación en la República Bolivariana de Venezuela, incluyendo los antecedentes que guardan relación con el tema de estudio.

Capítulo III: Marco Metodológico, donde se describen los métodos, procedimientos y/o fases a desarrollar para el cumplimiento efectivo de los objetivos de la investigación.

Por ser un TEG basado en un diseño de investigación documental, su estructura puede adaptarse de acuerdo a los requerimientos específicos del temático objeto de estudio.

Capítulo IV: Análisis y Presentación de Resultados; en el que se presentan los resultados obtenidos como producto del procesamiento de la información recabada, respondiendo de manera sistemática a cada uno de los objetivos pautados en la presente investigación.

Finalmente, se presentan las Conclusiones y Recomendaciones producto del desarrollo del TEG, las Referencias Consultadas y los respectivos Anexos.

CAPÍTULO I

FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los Desechos Radiactivos y las Fuentes Selladas en Desuso se generan en una amplia gama de actividades a la par del uso de materiales radiactivos con fines médicos, industriales y de investigación. La naturaleza las Fuentes Selladas en Desuso y de los Desechos Radiactivos generados en las diferentes actividades consideradas también varía mucho.

Estos pueden presentarse, en forma de fuentes de radiación discretas, selladas o no selladas, materiales resultantes de procesos o materiales de uso y consumo. Los Desechos Radiactivos y las Fuentes Selladas en Desuso, son resultado de muchas actividades, entre ellas: las de diagnóstico, aplicación terapéutica e investigación en medicina; control de procesos y medición en la industria; y los numerosos usos de los materiales radiactivos en exploración geológica, construcción y otros campos (Ramírez, 2010).

Entonces los Desechos Radiactivos en cuestión, pueden presentarse en forma sólida, líquida o gaseosa; siendo ejemplo palpables de desechos sólidos, equipos contaminados, utensilios de vidrio, guantes y papel; cadáveres de animales, excreciones y otros residuos biológicos.

Ahora bien, el uso de la tecnología nuclear con fines pacíficos mediante las actividades antes mencionadas, se encuentran ampliamente difundidas en Venezuela (Acuerdo Internacional, 1979). Este uso, ha originado una acumulación de cierto número de Fuentes Selladas en Desuso, en vista de que las exigencias de acuerdos contractuales para la devolución de éstas, datan de finales de los años 90' del siglo XX situación que también enfrenta la gran parte de los países usuarios de este tipo de tecnologías (Pérez, E. Conversación Personal, Marzo, 2013). Las Fuentes Selladas en Desuso que no tienen la posibilidad de ser exportadas, deben ser gestionadas en el país bajo condiciones de seguridad radiológica y física adecuadas.

La principal debilidad en la estrategia de almacenamiento de estos materiales, radica en que los mismos son resguardados en las instalaciones usuarias ubicadas en casi todos los estados del país, situación que dificulta la regulación efectiva por partes de los organismos competentes, la estandarización de las condiciones de cualificación de personal, gestión y condiciones de resguardo seguro.

Gran parte de los accidentes con materiales radiactivos, han involucrado Fuentes Selladas en Desuso que al no encontrarse bajo un control adecuado, pueden desencadenar situaciones de emergencia con importante impacto negativo sobre la salud de la población, el ambiente, la economía y el sistema de gobierno de un país, tal como sucedió en Goiania-Brasil en 1987 y Ciudad Juárez-México en 1983 (Viena y García, 2010) entre otros.

Por lo anteriormente expuesto, los países usuarios de material radiactivo, deben contar con instalaciones de gestión capaces de centralizar, procesar (tratar y acondicionar), almacenar y custodiar estos materiales, minimizando así los riesgos de dispersión accidental de radioisótopos, uso mal intencionado y tráfico ilícito de los mismos.

Además que desde el punto de vista económico es una ventaja porque los recursos requeridos para garantizar el resguardo seguro del material radiactivo por separado es mayor a los recursos necesarios para garantizar la seguridad física del material una vez centralizados.

En vista de la inexistencia de una instalación centralizada de gestión en la República Bolivariana de Venezuela, resulta importante que el Estado, inicie proyectos a corto y mediano plazo, dirigidos a la centralización, gestión y almacenamiento del material radiactivo declarado en desuso y como desecho.

Por tal motivo, se propone, la elaboración de un Diseño Conceptual para una instalación de Gestión de Fuentes Selladas en Desuso y Desechos Radiactivos que se adapte a los requerimientos del contexto venezolano; que describa cada una de las etapas de gestión, así como las áreas clasificadas de cada módulo, tomando en consideración, el marco jurídico nacional vigente y el conjunto de recomendaciones internacionalmente aceptadas.

Este diseño conceptual, establece la primera fase de un proyecto de Ingeniería para la construcción de una Unidad de Gestión de los Fuentes Selladas en Desuso y Desechos Radiactivos, constituyéndose en un insumo de vital importancia orientado hacia el aseguramiento de la compatibilidad de todas las etapas de gestión y el confinamiento y aislamiento de estos materiales del entorno humano, por un período de tiempo y en condiciones tales que cualquier liberación de los radioisótopos contenidos en los mismos no suponga un riesgo radiológico inaceptable para las personas ni para el ambiente, tanto para la generación presente como para las futuras.

1.2. OBJETIVOS

Durante el desarrollo del presente Trabajo Especial de Grado se pretende cumplir con los siguientes objetivos de investigación.

1.2.1. Objetivo General

Elaborar un Diseño Conceptual para la instalación de una Unidad de Gestión de Fuentes Selladas en Desuso y Desechos Radiactivos provenientes de los Sectores Industrial, Médico y de Investigación en la República Bolivariana de Venezuela.

1.2.2. Objetivos Específicos

1.2.2.1. Describir las etapas de Gestión de Fuentes Selladas en Desuso y Desechos Radiactivos provenientes de los Sectores Industrial, Médico y de Investigación.

1.2.2.2. Describir las Metodologías disponibles para la Gestión de Fuentes Selladas en Desuso y Desechos Radiactivos provenientes de los Sectores Industrial, Médico y de Investigación en la República Bolivariana de Venezuela.

1.2.2.3. Describir las instalaciones donde serán almacenadas las Fuentes Selladas en Desuso y Desechos Radiactivos provenientes de los Sectores Industrial, Médico y de Investigación en la República Bolivariana de Venezuela.

1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Gracias al desarrollo tecnológico, en la actualidad, la humanidad aprovecha los indiscutibles beneficios que otorgan la radiactividad artificial en diversas dimensiones, tales como la médica, industrial y de investigación.

Pero también aunado a estos beneficios; se suma los riesgos radiológicos (contaminación e irradiación externa) que posee la radiactividad, los cuales al no darle un tratamiento adecuado, podrían generar la exposición a la radiación de manera inadvertida.

Si bien es cierto, las normativas y disposiciones de seguridad aplicables a la gestión de Desechos Radiactivos son las mismas, se requiere considerar una serie de aspectos, especialmente en el caso de los países cuyas actividades solo dan lugar a pequeñas cantidades.

Así es en particular, en lo que respecta a las actividades que conllevan la generación y gestión de pequeñas cantidades de Desechos Radiactivos, los tipos de instalaciones utilizadas y las disposiciones de gestión varían considerablemente, ya que difieren de una instalación a otra.

Por lo tanto, desde el punto de vista referencial, este Diseño conceptual, brindará un compilado de información que servirá de sustento teórico en materia de Gestión de Fuentes Selladas y Desechos Radiactivos específicamente en la República Bolivariana de Venezuela, para futuros estudios que se pretendan realizar en el área.

Desde el punto de vista metodológico, esta investigación aporta un conjunto de procedimientos, técnicas y estrategias a implementar para el desarrollo del mismo, los cuales, podrían ser objeto de aplicabilidad práctica en cualquier investigación relacionada con la temática desarrollada.

1.4. ALCANCE

Con este Trabajo Especial de Grado, se pretende elaborar un Diseño Conceptual orientado hacia la instalación de una Unidad de Gestión de Fuentes y Desechos Radiactivos provenientes de los Sectores Industrial, Médico y de Investigación en la República Bolivariana de Venezuela, el cual abarque el conjunto de fundamentos teóricos inherentes a la Gestión de Fuentes Selladas en Desuso y Desechos Radiactivos y aporte adicionalmente, información valiosa y contextualizada que permita desarrollar la ingeniería básica y de detalle a partir de los aportes hechos en esta investigación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

El Marco teórico o referencial constituyen el grupo de conceptos que representan un enfoque determinado del cual se deriva la explicación del fenómeno o problema planteado. Se exponen las bases teóricas, bases filosóficas, legales, sociológicas, entre otras, que sirven de fundamento para realizar la investigación (Casal, 2007).

Entonces este, es el resultado de la selección de aspectos relacionados con el cuerpo teórico referido al tema específico de estudio, en este caso, la Gestión de Fuentes Selladas y Desechos Radiactivos provenientes de los Sectores Industrial, Médico y de Investigación en la República Bolivariana de Venezuela.

Además, debe tener una racionalidad, estructura lógica y consistencia interna, que permita el análisis de los hechos conocidos, y ayude a la orientación de la búsqueda de otros datos relevantes, en función de ampliar la descripción del problema, integrando la teoría con la investigación.

A continuación se presenta el sustento teórico que fundamenta el presente Trabajo Especial de Grado.

2.1. ANTECEDENTES

Los antecedentes de la investigación, son aquellos que “dan al lector toda la información posible acerca de las investigaciones que se han realizado, tanto a nivel nacional como internacional, sobre el problema que se pretende investigar” (Ramírez, 2007).

Por tal motivo, seguidamente se señalan los antecedentes que guardan estrecha vinculación con la presente investigación.

Así Manzini (2010) en su artículo expuesto en el Congreso organizado por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) en la ciudad de Córdoba, Reino de España; describe el desarrollo de una forma de almacenamiento en superficie de residuos radiactivos generados en la República de Argentina,

explicando el marco regulatorio de ese país y planteando las diferentes etapas principales de gestión como la segregación, caracterización y clasificación recolección y transporte, pre-tratamiento y tratamiento, acondicionamiento para disposición final, disposición final y etapas intermedias como el almacenamiento temporal.

Adicionalmente, explica la estrategia para la implementación de barreras múltiples donde resaltan las barreras químicas, físicas, ingenieril y geológica, además muestra la estructura y representación gráfica de la Ingeniería Conceptual.

Por su parte, Oliveira (2010) en su artículo presentado en el mismo Congreso, presenta la concepción, construcción, licenciamiento y comisionamiento de un repositorio en Brasil para desechos de bajo y medio nivel de radiación.

El artículo, se inicia con la descripción de algunos de los residuos provenientes de los sectores de industria, medicina y de investigación resaltando fuentes de braquiterapia, detectores de humo y pararrayos; explicando además, cada una de las técnicas para la solidificación de residuos líquidos y brevemente da una visión sobre el programa nuclear Brasileño.

En este mismo orden de ideas y en el marco del Congreso señalado, Peñaranda (2010) explica el origen de los Residuos Radiactivos y Fuente Selladas en Desusos en el Estado Plurinacional de Bolivia. Exponiendo adicionalmente, algunos trabajos realizados en cuanto a inmovilización, caracterización, almacén temporal y descontaminación de área de trabajo, destacando un trabajo realizado con fuentes de ^{226}Ra . Es importante señalar que el autor, presenta el formato de su inventario nacional y su estrategia para crear una unidad centralizada para almacenamiento temporal.

De igual forma Padilla (2010) desarrolla en su artículo, detalles del almacenamiento en superficie de Residuos Radiactivos en Chile. Según su inventario nacional, la mayoría de los residuos correspondían a fuentes selladas, le siguen algunos compactables como ^{60}Co , ^{238}U y algunos líquidos orgánicos e inorgánicos, elementos combustibles gastados provenientes de los reactores de investigación (combustibles con uranio enriquecido al 20%), Desechos

Radiactivos generados por cierre de reactores nucleares de investigación y generados por cierre de instalaciones radiactivas.

También Zárate (2010) presenta la situación actual de las actividades que realiza el Departamento de Desechos Radiactivos del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares y las perspectivas de la gestión de Desechos Radiactivos en relación con su almacenamiento definitivo cerca de la superficie.

En su trabajo señaló, que los Desechos Radiactivos en México provenían de las siguientes actividades: la operación de la Central Laguna Verde, Comisión Federal de Electricidad, las aplicaciones de las técnicas nucleares en la agricultura, medicina, industria e investigación en instituciones y empresas de todo el país.

Por otra parte, en el mismo evento, Córdoba (2010) describe el inventario nacional de la República de Uruguay, así como el origen de las fuentes que en su mayoría provienen del sector médico y en menor proporción del sector industrial y de investigación; explica su marco regulatorio nacional.

Aunado a su planteamiento, expone los planes futuros como la creación de un Centro de Investigaciones; planteando que debido a la incorporación de nuevas prácticas que aumenten los Desechos Radiactivos existentes, está prevista una revisión de la política de gestión de los Desechos Radiactivos para el año 2012, así como una propuesta de gestión definitiva de los Desechos Radiactivos para el año 2017.

Con respecto al manejo de Desechos Radiactivos en Venezuela se puede mencionar un trabajo de investigación realizado por Crespo (2010) titulado “Manual para el manejo de los Desechos Radiactivos generados por la aplicación de técnicas de medicina nuclear en Barquisimeto, Estado Lara” en este estudio se realizó un manual para el manejo de Desechos Radiactivos generados por la aplicación de técnicas de medicina nuclear en la ciudad de Barquisimeto, para lo cual se seleccionaron todos los centros de salud tanto públicos como privados. Se realizó un diagnóstico, identificando los medios de trabajo, se analizó las medidas de protección radiológica y se determinó la situación sobre el manejo de los Desechos Radiactivos que generan los centros de salud que aplican esta técnica.

Algunos radioisótopos utilizados en Venezuela son mencionados en un artículo científico escrito por el investigador del IVIC Roche (1999) donde menciona un estudio sobre la fisiopatología del bocio endémico donde se utiliza ^{131}I . Otro estudio sobre la fisiopatología de la anquilostomiasis (Infección intestinal) donde emplean ^{51}Cr y por último menciona un estudio acerca del metabolismo del hierro en la *Phaseolus Vulgaris* (Caraota Negra) donde utilizan ^{59}Fe .

2.2. BASES TEÓRICAS

Energía Nuclear

Evolución histórica de la Energía Nuclear

Con el propósito de entender los esfuerzos y avances realizados en el desarrollo tecnológico de la energía nuclear, es conveniente efectuar un corto y simplificado análisis de los principios físicos fundamentales que hicieron posible el advenimiento de esta nueva tecnología.

Es así, como el conocimiento de la estructura de la materia ha preocupado al ser humano desde varios siglos antes de nuestra era. En efecto, ya en el año 400 A.C., el filósofo griego Demócrito, postulaba la discontinuidad de la materia, a la cual suponía, compuesta por el agregado de partículas elementales a las que denominó átomos, palabra griega que significa indivisible.

Las ideas de Demócrito no pasaron de ser puras especulaciones filosóficas y fue necesario esperar hasta finales del siglo XIX para que la constitución de la materia fuera considerada bajo su aspecto científico gracias a la labor de varios investigadores.

Es al final del siglo XIX y principios del XX cuando la ciencia se ve enriquecida por una serie de descubrimientos y cuando se abre un nuevo camino en el campo de las radiaciones.

En noviembre de 1895 Roentgen descubre los rayos X, radiaciones que presentan una serie de propiedades desconocidas hasta ese momento. Más tarde, en Febrero de 1896, Henry Becquerel, interesado en el descubrimiento de Roentgen, intenta averiguar si algunos materiales expuestos a la radiación solar son capaces de emitir rayos X.

En el día del experimento la ausencia de sol hace que Becquerel guarde el mineral a ensayar en un cajón junto con unas placas fotográficas debidamente protegidas. Al día siguiente, las placas fotográficas estaban veladas como si hubiesen estado expuestas a radiación similar a los rayos X. Dicha radiación parecía obvio predecir que provenía del mineral. Se trataba de un mineral de uranio (García, 1975).

Este descubrimiento casual hace que se busquen nuevas sustancias capaces de emitir radiaciones como las descubiertas por Becquerel; así el matrimonio Curie descubrió el Polonio y el Radio hacia el año 1898. Esto le valió a Marie Curie el premio Nobel de Química en 1911, aunque anteriormente, en 1903 el matrimonio Curie ya había recibido el Nobel de Física por sus aportaciones al conocimiento de las radiaciones del Uranio. Curie, después de quedarse ciega, murió, el 4 de julio de 1934, a causa de una anemia aplasia, probablemente debida a las radiaciones a las que estuvo expuesta en sus trabajos, y cuyos nocivos efectos eran aún desconocidos.

El descubrimiento de estas radiaciones, marca el nacimiento de la energía atómica. La evolución de la energía atómica es impulsada por los sucesivos descubrimientos entre los que cabría destacar: La teoría de la relatividad de Albert Einstein (1905), el modelo atómico de Ernest Rutherford (1911), la radiactividad artificial por los esposos Joliot Curie (Hija y yerno del matrimonio Curie) (1934). Fisión nuclear por Otto Hahn (1939).

En Diciembre de 1942, en la Universidad de Chicago (Estados Unidos), el físico italiano Enrico Fermi, logró producir la primera reacción nuclear en cadena, los primeros reactores nucleares a gran escala se construyeron en 1944 en Washington (Estados Unidos), para la producción de material para armas nucleares impulsados por la segunda guerra mundial la cual terminó con el lanzamiento de bombas nucleares en las ciudades japonesas de Hiroshima y Nagasaki y dejando un terrible saldo de más de 220.000 personas asesinadas producto del ataque. Hasta la fecha estos bombardeos constituyen los únicos ataques nucleares de la historia. Algunos historiadores afirman que el lanzamiento de las bombas pone fin a la segunda guerra mundial pero al mismo tiempo inicia la guerra fría lo que produjo una competencia entre los EEUU y la URSS por el

desarrollo de tecnología nuclear sobre todo en las áreas espacial, bélica y eléctrica (García, 1975).

El 20 de Diciembre de 1951 se produjo por primera vez electricidad a partir de un reactor nuclear en Idaho, Estados Unidos. El 26 de junio de 1954, en la ciudad de Obninsk, cerca de Moscú, la primera planta de energía nuclear fue conectada a la red de distribución de energía eléctrica para proporcionar electricidad a 2000 hogares.

Entre los años 50 y 60 comenzaron a construirse centrales nucleares en varios países. Surgió entonces una nueva industria asociada tanto a la construcción de las centrales como a la extracción, preparación y tratamiento de los minerales que constituyen el combustible. En paralelo, en un marco internacional signado por la guerra fría y la proliferación de armas atómicas, en la conferencia de la ONU (Nueva York, Octubre 1956), 81 estados aprobaron el estatuto del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA, o IAEA en inglés), estableciendo sus responsabilidades de control y desarrollo de la energía nuclear para propósitos exclusivamente pacíficos. El estatuto del OIEA entró en vigencia el 29 de julio de 1957 (García, 1975).

Actualmente, existen en operación cuatrocientos treinta y nueve (439) reactores en el mundo según el informe de World Nuclear (2008), que aportan aproximadamente el 15% de la producción mundial de energía eléctrica; las mismas se encuentran en 30 países distintos.

Es significativo mencionar los dos accidentes nucleares más resaltantes ocurridos en la industria nucleoelectrónica. El accidente sucedido en la central nuclear de Chernóbil en Ucrania en abril de 1986. Y el accidente nuclear de Fukushima I en Japón en 2011, constituyen los más graves en la Escala Internacional de Accidentes Nucleares y están considerados entre los mayores desastres medioambientales de la historia.

Aun cuando los accidente de Fukushima I y de Chernóbil han sido muy divulgado por los medios de comunicación y conocidos a nivel mundial existen una serie de accidentes menos conocidos los cuales se produjeron con Fuentes Selladas en Desuso que han tenido gran impacto sobre las poblaciones de donde se han suscitados. Por ejemplo se puede mencionar: El caso de Ciudad Juárez en

Diciembre de 1983, en Chihuahua, México, un técnico de mantenimiento de una empresa médica desarmó el cabezal de una unidad de radioterapia que se encontraba almacenada desde hacía 6 años en una bodega y extrajo un cilindro de 100 kilogramos de peso para venderlo como chatarra.

Como consecuencia del accidente de Ciudad Juárez, unas 4 000 personas resultaron irradiadas, especialmente los trabajadores del patio de chatarra y los familiares y vecinos del técnico que se expusieron a la radiación de las cápsulas de Cobalto-60 (Mackenzie, 2006).

Igualmente se puede mencionar el accidente de Goiânia. En Septiembre de 1987, una fuente radiactiva médica en desuso fue robada de un hospital abandonado de Goiânia, capital del estado de Goiás. La fuente fue manipulada por varias personas. Éste incidente de contaminación radiactiva en el centro de Brasil ocasionó la muerte a cuatro personas, e hiriendo a otras 249 a causa del envenenamiento por radiación. *Time* magazine identificó este accidente nuclear como uno de los peores de la historia (OIEA, 1988).

En 1993, en Ankara (Turquía), tres fuentes de Teleterapia de Cobalto-60 en desuso fueron embaladas para su reexportación a los Estados Unidos. Las fuentes no se exportaron inmediatamente, sino que se almacenaron sin el permiso de la autoridad reguladora en los locales de la empresa. Con el tiempo, dos de estos bultos fueron llevados a Estambul y posteriormente trasladados a unos locales vacíos que no cumplían los requisitos de seguridad.

En noviembre de 1998, estos locales fueron vendidos y los nuevos propietarios vendieron los bultos como chatarra a dos hermanos. En diciembre de 1998, los hermanos llevaron los bultos a su casa y en unos pocos días comenzaron a desmontar los contenedores de protección, hasta que ellos y otras personas comenzaron a sentir náuseas y a vomitar (Mackenzie, 2006).

En febrero de 2000, un grave accidente en Samut Prakarn (Tailandia) causó víctimas mortales, daños personales y preocupación general. Una fuente de Teleterapia de Cobalto-60 en desuso se había almacenado, al parecer sin el conocimiento o el permiso de la autoridad reguladora, en un recinto al aire libre que no reunía condiciones de seguridad y que normalmente se utilizaba para almacenar automóviles nuevos. Presumiblemente dos chatarreros locales

compraron una determinada cantidad de chatarra que incluía la fuente y la llevaron a casa para desmontarla y revenderla. Posteriormente llevaron la cabeza de Teleterapia, parcialmente desmontada, a un depósito de chatarra donde un trabajador cortó el blindaje protector con un soplete oxiacetilénico.

Las personas que se encontraban cerca cuando se cortó el blindaje de protección comenzaron a sentir náuseas y a vomitar. Las personas que habían tocado algunas partes del metal que quedó expuesto empezaron a padecer lesiones parecidas a quemaduras. Los síntomas empeoraron durante unos días. Cuando las autoridades médicas hicieron públicas sus sospechas de que se trataba de un accidente de radiación, habían transcurrido aproximadamente 17 días. Este accidente provocó radiolesiones a diez personas, tres de las cuales fallecieron en los dos primeros meses, a pesar del tratamiento médico. Aproximadamente 1 870 personas que vivían en un radio de 100 metros a partir del depósito de chatarra estuvieron expuestas y muchas de ellas solicitaron atención médica. El Ministerio de Salud sigue de cerca el estado de 258 de estos individuos, que viven en un radio de 50 metros desde el depósito, para detectar efectos a largo plazo sobre la salud. Una investigación reveló que la causa fundamental del accidente fue que la parte responsable de la fuente en desuso no la almacenó en condiciones de seguridad (Mackenzie, 2006).

A continuación se describirá el desarrollo de la cultura nuclear en Venezuela la cual comienza a dar sus primeros pasos, durante la dictadura del general Marcos Pérez Jiménez, donde un grupo de personas entusiastas, logran que se aprobara, un plan de investigación atómica, convirtiéndose Venezuela en el primer país de la América Latina en trabajar en el área, con el tiempo incursionarían en el área, Argentina, Brasil y Chile.

Uno de los resultados que se obtienen, es la instalación de un reactor nuclear del tipo de investigación, ubicado en el Instituto Venezolano de Investigaciones científicas IVIC, siendo terminada su construcción en 1959, pero motivado a la falta de personal capacitado para su operación, es desactivado, mientras se preparaban en el exterior los futuros operadores, entrando en operación finalmente en los años 60.

En el primer gobierno de Carlos Andrés Pérez (1974 – 1979), se toma la iniciativa de instalar en Venezuela un reactor nuclear de potencia, y se comenzaron los primeros trabajos, pero con la llegada del denominado “invierno nuclear”, estos se detuvieron, y los departamentos que trabajaron en el proyecto, fueron cerrados o cambiadas sus funciones.

En la actualidad se quiere entrar en la era que tienen los países desarrollados y algunos en vía de desarrollo, enfocándose en el aprovechamiento del uso pacífico de la tecnología nuclear, como solución a los problemas energéticos presentes y futuros, además de entrar en el marco de preparación para la era post petrolera (Díaz, 2011).

Aspectos conceptuales

La energía nuclear es aquella que se libera como resultado de una reacción nuclear. Se puede obtener por el proceso de Fisión Nuclear (división de núcleos atómicos pesados) o bien por Fusión Nuclear (unión de núcleos atómicos muy livianos)

Al respecto cabe señalar, que en las reacciones nucleares se libera una gran cantidad de energía debido a que parte de la masa de las partículas involucradas en el proceso, se transforma directamente en energía. Lo anterior se puede explicar basándose en la relación Masa-Energía producto de la genialidad del gran físico Albert Einstein.

Frecuentemente, esta energía (que se obtiene en forma de calor) se aprovecha para generar energía eléctrica en las centrales nucleares, aunque se puede utilizar en muchas otras aplicaciones (Ramírez, 2010).

La Radiación

Definición

En física se entiende que la radiación es energía en movimiento. Debido a que cualquier partícula que se mueva posee energía, tanto los átomos, los núcleos de los átomos, los electrones, los protones o los neutrones, cuando se trasladan de un lugar a otro en el espacio, son radiación. Entonces, la **radiación**, es la energía que se propaga en forma de onda a través del espacio (Díaz, 2011).

Tipo de Radiaciones

Las radiaciones se pueden clasificar dependiendo si proviene de la naturaleza o fue creada por el ser humano.

- Radiación natural

El ser humano siempre ha estado expuesto a fuentes naturales de radiaciones ionizantes: rayos cósmicos, materiales radiactivos que se hallan en la corteza terrestre, muchos de los cuales están incorporados a materiales de construcción, al aire y a los alimentos; e incluso sustancias radiactivas que se encuentran en el interior del organismo humano Potasio 40 (K^{40}), Carbono 14 (C^{14}), entre otros.

El proceso de desintegración radiactiva explica la existencia de muchos elementos radiactivos en el medio ambiente. De hecho, hasta la invención del tubo de rayos X, en 1895, la única radiación que existía era la natural.

Entonces, el ser humano vivió en un mundo con radiactividad natural; recibiendo la radiación cósmica, procedente del espacio y la radiación del radón, procedente de la tierra. Igualmente, ingiere diariamente productos naturales y artificiales que contienen sustancias radiactivas (en cantidades muy pequeñas), en sus huesos hay polonio y radio radiactivos, en sus músculos, carbono y potasio radiactivos, y en sus pulmones, gases nobles y tritio, también radiactivos.

Este conjunto de radiaciones naturales integra la radiación de fondo que depende de numerosos factores: el lugar dónde se vive, la composición de la tierra,

los materiales de construcción, la estación del año, la latitud y, en cierta medida, las condiciones meteorológicas (Díaz, 2011).

- *Radiación artificial*

Además de la radiación de fondo natural, el ser humano está expuesto a fuentes de radiaciones que él mismo ha creado: aplicaciones de radio radioisótopos en medicina, industria e investigación, producción de energía eléctrica, armas nucleares, ensayos nucleares realizados en la atmósfera y todos los materiales residuales que estas actividades permiten.

El 1895, el físico Roëntgen, cuando experimentaba con rayos catódicos, descubrió el primer tipo de radiación artificial que ha utilizado el ser humano: los rayos X. Se trata de ondas electromagnéticas originadas por el choque de electrones con un determinado material, en el interior de un tubo de vacío.

Estas fuentes de radiación tienden a provocar un aumento en la dosis a la que está sometida la población. Las evaluaciones sobre las dosis individuales “*per cápita*” en la actualidad muestran que la mayor proporción la representan las radiaciones naturales y la utilización de los rayos X en el diagnóstico médico.

El conocimiento del incremento de radiación al ser humano procedente del uso médico de las radiaciones ionizantes, ha obligado a desarrollar leyes que garanticen la optimización de su uso, bajo estrictas medidas de protección radiológica, tanto para pacientes, como para profesionales y público en general.

En el concepto de optimización se incluye no sólo la limitación de dosis al paciente y la protección de órganos críticos, sino también la posibilidad de uso de explotaciones alternativas con métodos no ionizantes.

Finalmente se hace referencia a la contribución debida a los efluentes evacuados y a los residuos radiactivos de baja y media actividad del ciclo del combustible nuclear, resulta mucho menor e incluso despreciable que las variaciones de las fuentes natural y médica.

Otra forma de clasificar las radiaciones dependerá del proceso de desintegración, el núcleo inestable emite partículas o fotones característicos. Esta emisión puede ser, según el grado de inestabilidad del nucleído, de diferentes

tipos: radiación alfa, radiación beta, radiación gamma, radiación X y radiación de neutrones (Díaz, 2011).

- ***Radiación alfa***

Está formada por partículas pesadas integradas por dos protones y dos neutrones (como el núcleo del helio) emitidas por la desintegración de átomos de elementos pesados (uranio, radio, radón, plutonio entre otros). Debido a su masa no puede recorrer más que un par de centímetros en el aire, y no puede atravesar una hoja de papel, ni la epidermis.

Por el contrario, si se introduce en el cuerpo una sustancia emisora de radiación alfa, por ejemplo en los pulmones, ésta libera toda su energía hacia las células circundantes, proporcionando una dosis interna al tejido sensible (que en este caso no está protegido por la epidermis) (Díaz, 2011).

- ***Radiación beta***

Está compuesta por partículas de masa similar a las de los electrones, lo que le confiere un mayor poder de penetración. No obstante, la radiación beta se detiene en algunos metros de aire o unos centímetros de agua, y es detenida por una lámina de aluminio, el cristal de una ventana, una prenda de ropa o el tejido subcutáneo.

No obstante, puede dañar la piel desnuda y si entraran en el cuerpo partículas emisoras de beta, irradiarían los tejidos internos (Díaz, 2011).

- ***Radiación gamma***

Es de carácter electromagnético, muy energética, y con un poder de penetración considerable. En el aire llega muy lejos, y para detenerla se hace preciso utilizar barreras de materiales densos, como el plomo o el hormigón.

Desde el momento en el que la radiación gamma entra en una sustancia, su intensidad empieza a disminuir debido a que en su camino va chocando con distintos átomos. En el caso de los seres vivos, de esa interacción con las células pueden derivarse daños en la piel o en los tejidos internos (Díaz, 2011).

- ***Radiación X***

Es parecida a la gamma, pero se produce artificialmente en un tubo de vacío a partir de un material que no tiene radiactividad propia, por lo que su activación y desactivación, tiene un control fácil e inmediato (Díaz, 2011).

- ***Radiación de neutrones***

Es la generada durante la reacción nuclear. Los neutrones tienen mayor capacidad de penetración que los rayos gamma, y sólo puede detenerlos una gruesa barrera de hormigón, agua o parafina. Por ello, en las aplicaciones civiles, la generación de la radiación de neutrones se limita al interior de los reactores nucleares (Díaz, 2011).

Estos tres últimos tipos de radiación: gamma, rayos X y neutrónica, no son directamente ionizantes, pero al incidir sobre otros núcleos pueden activarlos o causar las emisiones que, indirectamente, sí producen ionización.

Estructura de la materia

El átomo consta de un núcleo con carga positiva y un cierto número de partículas cargadas negativamente, los electrones, que forman la corteza. De esta manera el átomo resulta eléctricamente neutro. El núcleo marca las propiedades físicas del átomo y la corteza las propiedades químicas.

Los núcleos atómicos están a su vez constituidos por protones y neutrones, que genéricamente se llaman nucleones. Los protones poseen una carga eléctrica positiva, de igual magnitud que la carga de los electrones. Los neutrones son algo más pesados que los protones y, como su propio nombre indica, se trata de partículas eléctricamente neutras, sin carga.

Para un elemento químico determinado el número de protones existentes en el núcleo, que es igual al número de cargas positivas que posee, recibe el nombre de número atómico del elemento (Z) y es el número de orden que dicho elemento ocupa en la tabla periódica. El número atómico es el carácter diferenciador de los distintos elementos químicos.

El número total de nucleones (protones y neutrones) existentes en el núcleo recibe el nombre de número másico (A). La diferencia entre el número másico y el número atómico, $A-Z$, nos da el número de neutrones contenidos en el núcleo atómico (Ramírez, 2010).

Radioisótopos

Definición

El número de electrones determina la naturaleza química de un elemento, y es igual al número de protones en un átomo eléctricamente neutro. El número atómico Z , es el número de protones existentes en el núcleo. Así pues átomos con igual número atómico, aunque difieran en número másico son, desde el punto de vista químico, idénticos pero presentan con frecuencia marcadas diferencias en sus características nucleares.

Tales especies con idéntico número atómico y diferente número másico, reciben el nombre de radioisótopos, es decir, átomos con idénticas propiedades químicas pero con distinto índice de masa (Altuve, 2010). Las especies isotópicas son, en general químicamente indistinguibles, pero poseen una masa atómica diferente.

Entonces, los radioisótopos se constituyen en una variedad de átomos que tienen el mismo número atómico y que, por consiguiente, conforman el mismo elemento aunque tengan un diferente número de masa. Al respecto cabe acotar que los átomos que son radioisótopos entre sí, tienen idéntica cantidad de protones en el núcleo y se encuentran en el mismo lugar dentro de la tabla periódica. (Ramírez, 2010).

Velocidad de desintegración

Los Radioisótopos radiactivos se desintegran espontáneamente con una velocidad determinada y constante, que depende de la naturaleza del nucleído. El núcleo inestable emite una partícula (o radiación) característica, transformándose de este modo en un núcleo diferente, que también puede ser, o no, radiactivo.

A medida que se va produciendo la desintegración, los átomos de un determinado radio isótopo de una masa de sustancia radiactiva irán disminuyendo,

llegando un momento en que su número se haya reducido a la mitad (Ramírez, 2010).

Periodo de semi-desintegración

Es el periodo de tiempo que transcurre para un isótopo radiactivo se desintegren a la mitad de los átomos de una muestra. Es una medida de la estabilidad del isótopo, ya que cuanto menor sea, con mayor rapidez se producirá la desintegración y menos estable será el isótopo. Cuanto más larga es la vida media de un isótopo, más estable; cuanto más corta la vida media, menos estable.

Al mencionado período de tiempo se le llama período de semi-desintegración o tiempo de vida media al igual que la velocidad de desintegración es característico de cada nucleído. Los períodos de semidesintegración para las distintas sustancias radiactivas varían desde la millonésima de segundo hasta millones de años (Ramírez, 2010).

Aplicaciones

Se distinguen tres (3) grupos diferentes de instalaciones radiactivas en función del fin para el que los radioisótopos radiactivos son utilizados, de acuerdo al alcance de ésta investigación: instalaciones médicas, industriales y centros de investigación.

- *Aplicaciones médicas.*

Los materiales radiactivos se utilizan en medicina con fines de diagnóstico, terapia e investigación, en particular para:

- a) Radio ensayos *in vitro* para el diagnóstico y la investigación clínicos con fuentes no selladas que contienen radio nucleídos.
- b) Aplicaciones *in vivo* de radiofármacos para diagnóstico clínico, terapia e investigación médica con fuentes no selladas que contienen radio nucleídos.

c) Radioterapia con Fuentes Selladas que se implantan en el paciente o se introducen en un dispositivo externo.

Para el radio ensayo *in vitro* se utilizan conjuntos o kits comercialmente disponibles que contienen sólo cantidades de radio nucleídos del orden de kilobecquerels.

El ^{125}I es el principal radio nucleído para ensayos *in vitro* para el diagnóstico y la investigación médica, cada ensayo requiere por lo general una actividad muy reducida. Después de cada ensayo y después de la fecha de caducidad del kit, el material radiactivo y los artículos contaminados se consideran normalmente como desechos.

En las principales aplicaciones en vivo, el tipo de radiofármaco que se utiliza y la cantidad que se administra al paciente dependen del órgano concreto que se ha de estudiar o tratar. De los radio nucleídos empleados para el trabajo con imágenes, el tecnecio 99 (^{99}mTc) es el más común, con un periodo de semidesintegración de 6 h. Se extrae normalmente en un ambiente estéril, de un generador que contiene un núcleo de ^{99}Mo , suministrado comercialmente.

Dado que la vida media del ^{99}Mo es de 66 h, los generadores deben ser sustituidos aproximadamente a intervalos semanales. Los desechos resultantes de la preparación de los agentes marcadores con ^{99}mTc , como viales descartados, jeringas y bolitas, pueden estar contaminados por el radio nucleído. Sin embargo, su radiactividad decae rápidamente debido al corto periodo de semi-desintegración, por lo que pueden ser liberados del control reglamentario y eliminados como no radiactivos.

El uso de radioisótopos para el diagnóstico y tratamiento de enfermedades ha ido creciendo a lo largo de los últimos cincuenta años. Así, elementos radiactivos no encapsulados, normalmente en estado líquido, son utilizados para fines diferentes como son el diagnóstico mediante trazadores (^{99}mTc , ^{201}Tl , ^{67}Ga , ^{131}I) que permiten el estudio de órganos como el corazón, glándula tiroides, hígado y glándulas hormonales, o bien para el tratamiento de enfermedades de la tiroides (^{131}I) o de la sangre (^{32}P), o para investigación (^3H ó ^{14}C).

En el tratamiento de pacientes también se utilizan Fuentes Selladas que contienen otros radios nucleídos, por ejemplo ^{60}Co , ^{192}Ir y ^{137}Cs : como implantes

temporales, para terapia con haz externo y para la irradiación de productos sanguíneos.

Conviene destacar que en las aplicaciones terapéuticas, debería prestarse la adecuada atención a los contaminantes radiactivos contenidos en los desechos originados por los pacientes, como las excreciones y la ropa sucia.

Estas actividades generan residuos radiactivos sólidos: algodones, guantes de goma, jeringuillas, etc. así como residuos líquidos, fundamentalmente líquidos de centelleo los cuales son una mezcla de solventes orgánicos del tipo: tolueno, xileno, entre otros, más compuestos orgánicos con propiedades fluorescentes como el naftaleno, el 2,5-difeniloxazol, el p-terfenil, entre otros. y surfactantes como el Triton N57 o el Hyamine 166, que permiten obtener soluciones homogéneas entre muestras acuosas y las soluciones centelladoras orgánicas.

En el tratamiento de tumores se emplean fuentes encapsuladas, siendo muy frecuente el uso del ^{60}Co . Estas fuentes, frecuentemente de mucha actividad, han de ser cambiadas debido al decaimiento cuando su actividad disminuya por debajo de un determinado nivel y por tanto, dejan de ser útiles para estos fines. Estas fuentes constituyen un residuo radiactivo que es necesario tratar (OIEA, 2004).

- *Aplicaciones industriales.*

En las aplicaciones de los radioisótopos en los procesos industriales, está especialmente extendido el uso de fuentes encapsuladas o selladas. Mediante el uso de este tipo de fuentes generalmente de baja actividad, se suelen obtener medidas de nivel, humedad, densidad o espesor en procesos continuos o de difícil acceso.

También se utilizan fuentes encapsuladas de radiación gamma para ensayos no destructivos en construcciones metálicas (gammagrafía) y en esterilización industrial. En estos casos, se necesitan fuentes de una actividad mayor que en las aplicaciones médicas.

Al igual que las fuentes encapsuladas utilizadas en medicina, cuando decae su nivel de actividad, deben ser retiradas considerándose residuos radiactivos a tratar.

Algunos ejemplos destacados que se podrían mencionar son los ensayos no destructivos (radiografías y mediciones). Las Fuentes Selladas también se utilizan para el control de procesos y para la calibración de equipos de laboratorio. El radio nucleído dominante está presente en forma muy concentrada; la actividad total depende de la aplicación y la naturaleza de la emisión de las fuentes.

Las Fuentes Selladas en Desuso se consideran desecho cuando han decaído hasta el punto de que ya no son útiles para su fin original, porque el aparato en el que están alojadas se haya quedado obsoleto, o porque las comprobaciones acostumbradas indiquen que la fuente tiene fugas.

Un ejemplo de la utilización industrial de fuentes no selladas como trazadores es el estudio del desgaste y la corrosión de componentes esenciales en instalaciones y maquinaria, tales como el desgaste de componentes de motores, del recubrimiento de hornos y de superficies metálicas.

Las fuentes no selladas también tienen aplicaciones en el control de las depuradoras de aguas residuales y el estudio del comportamiento de los emplazamientos de los vertederos de basuras, el movimiento de las aguas subterráneas y la dispersión y dilución de aguas de enfriamiento o de los efluentes gaseosos. En la mayoría de los casos se utilizan trazadores radiactivos de periodo corto.

Las aplicaciones industriales con técnicas de trazadores radio isotópicos son generalmente de mayor magnitud que las aplicaciones en laboratorio (OIEA ,2004).

- *Aplicaciones en la investigación.*

En los Centros de investigación nuclear, los residuos proceden de reactores de enseñanza e investigación, celdas calientes, metalúrgicas (instalaciones auxiliares de investigación donde se realizan ensayos, manipulaciones, pruebas, entre otros) plantas piloto y servicios de descontaminación.

Estos residuos son de naturaleza física, química y radiactiva muy variable debido a la gran diversidad de radioisótopos utilizados y la amplia gama de

procesos en que son aplicados. Seguidamente se desarrollarán los fundamentos conceptuales inherentes a los Desechos Radiactivos (OIEA, 2004).

Desechos Radiactivos

Definición

Se considera desecho o residuo radiactivo, a cualquier material o producto de desecho que contiene o está contaminado con radio nucleídos en concentraciones o niveles de actividad superiores a los establecidos por las autoridades competentes y para el cual no está previsto ningún uso (Altuve, 2010).

Estos suelen generarse en la producción de energía eléctrica de origen nuclear, en el desmantelamiento de instalaciones nucleares y en la utilización de radio radioisótopos en múltiples actividades en la industria, medicina, investigación, entre otros.

Para su tratamiento, deben ser primero clasificados según su actividad y también por su vida media. También es importante tener en cuenta su grado de toxicidad y las propiedades químicas que los hacen más o menos dañinos para la salud y el medio ambiente (OIEA, 2004).

Fuentes Selladas en Desuso

Definición

Las Fuentes Selladas en Desuso son radio nucleídos que poseen una capa protectora la cual está fabricadas con materiales no radiactivos y están diseñadas para que, dentro de un ángulo sólido dado, atenúen lo menos posible la radiación emitida por la fuente (OIEA, 2004).

Impactos sobre la salud

Los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes sobre los seres vivos han sido conocidos y estudiados con detalle desde hace muchos años. Fueron observados por primera vez en 1896 en algunos de los primeros usuarios de los rayos X.

Estos notaron una caída del cabello en aquellas áreas que habían sido expuestas, la piel se volvió roja, y si recibía grandes cantidades de radiación se ulceraba. Además encontraron que a menudo se desarrollaba, años más tarde, cáncer de piel sobre las áreas que habían sido expuestas.

Ahora es importante acotar que son muchas las posibles clasificaciones que se podrían realizar sobre los efectos de las radiaciones ionizantes. Sin embargo, se hará referencia a aquellas donde con mayor frecuencia, se emplea en protección radiológica y que hace referencia a la transmisión celular de los efectos y a su relación con la dosis (OIEA, 2004).

En primer lugar, los efectos pueden clasificarse en:

Somáticos y **genéticos**, en función de si son inducidos sobre las células de la línea somática o germinal. El daño somático se manifiesta durante la vida del individuo irradiado, mientras que los efectos genéticos son inducidos sobre su descendencia.

Los *efectos somáticos* se dividen a su vez en **inmediatos** y **tardíos**, en función del tiempo transcurrido desde su irradiación.

Por su parte, los *efectos somáticos inmediatos* aparecen en la persona irradiada en un margen de tiempo que va desde unos días hasta unas pocas semanas después de la exposición. Se trata de **efectos deterministas** y se pueden manifestar en un tejido concreto o sobre el cuerpo considerado como un todo, bajo un síndrome de denominación específica (por ejemplo, síndrome hematológico, gastrointestinal, entre otros.), y su severidad varía considerablemente con la dosis, tipo de energía de la radiación, así como la parte del cuerpo irradiada (OIEA, 2004).

Para estos efectos somáticos inmediatos, se supone que existe en cierta medida, un proceso de recuperación celular como, por ejemplo, en el caso de la

fibrosis pulmonar debida a una dosis excesiva de radiación o los eritemas de la piel.

Por otro lado, los *efectos somáticos tardíos* son aquéllos que ocurren al azar dentro de una población de individuos irradiados. *Son, por tanto, estocásticos*, no siendo posible en ningún caso, establecer para ellos una relación dosis-efecto individual. La relación entre la inducción de una malignidad (leucemia, tumor, entre otros.) y la dosis, sólo podemos establecerla sobre grandes grupos de población irradiada, como un incremento en la probabilidad de que ocurra una enfermedad determinada por encima de su incidencia natural (OIEA, 2004).

Se afirman que son tardíos cuando el efecto se manifiesta entre 10 y 40 años después de la exposición. Por ejemplo, es frecuente encontrar períodos de latencia de 20-26 años para cánceres inducidos por radiación y de 10-15 años en el caso de leucemias.

Ahora bien, *los efectos genéticos afectan a la descendencia*. Pueden aparecer en la primera generación, en cuyo caso el daño se dice que es dominante. Más frecuentemente el efecto se manifiesta en individuos de las generaciones sucesivas (enfermedades hereditarias, defectos mentales, anormalidades del esqueleto, entre otros.).

Son efectos estocásticos, puesto que dependen de la probabilidad de que una célula germinal con una mutación relevante, tome parte en la reproducción (OIEA, 2004).

Descripción de las alteraciones sistémicas

Los *efectos deterministas (Somáticos Inmediatos)* se caracterizan por requerir una dosis umbral para su aparición, es decir, sólo se producen por encima de un valor determinado de dosis y a partir de éste, su severidad aumenta con la dosis recibida. Esta dosis recibida o dosis absorbida mide la cantidad de energía absorbida por unidad de masa de material irradiado. Se mide en Gray, símbolo Gy es una unidad derivada del Sistema Internacional de Unidades. Un Gray es

equivalente a la absorción de un Joule de energía ionizante por un Kilogramo de material irradiado (1 J/ kg) (OIEA, 2004).

- ***Sistema hematopoyético*** (Sistema sanguíneo)

Como consecuencia de la elevada radio sensibilidad de los precursores hematopoyéticos, dosis moderadas de radiaciones ionizantes de por lo menos 0,4 Gy pueden provocar una disminución proliferativa de las células, lo que se traduce al cabo de un corto período de tiempo en un descenso del número de células funcionales de la sangre.

La pérdida de leucocitos conduce, tras la irradiación, a una disminución o falta de resistencia ante los procesos infecciosos. Por otra parte, la disminución del número de plaquetas indispensables para la coagulación sanguínea provoca una marcada tendencia a las hemorragias, que sumado a la falta de producción de nuevos elementos sanguíneos de la serie roja, puede provocar una grave anemia (OIEA, 2004).

- ***Sistema digestivo***

El intestino delgado es la parte más radio sensible del tubo digestivo. Está constituido por un revestimiento formado por células que no se dividen, sino que se desescaman diariamente hacia la luz del tubo y son sustituidas por nuevas células.

Al igual que ocurre en la médula ósea, en esta región existe un compartimento de células cepa, que se dividen activamente, y que tienen una elevada sensibilidad.

Una radiación de entre 2,5 a 3,5 Gy puede llegar a inhibir la proliferación celular y, por tanto, el revestimiento puede quedar altamente lesionado, teniendo lugar una disminución o supresión de secreciones, pérdida de elevadas cantidades de líquidos y electrolitos (OIEA, 2004).

- ***Piel***

Después de aplicar dosis de radiaciones moderadas 2 a 6 Gy o altas mayores a 25 Gy, se producen reacciones tales como inflamación, eritema y descamación seca o húmeda de la piel (OIEA, 2004).

- ***Testículo***

Como consecuencia de una irradiación mayor de 0,15 Gy sobre de los testículos se puede producir la despoblación de las espermatogonias, lo que se traduce en la disminución de nuevos espermatozoides, aunque la fertilidad puede mantenerse durante un período variable atribuible a los radio-resistentes espermatozoides maduros. A este período le sigue, finalmente, otro de esterilidad temporal o permanente según la dosis recibida (OIEA, 2004).

- ***Ovario***

Después de irradiar los ovarios con dosis moderadas entre 2 a 6 Gy, existe un período de fertilidad debido a los relativamente radiorresistentes folículos maduros, que pueden liberar un óvulo. A este período fértil le puede seguir otro de esterilidad temporal o permanente, como consecuencia de las lesiones en los folículos intermedios al impedirse la maduración y expulsión del óvulo.

Posteriormente, puede existir un nuevo período de fertilidad como consecuencia de la maduración de los óvulos, que se encuentran en los folículos pequeños y radio resistentes.

Las dosis necesarias para producir esterilización varían en función de la edad, dado que a medida que se aproxima la edad de la menopausia el número de ovocitos primarios disminuye y, por tanto, la dosis esterilizante es más baja (OIEA, 2004)

Protección Radiológica

Definición

La protección radiológica es una disciplina científico-técnica que tiene como finalidad la protección de las personas y del ambiente frente a los riesgos derivados de la utilización de fuentes radiactivas, tanto naturales como artificiales, en actividades médicas, industriales, de investigación o agrícolas.

El uso de este tipo de fuentes ha reportado muchos beneficios a la Humanidad, pero también supone ciertos riesgos, que comenzaron a ponerse de

manifiesto pocos años después del descubrimiento de los rayos X, a finales del siglo XIX.

Las primeras normativas sobre protección radiológica datan de 1928 y fueron elaboradas por un organismo internacional independiente de cualquier autoridad nacional o supranacional, denominado entonces Comisión Internacional de Protección contra los Rayos X y el *Radium* y en la que se agrupaban una serie de profesionales expertos en el tema. En los años 50 del siglo XX, esta Comisión pasaría a denominarse **Comisión Internacional de Protección Radiológica** (ICRP), nombre con el que aún se la conoce.

A pesar de la creación de esta organización pionera, muy pocos países emprendieron una acción legislativa en este campo hasta después de la IIª Guerra Mundial, cuando se empieza a barajar la posibilidad de utilizar la energía nuclear en diversas actividades no bélicas, por lo que se impone la regulación y el control de las sustancias radiactivas naturales y artificiales y la implantación de las primeras normas legales de protección radiológica.

Actualmente, está generalizada la existencia de un conjunto de estrictas normativas de protección radiológica en la mayoría de los países, de tal manera que las normas dictadas por la ICRP se suelen implantar en sus propias legislaciones, lo que origina un elevado nivel de homogeneidad en las mismas (OIEA, 2004)

Principios fundamentales del sistema de protección radiológica

El objetivo fundamental del sistema de protección radiológica recomendado por la ICRP es el de garantizar un nivel elevado de protección, sin limitar indebidamente la obtención de los beneficios que se derivan del uso de radiaciones ionizantes.

Se considera, por tanto, que puede aceptarse una exposición a cambio de una actividad beneficiosa, siempre que ésta se haya reducido por todos los medios razonables.

El sistema de protección radiológica actualmente recomendado por la ICRP está basado en tres principios fundamentales: Justificación, Optimización, Limitación de Dosis (OIEA, 2004).

- ***Justificación***

Toda exposición a radiación ionizante debe estar justificada, es decir, el beneficio que nos aporte tiene que ser superior al riesgo de exponerse a ella (OIEA, 2004).

- ***Optimización***

Se sigue el criterio “ALARA” (*As Low As Reasonably Achievable*), según el cual todas las exposiciones a las radiaciones ionizantes deben ser mantenidas tan bajas como sea razonablemente posible, teniendo en cuenta factores sociales y económicos (OIEA, 2004).

- ***Limitación de Dosis***

En todo caso, la dosis de radiación que puede recibir cualquier individuo no debe superar unos valores establecidos como límites legales, lo que garantiza la protección del público en general y del personal profesionalmente expuesto.

La limitación de los efectos derivados de las radiaciones ionizantes se consigue evitando las exposiciones no justificadas y manteniendo tan bajas como sea posible las justificadas.

La aplicación de estos principios constituye la base para establecer unas medidas de protección que deben asegurar un riesgo individual justificado por el beneficio obtenido y suficientemente bajo, y adicionalmente mantener unos niveles totales de exposición a las radiaciones lo más bajos posibles.

La dosis de radiación recibida por un individuo al permanecer en las proximidades de un emisor o generador de radiaciones ionizantes, depende de tres factores para la protección radiológica como lo son: Tiempo, distancia y protección (OIEA, 2004). Estos se discuten en detalle a continuación:

➤ ***Tiempo***

La radiación se emite normalmente de una fuente a una velocidad constante y esto se mide en microsievarts por hora ($\mu\text{Sv} / \text{h}$) o milisievert por hora (mSv / h).

El sievert (símbolo Sv) es una unidad derivada del SI que mide la dosis de radiación absorbida por la materia viva, corregida por los posibles efectos biológicos producidos. 1 Sv es equivalente a un Joule entre Kilogramo ($J\ kg^{-1}$). Esta unidad da un valor numérico con el que se pueden cuantificar los efectos estocásticos producidos por las radiaciones ionizantes.

Su diferencia con el Gray (unidad de la dosis absorbida) es que el Sievert está corregido por el daño biológico que producen las radiaciones, mientras que el gray mide la energía absorbida por un material.

Se cumple la equivalencia $1\ Sv = 1\ Gy$ para las radiaciones electromagnéticas (rayos X y gamma) y los electrones, pero para otras radiaciones debe utilizarse un factor corrector: 20 para la radiación alfa, de 1 a 20 para neutrones libres.

Esta unidad es utilizada para medir diferentes magnitudes usadas en protección radiológica, como la dosis equivalente, la dosis colectiva, la dosis ambiental o la dosis efectiva entre otras.

En las aplicaciones que pueden encontrarse comúnmente suelen ser utilizados sus submúltiplos mSv y μSv . A partir de 1 Sv los efectos más importantes son los deterministas, por lo que se utiliza la dosis absorbida (Gray).

Cuanto más corto sea el tiempo que una persona pasa en el campo de radiación menor es la dosis de radiación absorbida por ese individuo. Por lo tanto, es aconsejable no quedarse en las zonas donde puede haber altos niveles de radiación y cualquier trabajo realizado cerca de una fuente se debe hacer de manera eficiente. Esto ayudará a asegurar que los riesgos de la radiación se mantengan tan bajas como razonablemente posible.

➤ *Distancia*

Los niveles de radiación disminuyen rápidamente al aumentar la distancia y por lo tanto es importante evitar manejar directamente las fuentes de radiación. Herramientas de diseño especial con mangos largos se deben utilizar siempre si una fuente es manipulada.

➤ **Blindaje**

La consideración principal para medidores es para evitar el acceso a los altos niveles de radiación cerca de la fuente. Esto se puede lograr proporcionando un espesor adecuado de material de blindaje adecuado alrededor la fuente. La cantidad de apantallamiento requerido será determinado por el tipo y la energía de la radiación y la actividad de la fuente. Por ejemplo varios centímetros de plomo pueden ser necesarios alrededor de una fuente de rayos gamma o unos varios milímetros de aluminio alrededor de una fuente de beta (OIEA, 2004).

Ahora bien se mostrarán a continuación los límites de dosis ocupacionales y al público en general.

Límites de dosis ocupacional

Límites de dosis ocupacionales son elegidos de forma que el riesgo para los trabajadores de la radiación no es mayor que el riesgo en el trabajo en otras industrias generalmente considerados seguros. Las dosis de radiación debe mantenerse tan bajos como sea razonablemente posible, pero algunas industrias pueden requerir que los empleados trabajen de forma rutinaria en las zonas de alta radiación y por lo tanto se requieren límites de dosis. Los individuos de exposición laboral no debe exceder de:

- Una dosis efectiva de 20 mSv por año como promedio durante 5 años consecutivos
- Una dosis efectiva de 50 mSv en un solo año
- Una dosis equivalente a las extremidades (manos y pies) o la piel de 500 mSv en un año.

Límites de dosis Públicas

Si el uso de los captadores nucleónicos puede dar lugar a que el público está expuesto, las siguientes dosis no se deben sobrepasar:

- Una dosis efectiva de 1 mSv en un año
- En circunstancias especiales, una dosis efectiva de hasta 5 mSv en un único año, siempre que la dosis media de más de cinco años consecutivos no sobrepase 1 mSv por año.
- Una dosis equivalente a la piel de 50 mSv.

2.3. BASES LEGALES

Esta sección corresponde al conjunto de fundamentos legales que sustentan la presente investigación. Es así, como la normativa legal referente al manejo de los Desechos Radiactivos, parte de la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela, específicamente en su Artículo 129; en el cual contempla:

Todas las actividades susceptibles de generar daños a los ecosistemas deben ser previamente acompañadas de estudios de impacto ambiental y socio cultural. El Estado impedirá la entrada al país de desechos tóxicos y peligrosos, así como la fabricación y uso de armas nucleares, químicas y biológicas. Una ley especial regulará el uso, manejo, transporte y almacenamiento de las sustancias tóxicas y peligrosas. En los contratos que la República celebre con personas naturales o jurídicas, nacionales o extranjeras, o en los permisos que se otorguen, que involucren los recursos naturales, se considerará incluida aun cuando no estuviera expresa, la obligación de conservar el equilibrio ecológico, de permitir el acceso a la tecnología y la transferencia de la misma en condiciones mutuamente convenidas y de restablecer el ambiente a su estado natural si éste resultara alterado, en los términos que fije la ley (p. 172).

De igual forma, existen otras disposiciones legales que también guardan estrecha vinculación con el presente Trabajo Especial de Grado por tratar el manejo de Desechos Radiactivos.

Ley sobre sustancias, materiales y desechos peligrosos. 13/11/2001.

La Ley tiene por objeto establecer las normas para el uso, manejo, transporte y almacenamiento y la disposición final de las sustancias y desechos peligrosos que en ella se regulan, a fin de proteger el ambiente y la salud. Anteriormente el proyecto se denominaba Ley Especial sobre el uso, manejo, transporte, almacenamiento y disposición de sustancias y desechos tóxicos y peligrosos.

Decreto 2.210. Normas técnicas y procedimientos para el manejo de material radiactivo. 23/04/1992.

Este Decreto tiene por objeto, regular el manejo de los materiales radiactivos con la finalidad de proteger a la salud de las personas y el ambiente.

Estas regulaciones son aplicables a toda persona natural o jurídica, pública o privada que importe, fabrique, transporte, almacene, comercie, ceda a título oneroso o gratuito, o emplee, con fines industriales, comerciales, científicos, médicos o cualquier otro fin, aparatos capaces de general radiaciones ionizantes.

Norma venezolana Protección Radiológica COVENIN 2256: 2001. Definiciones I.C.S 13.280, (Ira Revisión).

Esta norma señala, las definiciones que se derivan del manejo de fuentes de radiaciones ionizantes.

Norma Venezolana COVENIN 3496: 1999, Protección radiológica. Medidas de seguridad para la protección contra las radiaciones ionizantes y las fuentes de radiación. (Provisional) 15/09/1999.

La finalidad de esta normativa, es señalar los requisitos fundamentales relativos a la protección contra los riesgos derivados de la exposición a la

radiación ionizante, y relativos a la seguridad de las fuentes de radiación que pueden causar dicha exposición.

Norma Venezolana COVENIN 3299: 1997. *Programa de protección radiológica. Requisitos. 09/07/97.*

En esta norma, se describen los requisitos para elaborar el programa de protección radiológica que debe cumplirse en las instalaciones donde existan prácticas con fuentes de radiaciones ionizantes, a fin de garantizar el logro de los objetivos de la protección radiológica.

Norma Venezolana COVENIN 96-92. *Símbolo básico para radiaciones ionizantes (2 da Revisión) Fecha 08/04/1992.*

Esta normativa contempla, las características mínimas que debe cumplir el símbolo básico utilizado para señalar la presencia real o posible de radiaciones ionizantes tales como; Rayos x y Gama, Partículas Alfa y Betas, Electrones de gran velocidad, Neutrones, Protones y otras partículas nucleares y la identificación de los objetos, materiales y sus mezclas que emitan dichas radiaciones.

Norma Venezolana COVENIN 3190: 1995. *Blindaje para contenedores de fuentes radiactivas. Requisitos mínimos. 5/12/2006.*

En esta disposición se establecen, las características que deben poseer los blindajes para contenedores de fuentes radioactivas tanto sellados como abiertos.

Norma Venezolana COVENIN 187-92. *Colores, símbolos y dimensiones para señales de seguridad. (1ra Revisión) Fecha 08/04/1992.*

Esta disposición establece, los colores, símbolos y dimensiones de las señales de seguridad, con el objeto de prevenir accidentes, riesgos a la salud y facilitar el control de las emergencias.

Cabe señalar, que la misma se aplica a la totalidad de los lugares residenciales, públicos, turísticos, recreacionales, así como de trabajo; a objeto de orientar y prevenir accidentes, riesgos a la salud y facilitar el control a las emergencias, a través de colores, formas, símbolos y dimensiones.

Norma Venezolana COVENIN 2026:1999. *Transporte seguro de materiales radiactivos (Ira Revisión) 10/03/1999.*

La presente normativa, se aplica a todas las modalidades de transporte por vía terrestre, acuática o aérea de materiales radiactivos, incluido el transporte incidentalmente afectado al uso de materiales radiactivos. Al respecto, el transporte abarca todas las operaciones y condiciones relacionadas con el traslado de materiales radiactivos e inherentes al mismo; comprenden el diseño, la fabricación, el mantenimiento y la reparación de ensamblaje, y la preparación, expedición, carga, acarreo, incluido almacenamiento en tránsito, descarga y recepción en el destino final de carga de materiales radiactivos y bultos.

Norma Venezolana COVENIN 2257: 1995 Radiaciones ionizante. *Clasificación y demarcación de las zonas de trabajo. (Ira Revisión) 09/08/1995.*

Aquí se establece, la clasificación, señalización y demarcación necesarias en las zonas donde se operen y/o almacenen fuentes de radiaciones ionizantes.

Norma Venezolana COVENIN 2258: 1995 Vigilancia radiológica. *Requisitos (Ira Revisión) 09/08/1995.*

Esta disposición señala, los requisitos que se deben cumplir para la vigilancia radiológica tanto en situaciones normales de operación, así como en el caso de emergencias.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

El marco metodológico es el conjunto de procedimientos lógicos, tecno-operacionales implícitos en todo proceso de investigación, con el objeto de ponerlos de manifiesto y sistematizarlos; a propósito de permitir descubrir y analizar los supuestos del estudio y de reconstruir los datos, a partir de los conceptos teóricos convencionalmente operacionalizados. (Balestrini, 2006).

3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación constituye la forma de identificación de la práctica y aplicabilidad del método científico; este se define con base al Objetivo general pautado en el Trabajo de Grado.

Entonces, el tipo de investigación que se utilizó fue el documental. La cual es un proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios, es decir, los obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales: impresas, audiovisuales o electrónicas. Como en toda investigación, el propósito de este diseño es el aporte de nuevos conocimientos (Arias, 2006).

Como en el proceso de investigación documental se dispone, esencialmente, de documentos, que son el resultado de otras investigaciones o de reflexiones de teóricos, lo cual representa la base teórica del área objeto de investigación; el conocimiento se construye a partir de su lectura, análisis, reflexión e interpretación de los documentos nacionales e internacionales inherentes relacionados a la Gestión de Fuentes Selladas en Desuso y Desechos Radiactivos.

Adicionalmente y tomando en consideración que un diseño se corresponde con el conjunto de estrategias y acciones a seguir para responder a las interrogantes planteadas en una investigación, en el presente estudio se aplicó el

diseño no experimental descriptivo, definido por el Manual de normas para la elaboración y presentación de los Trabajos especiales de grado, Trabajos de grado y Tesis doctorales de la Universidad Nacional Yacambú (2007) como un “trabajo de investigación cuyo propósito es la indagación de la incidencia y los valores en los que se manifiesta una o más variables, en un momento determinado en el tiempo” .

Esta investigación se apoyará en el mencionado diseño, en virtud de que sus objetivos se orientan hacia el establecimiento del marco de referencia sobre el cual se fundamenta la Gestión de Fuentes y Desechos Radiactivos provenientes de los Sectores Industrial, Médico y de Investigación en la República Bolivariana de Venezuela, el análisis del marco jurídico venezolano en materia de Seguridad y los Estándares nacionales asociados a la Gestión de Fuentes y Desechos Radiactivos, así como también de la descripción de algunas experiencias de Gestión en Venezuela, la cual servirá de fundamento para la caracterización de la Unidad de Gestión.

3.2. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO PARA EL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

En esta sección del presente trabajo de investigación, se toma en consideración, que los procedimientos metodológicos, no implican el uso de pasos rígidos; por el contrario, representan en conjunto, un proceso que ha sido ampliamente utilizado por investigadores de distintas áreas y ha ofrecido resultados exitosos. Sin embargo, todo depende del estilo de trabajo, de las habilidades, las posibilidades y la competencia del investigador.

Su experiencia con la investigación y con la lengua escrita, su competencia lingüística y conocimientos previos podrían optimizar el proceso de indagación, suprimiendo o incorporando elementos.

Es, en consecuencia, un marco de referencia y no una camisa de fuerza. Seguidamente, se describen las fases cumplidas durante el desarrollo de la investigación.

Fase I. Recopilación de la Información

Para la búsqueda de la información inherente a la Gestión de Fuentes y Desechos Radiactivos provenientes de los Sectores Industrial, Médico y de Investigación a nivel mundial y específicamente en la República Bolivariana de Venezuela; se ejecutó un plan de visitas a algunos organismos y entes gubernamentales y autónomos, entre los cuales se citan:

1. Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC)
2. Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela.
3. Facultad de Ciencias de la Universidad Central de Venezuela.
4. Hospital Universitario de Caracas.
5. Hospital Oncológico “Dr. Luis Razetti”.
6. Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica (MPPEE)
7. Ministerio del Poder Popular para la Salud y Asistencia Social (MPPSAS)
8. PDVSA San Tomé.

Cabe señalar que las consultas en los mismos fueron ejecutadas a través de medios físicos y electrónicos, así como también de informes, ficheros bibliográficos y otros documentos de interés, inherentes a la Gestión de Fuentes Selladas en Desuso y Desechos Radioactivos.

Otro medio de acceso a la información fue mediante la consulta de leyes y con expertos en la materia sujeta a estudio, quienes sirvieron de guía para darle el enfoque adecuado y factible a esta investigación. También tuvo lugar la utilización de todos aquellos portales electrónicos relacionados con el tema de estudio.

Fase II. Organización del material

Para el desarrollo de la presente investigación se realizó un análisis bibliográfico de toda la documentación que guarda relación y pertinencia al problema de estudio, es decir, que los datos recopilados fueron previamente

examinados, tabulados, interpretados y resumidos, con la finalidad de alcanzar los objetivos planteados.

Una vez finalizada la etapa de análisis interpretativo, se procedió a realizar una serie de conclusiones y recomendaciones, a fin de dar respuesta a las interrogantes de la investigación.

3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Durante la recolección de la información para el desarrollo de esta investigación, se utilizaron las tradicionales técnicas documentales tales como: el fichaje, la cual permitió acumular información y recabar ideas organizándolas en un fichero. De igual forma, se empleó el subrayado a fin de extraer de las lecturas; las ideas principales de los autores o los puntos centrales o de importancia en las tesis.

Otra técnica empleada, fue la del resumen, permitiendo a través de ella; delimitar el contenido de los textos consultados relacionados con la gestión de Fuentes Selladas en Desuso y Desechos Radiactivos.

La información recopilada se obtuvo además, a través de la consulta de diferentes documentos como libros, leyes, trabajos de investigación, relacionados con la temática, cuadros y algunos informes facilitados en los diferentes entes visitados.

Como complemento, se empleó la técnica de la observación. La técnica de la observación “es una técnica de investigación que consiste en observar personas, fenómenos, hechos, acontecimientos, casos, objetos, acciones, situaciones, entre otros, con el fin de obtener y determinar información de interés para una investigación” (Sánchez, 2009). Esta técnica, brinda la oportunidad de evidenciar elementos claves en situaciones o personas determinadas, los cuales representan aspectos determinantes en un proceso de investigación específica.

En el caso particular de ésta investigación se observó la gestión desarrollada en el IVIC a través de una visita realizada a sus instalaciones y una entrevista a Hendrick Yáñez quien es Jefe de Radiología Sanitaria en el instituto y

en el caso del Hospital Oncológico “Dr. Luis Razetti” del mismo modo se realizó una visita y se entrevistó a José Rosario quien es Licenciado en Física y encargado del área de Medicina Nuclear. Igualmente se visitó el “Hospital Universitario de Caracas” y se entrevistó a Larry Silva quien desarrolla trabajos en dicha institución como Técnico en Medicina Nuclear, también se entrevistó a Arcadie Farías quien desempeña el trabajo de Físico Médico. Además se realizó una visita a la Facultad de Ciencias de la UCV y se entrevistó a Lisseta D`Onofrio quien es Doctora en Física y trabaja como profesora investigadora en la Universidad. En la Facultad de Ingeniería de la UCV se entrevistó a Gustavo Landaeta quien es técnico químico y desempeña el trabajo de técnico del laboratorio de aplicaciones de Técnicas Nucleares en Ingeniería. Y por último se realizó una visita al bunker en PDVSA San Tomé y se entrevistó a Leonardo Medina quien es supervisor de higiene ocupacional en PDVSA San Tomé.

Finalmente se utilizó la técnica de análisis interpretativo, a propósito de clasificar y analizar la información obtenida y de este modo destacar los contenidos más específicos y relevantes que están relacionados con el planteamiento del problema, logrando así cumplir con los objetivos planteados en la investigación, los cuales están orientados hacia la elaboración de un Diseño Conceptual para la instalación de una Unidad de Gestión de Fuentes Selladas en Desuso y Desechos Radiactivos provenientes de los Sectores Industrial, Médico y de Investigación para la República Bolivariana de Venezuela.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los resultados obtenidos con su respectivo análisis; luego de aplicar la metodología descrita en el capítulo anterior, la cual, permitió cumplir con los objetivos propuestos en este Trabajo Especial de Grado.

Objetivo Específico N° 1: Describir las etapas de Gestión de Fuentes Selladas en Desuso y Desechos Radiactivos provenientes de los Sectores Industrial, Médico y de Investigación.

La gestión la podemos dividir en varios segmentos o fases, la primera tiene el objetivo de resguardar los desechos en matrices sólidas para inmovilizar los residuos, pero antes de inmovilizarlos se tiene que llevar a cabo varios procesos que forman parte de la gestión previa a la disposición final de los Desechos Radiactivos la cual abarca el **Pretratamiento**, en la cual los residuos se segregan de acuerdo con su estado físico y su nivel de actividad total y tiempo de vida media, además otras operaciones que facilitan el proceso de **Tratamiento** posterior en donde se concentra la actividad contenida en el residuo en un volumen lo más reducido posible. También es necesario neutralizar aquellos residuos que, al ser agresivos químicos, puedan tener un efecto destructor sobre los sistemas de confinamiento como la **Inmovilización y envasado**, cuyo objetivo es evitar la dispersión de los radio nucleídos, dejando los residuos en una forma sólida y estable, mediante un revestimiento o inclusión en un material aglomerante (cemento, asfalto, etc.) y su posterior confinamiento en un contenedor. Este envasado representa la primera barrera de aislamiento ya que estas matrices sólidas, inmoviliza los radio nucleídos presentes en los residuos radiactivos, por lo que sus principales características deben ser una buena conductividad calorífica y una baja tasa de lixiviación (es decir, no dejará escapar más que una parte muy pequeña de la actividad presente).

La segunda barrera de aislamiento consiste en colocar las matrices en contenedores o bultos como medios de confinamiento, simplifican el manejo y transporte de los residuos hasta su colocación en el almacenamiento.

Siguiendo este orden, la tercera barrera de aislamiento son las obras de ingeniería, lo cual consiste en un almacenamiento terrestre superficial. La vida de un almacenamiento de este tipo opera en dos fases: La fase de explotación del centro, durante la cual los residuos son almacenados y por otro lado, la fase de vigilancia que dura mientras los residuos almacenados pueda presentar riesgo radiológico. Una vez concluida esta última, el emplazamiento puede ser empleado sin restricciones de orden radiológico para cualquier uso.

La barrera geológica (Disposición final) representa la cuarta barrera la cual se utiliza para almacenar radioisótopos con tiempo de vida media muy largo es decir mayores de 30 años, este método consiste en aprovechar minas o galerías subterráneas artificiales, para almacenar los residuos de alta y media actividad, previamente acondicionados. Cuando todo el almacenamiento se haya sellado, los túneles de transporte también serán sellados hasta la superficie para evitar la posibilidad de acceso futuro. Una vez hecho esto, el almacenamiento no necesitará ninguna vigilancia posterior.

Por último, completan el sistema de protección una serie de medidas administrativas consistentes en el establecimiento de un conjunto de controles legales y normativos durante todo el proceso de gestión (selección del emplazamiento, diseño, construcción, operación, cierre y clausura) y la garantía de continuidad en el tiempo de esos controles.

Los Desechos Radiactivos pueden ser clasificados según su estado físico en sólidos, líquidos o gaseosos. A su vez, los sólidos en compresibles o no compresibles y combustibles o no combustibles, cabe señalar que estas categorías no se excluyen mutuamente. Por otro lado los líquidos pueden subdividirse en acuosos y orgánicos. Siguiendo esta clasificación en el presente trabajo se describirán las etapas de gestión y métodos empleados para manejar los Desechos Radiactivos sólidos, líquidos y conjuntamente se plantearán las estrategia para la localización y gestión de Fuentes Selladas en Desuso.

- **Desechos Radiactivos Sólidos.**

Los Desechos Radiactivos sólidos generados en las actividades médicas, industriales, de investigación son predominantemente combustibles y también pueden catalogarse como compresibles, siempre que no haya riesgo biológico.

Este grupo incluye tejidos, torundas, papel, cartón, plásticos, ropa de protección, máscaras, bolsas de plástico, guantes de goma, cubre zapatos, trapos de limpieza, toallas, cadáveres de animales y material biológico. Gran parte de este material está sólo ligeramente contaminado.

Entre los desechos no combustibles figuran utensilios de vidrio, chatarra y desechos procedentes de la clausura de instalaciones en que se usaron radio nucleídos.

En este mismo orden de ideas, es posible que el material mencionado, no presente una contaminación medible, pero se debe clasificar en principio, como desecho radiactivo por la simple razón de haber estado en zona controlada. Tal vez sea posible liberarlo del control y eliminarlo del control como desecho industrial. Sin embargo, algunos componentes pueden estar considerablemente contaminados, en particular si han sido afectados directamente por procesos o experimentos realizados con fuentes radiactivas no selladas de alta actividad.

Es importante acotar que los cadáveres de animales presentan concentraciones de actividad que varían con la especie del animal y los procedimientos experimentales. Los cadáveres pueden causar riesgos biológicos y químico, sí se permite su descomposición en grados significativo antes de la disposición final. Los cadáveres con radioisótopos de periodo largo requieren de una consideración particularmente minuciosa, especialmente cuando no sea posible la incineración como opción de disposición final.

En la figura 1 que se presenta a continuación, se señalan las diferentes operaciones que se llevan a cabo para la Gestión de Desechos Radiactivos Sólidos; el cual será explicado seguidamente:

DIAGRAMA DE OPERACIONES PARA LA GESTIÓN DE DESECHOS
RADIATIVOS SÓLIDOS.

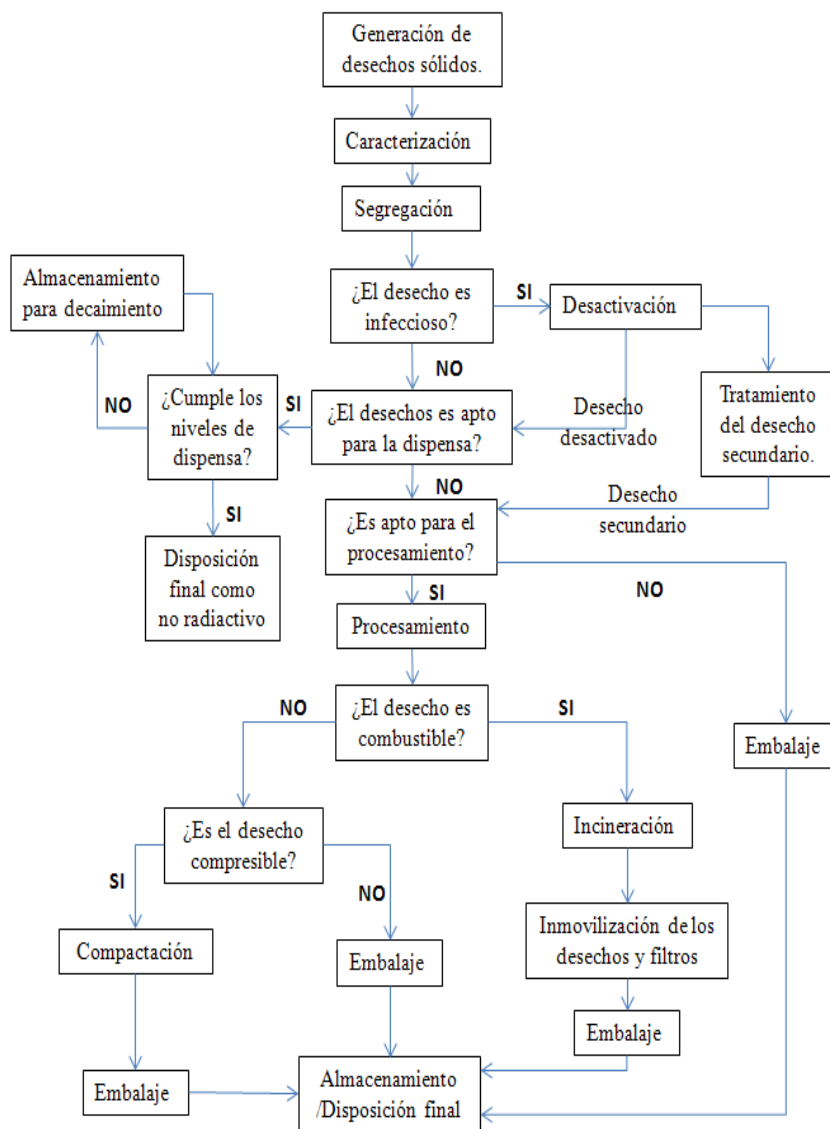


Figura. 1. Diagrama de operaciones que representa las etapas de la gestión de desechos sólidos.

El diagrama de la Figura 1 se creó a partir de un diagrama de gestión de desechos radiactivos biológicos y otro diagrama de gestión de desechos radiactivos sólidos compactables y no compactables, incinerables y no incinerables (OIEA, 2006). El objetivo principal de crear éste nuevo diagrama es poder observar la gestión de forma general para cualquier tipo de sólido.

De acuerdo al Diagrama de la Figura 1, la primera operación del tratamiento previo de Desechos Radiactivos Sólidos consiste en recolectar y caracterizar los materiales radiactivos de desechos, segregándolos según proceda en función de sus propiedades radiológicas, químicas y patógenas.

Los Desechos Radiactivos Sólidos de origen biológicos se debe determinar si son infecciosos en caso de que la respuesta sea No se debe considerar si son aptos para la dispensa si la respuesta es Sí se deben medir los niveles de radiactividad sí están por debajo de los niveles establecidos por la norma se gestionan como desechos no radiactivos si no cumple con los niveles de dispensa son almacenados hasta de decaiga su radiactividad. Si son infecciosos se debe aplicar algún tratamiento para eliminar los agentes infecciosos, de dicho tratamiento se generan dos tipos de desechos una con parte de los desechos desactivados a los cuales se verifica si son aptos para la dispensa y otra parte con desechos secundarios y se verifica si son aptos para el procesamiento y si no es posible aplicar un tratamiento se acondicionan y se almacenan posteriormente.

En atención a lo dispuesto en el Diagrama anterior; los Desechos Radiactivos de naturaleza biológica deben gestionarse teniendo en cuenta los riesgos radiológicos y no radiológicos que compartan (biológicos y/o infecciosos; riesgos físicos y químicos de inflamación y/o explosión).

En el caso de los Desechos Radiactivos biológicos infecciosos procedentes de aplicaciones médicas o generados en situaciones accidentales, debería llevarse a cabo un pre-tratamiento para eliminar todos los agentes infecciosos antes de almacenar y/o eliminar los desechos.

Las prácticas de gestión de Desechos Radiactivos no son por lo general adecuadas o suficientes para el control de los riesgos biológicos debido a que los métodos empleados para la desinfección no eliminan el total de las bacterias y estas suelen reproducirse con facilidad. Al mismo tiempo, los desechos biológicos radiactivos no siempre pueden ser tratados con los mismos métodos que los desechos biológicos no radiactivos.

Adicionalmente, existen una serie de opciones para el procesamiento de Desechos Radiactivos biológicos, que consisten en la esterilización por vapor, la

desinfección química, el tratamiento con calor seco y la esterilización por irradiación.

Para destruir las materias orgánicas y los microorganismos presentes en los desechos se utilizan principalmente medios térmicos como la incineración, el autoclave a vapor, el tratamiento con microondas y el calor seco. Los procesos químicos se aplican para la descontaminación de desechos biológicos por desinfección.

Continuando con el análisis del diagrama anterior es importante señalar, que los Desechos Radiactivos Sólidos que contengan predominantemente radio nucleídos con período de semi-desintegración breve no deberían mezclarse con desechos con períodos de semi-desintegración largos. Al segregar los Desechos Radiactivos Sólidos también se debe tener presente si se puede suprimir del control reglamentario de los desechos o si éstos pueden ser reciclados o descargados, ya fuere directamente o bien después de un período de desintegración.

Al respecto, los criterios de segregación de residuos sólidos están condicionados principalmente por el alto costo de almacenamiento definitivo, por lo que es importante reducir la cantidad de residuos a almacenar. Por ello, se separan del resto los residuos que se pueden tratar fácilmente por técnicas de reducción de volumen. En general, los residuos sólidos de baja y media actividad se agrupan en:

- Compactables (papel, tela, vidrios, cables, láminas metálicas, entre otros).
- No compactables (metales, hormigones, entre otros).
- Incinerables (orgánicos, biológicos, entre otros).

Dentro de cada uno de estos grupos, se separan los residuos de mayor actividad de los de menor actividad.

El tratamiento de los Desechos Radiactivos Sólidos responde a los procesos de Compactación e Incineración. El primer proceso, responde a la incineración, la cual se emplea en el tratamiento de residuos sólidos, orgánicos y biológicos, siendo apta también para líquidos combustibles, en la que se produce una considerable reducción en el volumen y peso de los residuos. Aquí, se utilizan sistemas de doble cámara de combustión, seguido del tratamiento de gases

adecuado para evitar el riesgo que representa la dispersión de los aerosoles generados.

El segundo proceso, se concentra, mediante medios mecánicos, toda la actividad en un volumen menor y no se origina ninguna fracción descontaminada como en otros procesos de tratamiento. Existe adicionalmente, una precompactación, que consiste en introducir los residuos en el propio contenedor que se va a usar para su transporte y almacenamiento y prensarlos en el propio contenedor. El espacio libre conseguido al prensar, se rellena con nuevos residuos hasta que por sucesivas operaciones se completa el contenedor. Esta técnica tiene el inconveniente de que al cesar la fuerza de compresión, el residuo se expande recuperando parcialmente el volumen inicial, salvo que se recurra a artificios de fijación (discos, tirantes, etc.).

El problema de la expansión se soluciona en los sistemas de compactación de gran potencia en los que los residuos se compactan con los propios bidones de recogida. Luego del prensado, se obtienen unas “pastillas” con la suficiente resistencia mecánica como para evitar la expansión. Posteriormente, estas pastillas se introducen en un contenedor de mayor tamaño y se inmovilizan con cemento.

Posteriormente, los Desechos Radiactivos Sólidos son inmovilizados y confinados. Las fracciones sólidas de pequeño tamaño suelen englobarse en una matriz de mayor volumen, mediante su inmovilización con aglomerante hidráulico o asfalto. Es en el proceso de incineración, donde se producen cenizas que son descargadas directamente en bidones, donde son inmovilizadas. Entonces, las “pastillas” procedentes de la compactación de los residuos sólidos se introducen en un contenedor de mayor tamaño y se inmovilizan con cemento.

- **Desechos Radiactivos líquidos.**

Los Desechos Radiactivos líquidos se pueden clasificar en Orgánicos y Acuosa.

- **Desechos Radiactivos Acuosa.**

En las instalaciones de producción de radioisótopos, los desechos acuosos son el resultado del tratamiento químico, que consiste principalmente en un ataque con ácidos.

Los desechos, que son de pequeño volumen, están normalmente contaminados con impurezas de radioisótopos. Según los procesos químicos adoptados, los residuos acuosos pueden ser químicamente muy reactivos.

En los Hospitales, los tipos de desechos acuosos dependen de las técnicas utilizadas en medicina nuclear terapéutica y de diagnóstico. La mayoría de los radioisótopos usados con fines diagnósticos son de periodo muy corto (período de semi-desintegración inferior a 10 días).

Los estudios de las vías metabólicas pueden comprender animales de laboratorio. Éstos pueden utilizarse en distintas etapas del trabajo, dando lugar a excreciones, sangre, cadáveres y mullidos de camas radiactivos. Algunas de estas materias pueden pasar a formar parte de la corriente de desechos acuosos, creando así un riesgo doble biológico más radiológico.

Los desechos acuosos se originan también en análisis radioquímicos por activación neutrónica. La composición química de estos desechos puede ser sumamente variable pero los radioisótopos son a menudo de periodo relativamente cortos. En los pequeños centros de investigación nuclear, los desechos líquidos pueden estar contaminados tanto con radioisótopos de periodo corto como con radioisótopos de periodo largo como el ^{14}C y el tritio (^3H).

- **Desechos Radiactivos Líquidos Orgánicos.**

Los Desechos Radiactivos Líquidos Orgánicos consisten por lo general en aceites de bombas de vacío, aceites lubricantes y fluidos hidráulicos, soluciones de centelleo de laboratorios analíticos, solventes procedentes de la investigación sobre extracción por solventes y refinado de uranio, así como diversos solventes orgánicos.

La mayoría de los desechos de este tipo proviene de trabajos en centros de investigación nuclear. Según sea su origen, los desechos contienen cantidades relativamente pequeñas de radio nucleídos emisores beta y gamma. El volumen de

los desechos líquidos orgánicos producidos a consecuencia de las aplicaciones nucleares de radio nucleídos es en general pequeño comparado con el de los Desechos Radiactivos de otras clases.

Los líquidos orgánicos de centelleo son normalmente resultado de mediciones de emisores de baja energía beta y gamma en materiales consistentes en compuestos orgánicos aromáticos y la muestra que se investiga.

Los radio nucleídos más comunes contenidos en los desechos son el tritio (^3H) y el ^{14}C , siendo menos corrientes el ^{125}I y el ^{35}S . En distintas operaciones pueden producirse una serie de solventes orgánicos no miscibles en agua, entre ellos tetracloruro de carbono, tricloroetano y percloroetileno. Cuando se utilizan pequeñas cantidades de solventes orgánicos miscibles en agua (como la acetona o el alcohol), se tratan normalmente como si fueran desechos acuosos.

En la Figura 2 se señalan las diferentes operaciones que se llevan a cabo para la Gestión de Desechos Radiactivos líquidos; el cual será explicado seguidamente.

DIAGRAMA DE OPERACIONES PARA LA GESTIÓN DE DESECHOS
RADIATIVOS LÍQUIDOS.

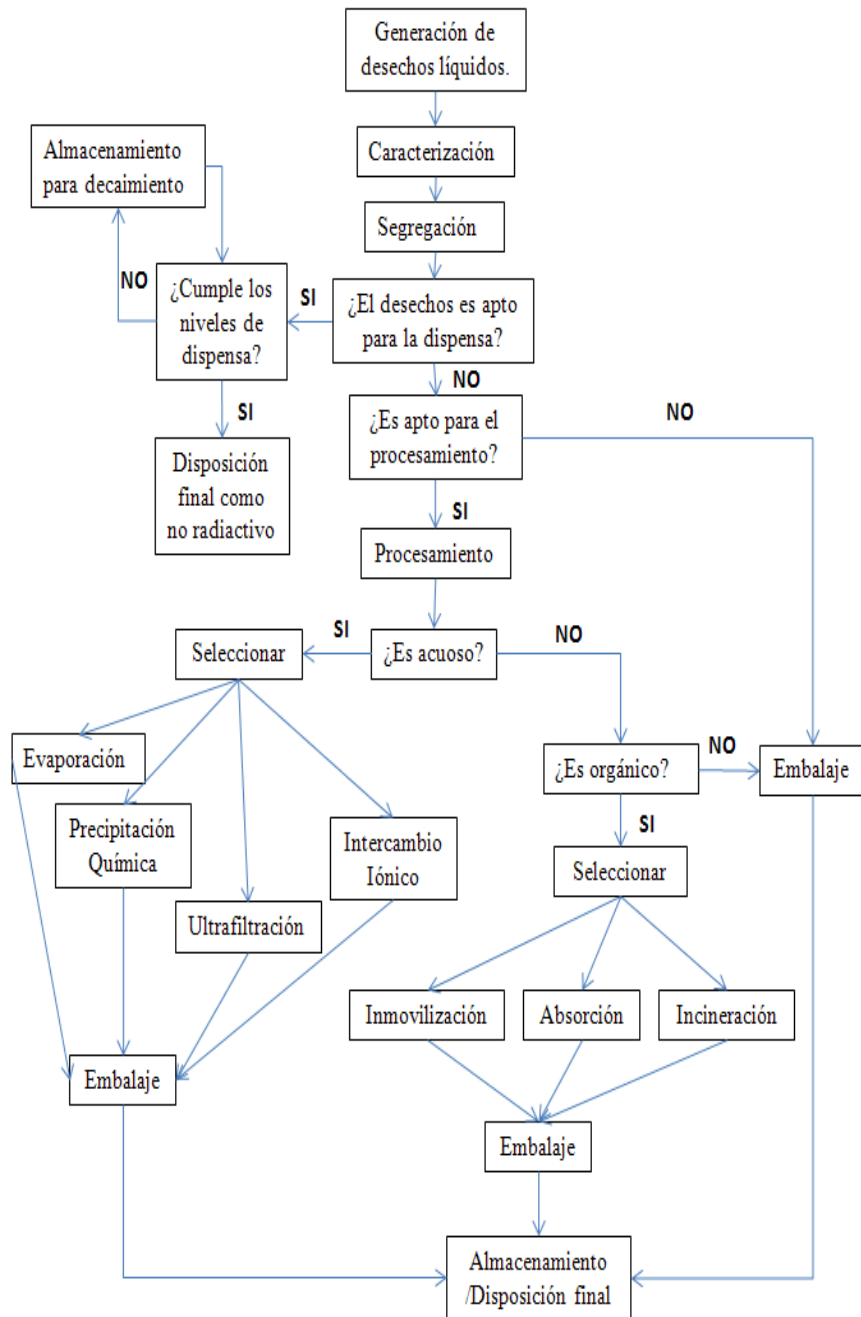


Figura. 2. Diagrama de operaciones que representa las etapas de la gestión de desechos líquidos.

El diagrama de la Figura 2 fue creado a partir de un análisis interpretativo de la Figura 1 pero en este caso la gestión se aplicó a los desechos radiactivos líquidos y al igual que el diagrama de la Figura 1 la primera operación del tratamiento previo de Desechos Radiactivos Líquidos consiste en recolectar y caracterizar los materiales radiactivos de desechos, segregándolos según proceda en función de sus propiedades radiológicas y químicas.

El tratamiento de los líquidos depende también del pH y el contenido de partículas sólidas, sales y ácidos, y de la posibilidad y facilidad para su eliminación. Este proceso, debe llevarse a cabo conforme a los criterios derivados de la evaluación de la seguridad y ponerse en práctica con arreglo a instrucciones de funcionamiento oficialmente aprobadas. Es importante prever también la monitorización radiológica adecuada.

Por ejemplo, las disoluciones con diferentes propiedades químicas deberían almacenarse por separado si no es posible su descarga inmediata. Además hay que prevenir las reacciones químicas incontroladas que puedan producir calor, aerosoles o precipitados; ejemplo relacionado a este respecto es la necesidad de separar las disoluciones ácidas de las alcalinas ya que el cambio de pH o de las condiciones de reducción-oxidación podría dar lugar a la emisión de radioisótopos volátiles.

En general, la mezcla de corrientes heterogéneas de desechos (por ejemplo, acuoso y orgánico o desechos que contengan radioisótopo de período corto y período largo) debería evitarse a menos que se realice con un propósito específico (como la neutralización). De esta forma se minimizan la complejidad y los riesgos potenciales de las corrientes de desechos.

Para el tratamiento de las corrientes de Desechos Radiactivos acuosos y orgánicos se pueden aplicar diferentes procesos. Si se trata de pequeñas cantidades de desechos acuosos, el órgano regulador puede autorizar su descarga directa al sistema normal de alcantarillado o a la masa de agua receptora.

Con respecto a otros desechos acuosos se aplican procesos de precipitación química, evaporación, intercambio iónico y ultrafiltración. En caso de recurrir a la precipitación química, debería tenerse en cuenta la generación de desechos

secundarios, la posibilidad de crear corrientes de desechos heterogéneos y la necesidad de acondicionar después el precipitado activo.

En cuanto al proceso de evaporación, deberían considerarse los factores siguientes: la generación de desechos secundarios, la integridad del evaporador (respecto de su resistencia a la corrosión), el posible riesgo de incendio si están presentes materiales orgánicos volátiles.

Cuando se utiliza un proceso de intercambio iónico, los puntos que consideran son la generación de desechos secundarios que requieran acondicionamiento especial, la reactividad de las resinas con oxidantes poderosos (como el ácido nítrico fuerte), la degradación radiolítica de las resinas y el acondicionamiento especial para la resina gastada producida.

En el proceso de ultrafiltración es preciso considerar las fugas de los sistemas a alta presión, que posiblemente originen la dispersión fortuita de desechos líquidos, así como la consiguiente necesidad de acondicionamiento de los sólidos o lodos radiactivos.

En el caso de desechos orgánicos pueden aplicarse procesos de incineración (con excepción de los materiales de bajo punto de inflamación o materiales tóxicos volátiles), de inmovilización y de absorción. Cuando se adopte la incineración, deberían tenerse en cuenta, como mínimo, las posibles repercusiones en el medio ambiente de los gases y materias en forma de partículas, así como los componentes radiactivos y no radiactivos.

Del mismo modo, debería considerarse la necesidad de reducir al mínimo la generación de materia radiactiva en suspensión en el aire en el interior de la instalación en la que los desechos se generen, sobre todo al manipular las cenizas, así como la gestión posterior de las cenizas contaminadas. En cuanto a la inmovilización y los procesos de absorción, debería evaluarse la estabilidad a largo plazo de la forma final de los desechos.

- Fuentes de Radiación Selladas

Una fuente de radiación sellada es una pieza de equipo hecha por encargo, cuyo diseño se basa en los requisitos que plantea el uso para el que se ha previsto,

así como las medidas de seguridad pertinentes. Se dice que son selladas porque están encerradas dentro de una cápsula para la contención de los elementos radiactivos. Este encapsulamiento puede ser de dos capas, especialmente el destinado a las fuentes emisoras de rayos gamma, y suele fabricarse de acero inoxidable, aunque también pueden utilizarse otros materiales inertes como el platino y el titanio. Para las primeras fuentes de Radio-226 se utilizaron cápsulas hechas de oro, plata, latón e incluso vidrio.

De igual forma, es relevante hacer notar, que las fuentes de radiación modernas se fabrican según normas internacionalmente acordadas y específicas para los usos finales a que están destinadas. El material radiactivo en sí se halla en forma insoluble a fin de minimizar su dispersión (Por ejemplo, metal o cerámica).

Actualmente, las normas exigen que se prueben las fuentes para garantizar su hermeticidad. Normalmente estas fuentes pueden resistir condiciones ambientales adversas como la exposición al calor durante una incineración no intencional.

Las operaciones para gestionar Fuentes Selladas en Desuso; Se presentan en la Figura 3 y posteriormente se describen las mismas:

DIAGRAMA DE OPERACIONES PARA LA GESTIÓN DE FUENTES DE RADIACIÓN SELLADAS EN DESUSO

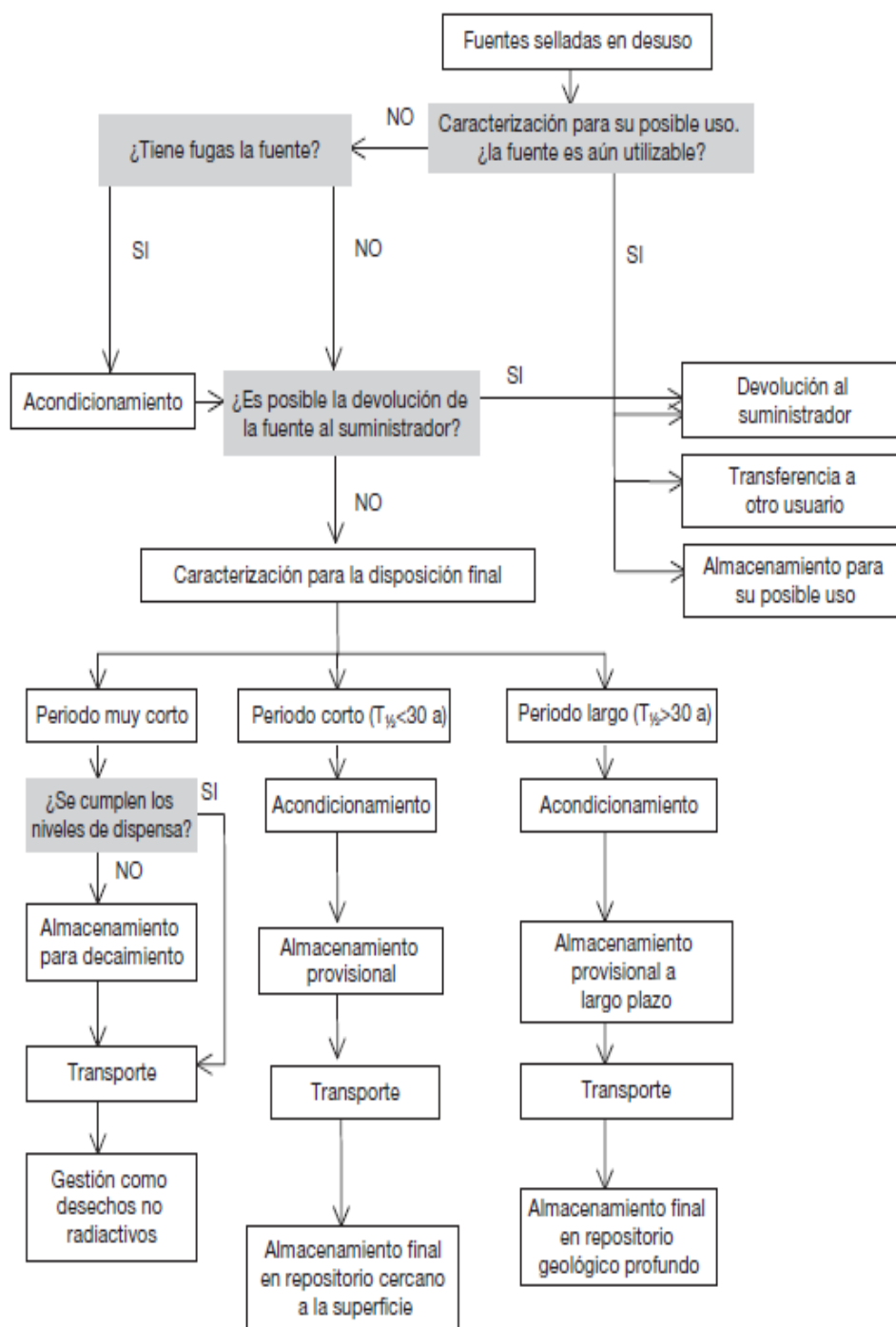


Figura. 3. Diagrama de operaciones de las etapas principales de la gestión de Fuentes Selladas en Desuso.

Fuente: OIEA No GS-G-3.1, (2006).

De acuerdo al diagrama de la Figura 3 la primera pregunta que se formula para gestionar una Fuentes Selladas en Desuso es si aún es reutilizable, si la respuesta es afirmativa se verifica cuál de estas acciones son más viables en primer lugar devolución al suministrador, en segundo lugar transferencia a otros usuarios y tercer lugar almacenamiento para su posible uso.

Si la fuente no es reutilizable, se verifica si tienen fugas si las posee se debe acondicionar, y confirmar si es posible su devolución al suministrador en caso de que no se pueda se debe caracterizar para su disposición final en función de su nivel de radiactividad, si son periodos de vida media muy cortos se corrobora si cumple con los niveles de dispensa si esto ocurre se gestionan como desechos no radiactivos en caso contrario se almacenan hasta que decaiga su nivel de actividad. Se debe enfatizar que en la actualidad se considera como una estrategia aceptada en la gestión el hecho de almacenar las Fuentes Selladas en Desuso en sus blindajes originales en vista de que en muchos casos, el embalaje y el blindaje de hormigón pueden presentar mayor volumen y además involucra exposiciones durante el trasvase.

Para periodos cortos (tiempo de vida media entre 5 y 30 años) y largos (mayores de 30 años) se deben acondicionar, transportar y almacenar en caso de los de periodo de cortos en repositorios cercanos a la superficie y en el caso de los de periodos largos en repositorios geológicos profundos.

A continuación se describirá un método que se debe utilizar para verificar que el inventario Nacional de Fuentes Selladas en Desuso esté completo.

En la Figura 4 se mostrará una estrategia para la identificación y localización de Fuentes de Radiación selladas, gastadas y en desuso para el caso de aquellos materiales que puedan encontrarse fuera del control del órgano regulador; la cual se describe inmediatamente:

ESTRATEGIA PARA LA IDENTIFICACIÓN Y LOCALIZACIÓN DE FUENTES DE RADIACIÓN SELLADAS GASTADAS Y/O EN DESUSO

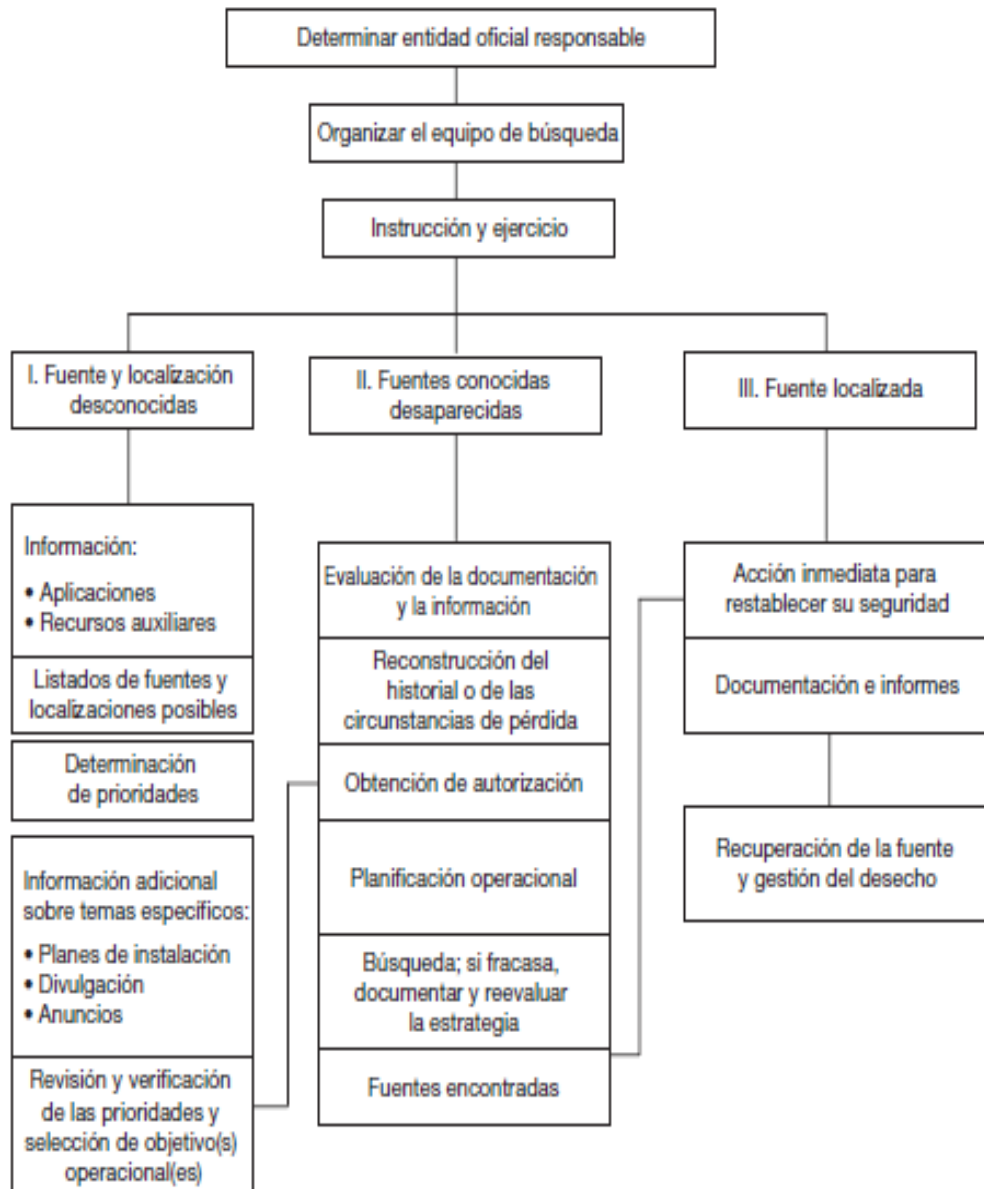


Figura. 4. Ejemplo de estrategia para la identificación y localización de fuentes radiactivas selladas gastadas y/o en desuso.

Fuente: OIEA No GS-G-3.1, (2006).

Según el diagrama anterior para identificar Fuentes Selladas en Desuso en primer lugar se debe determinar la entidad responsable en el caso de Venezuela es el Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica y el Ministerio del Poder Popular para la Salud.

En segundo lugar se debe organizar un equipo de búsqueda y dar las instrucciones de búsqueda.

Debe resaltarse que existen 3 formas en las que pueden estar las fuentes:

- a) Fuentes y localización desaparecidas
- b) Fuente conocida desaparecidas
- c) Fuente localizada

Para el primer caso se debe crear una lista de posibles fuentes y localizaciones tomando en cuenta el registro histórico de importaciones de materiales peligrosos y lugares donde ha existido aplicaciones nucleares.

Luego se debe establecer prioridades de acuerdo a los posibles daños que puede causar el tipo de fuente y seguidamente se recopila toda la información necesaria y se ejecutan planes de, divulgación y anuncio.

Para el segundo caso las fuentes conocidas desaparecidas, se debe evaluar la documentación (certificados de origen, permisos de importación) y la información para recuperar el historial o circunstancia de pérdida posteriormente se obtiene la autorización y se hace una planificación operacional de la búsqueda y en caso de que esto fracase se debe buscar más y reevaluar la estrategia.

En el tercer caso las fuentes localizadas se deben accionar inmediatamente para restablecer su seguridad y generar la documentación e informes respectivos para recuperar la fuente y comenzar su gestión.

Esta estrategia, parte de la clasificación de estas fuentes radiactivas, la cual deberá estar indicada por el fabricante en el certificado que debe acompañar cada fuente encapsulada, y, si fuera accesible, debería grabarse sobre la misma fuente encapsulada la identificación indicativa de la presencia de material radiactivo.

Los procedimientos de recuperación de una fuente fuera de control dependen fuertemente de la información disponible sobre la misma, haya sido o no habilitada para su uso en una instalación industrial. Debe tenerse en cuenta que si bien un accidente evoluciona a partir de una situación imprevista de carácter aleatorio, su curso no es de carácter estrictamente caótico sino que está fuertemente influenciado por la estructura social y tecnológica de la sociedad en que esto sucede.

Uno de los elementos determinantes para el éxito de la búsqueda es el manejo apropiado de la información tanto sobre el accidente en sí mismo como sobre los antecedentes del caso. La documentación disponible sobre la instalación, los documentos técnicos del equipo y su fuente, entre otros., configuran solo una parte de la información que es posible y resulta necesario obtener antes de iniciar las tareas de búsqueda. La selección del equipamiento necesario para la detección de la radiación proveniente de la fuente, permitirá delimitar adecuadamente el reticulado de búsqueda en la zona del accidente.

En relación al desarrollo del objetivo N° 1 se pudo describir de forma amplia como gestionar tanto los Desechos Radiactivos ya sean sólidos o líquidos así como las Fuentes Selladas en Desuso, esto permitió conocer a profundidad todas las variable utilizadas en el manejo de éstas sustancias y así poder revisar y analizar cómo se ajustan todos estos métodos al caso de Venezuela lo cual forma parte del desarrollo del siguiente objetivo.

Objetivo Específico N° 2: Describir las Metodología disponibles para la Gestión de Fuentes Selladas en Desuso y Desechos Radiactivos provenientes de los Sectores Industrial, Médico y de Investigación en la República Bolivariana de Venezuela.

Para describir las Metodologías disponibles para la Gestión de Fuentes Selladas y Desechos Radiactivos provenientes de los Sectores Industrial, Médico y de Investigación en la República Bolivariana de Venezuela se utilizará la Tabla 1, en la cual se evidencia de manera sencilla el planteamiento base del objetivo planteado:

Tabla 1.

Gestión de Fuentes Selladas en Desuso y Desechos Radiactivos en Venezuela.

Objetivo	Descripción	Aplicación	Método empleado en Venezuela
Tratamiento de Desechos Radiactivos Sólidos	Eliminación de agentes infecciosos. Disminuir el volumen de los desechos recibidos, poniéndolos en condiciones de ser manejados y almacenados de forma segura.	La industria, en medicina e investigación.	Dispensa, Compactación, Embalado y Almacenamiento
Tratamiento de Desechos Radiactivos Líquidos	Descarga inmediata. Envasado para ser manejados y almacenados de forma segura.	Investigación/ Medicina	Identificación, Segregación y Almacenaje
Almacenamiento definitivo de Fuentes Selladas en Desuso.	Tramitar su devolución al proveedor. Reparación y Resguardo del Blindaje original. Almacenamiento de forma segura.	La industria, en medicina e investigación.	Se utiliza sobre embalaje o reparación en el caso que esté dañado el empaque original, en la mayoría de los casos se coloca dentro de una barrera ingenieril de hormigón.

Gestión de Desechos Radiactivos Sólidos.

Los Desechos Radiactivos Sólidos son todos aquellos materiales que entraron en contacto con radio nucleídos pero la naturaleza de los materiales con que fueron constituidos originalmente no tienen actividad radiactiva ejemplo de ellos incluye tejidos, torundas, papel, cartón, plásticos, ropa de protección, máscaras, bolsas de plástico, guantes de goma, cubre zapatos, material de limpieza, toallas, cadáveres de animales y material biológico. Ese tipo de desechos son generados en zonas controladas donde hay exposición a fuentes abiertas tanto en la industria, la medicina oncológica y en la investigación. Gran parte de este material está sólo ligeramente contaminado. Sin embargo algunos Desechos Radiactivos Sólidos se pueden generar en situaciones accidentales donde fuentes de alta actividad entren en contacto con materiales sólidos, en Venezuela no existe información oficial sobre algún accidente con material radiactivo. Pero en el hipotético caso de que llegara a ocurrir se debe analizar su gestión utilizando el diagrama de la Figura 1 y es posible que ese material después de ser confinado sea almacenado de forma centralizada o dependiendo del volumen de material se deberá crear un almacén provisional para su almacenamiento exclusivo.

Ejemplos de gestión de Desechos Radiactivos Sólidos en Venezuela (guantes, inyectoras, ropa, entre otros) en el Hospital Oncológico “Dr. Luis Razetti” y en el “Hospital Universitario de Caracas” donde los Desechos Radiactivos Sólidos son almacenados en gavetas recubiertas con plomo (Anexos 1, 2, 3, 4) hasta que decaiga su radiactividad a niveles de dispensa. Esto se debe a que los radioisótopos utilizados en medicina para sus diversas aplicaciones no poseen un tiempo de vida-media mayor a 10 días y en la mayoría de los casos después de 72 horas se pueden tratar como material no radiactivo.

Otro ejemplo de Gestión de Desechos Radiactivos Sólidos en Venezuela es el caso del Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC). En dicho instituto se utiliza la compactación como la metodología empleada para gestionar este tipo de desechos; este método concentra, mediante medios mecánicos, toda la actividad en un volumen menor y no se origina ninguna fracción descontaminada

como en otros procesos de tratamiento. Se emplea este método porque se trabaja con el radioisótopo tritio (^3H) el cual posee un tiempo de vida-media de 12,3 años por lo tanto todo material que entre en contacto con esta fuente abierta necesitará reducir su volumen para ser almacenado por un tiempo relativamente largo.

El instituto posee una compactadora para la gestión Desechos Radiactivos Sólidos. El método se realiza dentro de las instalaciones sin mayor inconvenientes y además tanto el volumen como el nivel de radiación de los Desechos Radiactivos Sólidos generado es tan bajo que no necesitan ser centralizado (Yáñez, H. Conversación Personal, Febrero, 2013).

Los desechos sólidos son generados de manera regular con un propósito bien estudiado ya sea para aplicaciones médicas o proyectos de investigación sin embargo existen situaciones que se escapan de las manos y ocurren accidentes, eventos no previstos donde material entra en contacto con radioisótopos de alta actividad en esos caso se aplican métodos para su tratamiento y se recomienda en caso de que ocurriera un suceso de esta naturales una vez embalados y confinados deben ser centralizarlos en un almacén.

Gestión de Desechos Radiactivos líquidos.

Las instalaciones que generan Desechos Radiactivos líquidos en Venezuela son los hospitales y centros de investigación que trabajan con ^{14}C y el tritio (^3H) y estudios metabólicos con ^{45}Ca , ^{51}Cr , ^{59}Fe .

En los Hospitales, los tipos de desechos acuosos generados dependen de las técnicas utilizadas en medicina nuclear terapéutica y de diagnóstico. En hospitales como el Oncológico “Dr. Luis Razetti” y el “Universitario de Caracas” utilizan fuentes de Iodo 131 (Anexo 5), que son cápsulas que se toman de forma oral para el tratamiento de tiroides. También utilizan fuentes de Tecnecio 99 (Anexo 6) mezcladas con fármacos (Anexo 7), creando soluciones de radiofármacos dependiendo de la zona del cuerpo que se desea estudiar, se crean imágenes planares para el diagnóstico médico como por ejemplo: gamma grama Óseo, gamma grama tiroidea, perfusión miocárdica y perfusión cerebral. Además utilizan ^{89}Sr para tratamientos de dolores crónicos cuando el paciente tiene

metástasis, igualmente se utiliza ^{18}F para hacer exploración (PET/TC) Tomografía por Emisión de Positrones – Tomografía Computada (Silva, L. Conversación Personal Septiembre, 2013). Los Desechos Radiactivos se presentan en forma líquida como excreciones, orina, sangre, entre otros. Las personas que son tratadas con estos radioisótopo tienen un baño especial independiente (Anexo 15) pero los Desechos Radiactivos caen al drenaje igual que los demás lo cual es adecuado porque son radioisótopos de actividad baja (Rosario, J. Conversación Personal, Marzo, 2013)

En centros de investigación los Desechos Radiactivos Líquidos, son de pequeño volumen, están normalmente contaminados con impurezas de radioisótopos. Según los procesos químicos adoptados, los residuos acuosos pueden ser químicamente muy reactivos. Tienen aplicaciones en el control de la depuración de aguas residuales y el estudio del comportamiento de los emplazamientos de los vertederos de basuras, el movimiento de las aguas subterráneas y la dispersión y dilución de aguas de enfriamiento o de los efluentes gaseosos. En la mayoría de los casos se utilizan trazadores radiactivos de periodo corto.

Los estudios de las vías metabólicas pueden comprender animales de laboratorio. Éstos pueden utilizarse en distintas etapas del trabajo, dando lugar a excreciones, sangre, cadáveres y mullidos de camas radiactivos.

Los volúmenes de éste tipo de desechos son pequeños a niveles de trazas y su nivel de actividad muy bajo por eso para su control se emplea la identificación, segregación y almacenamiento hasta que decaiga su radiactividad hasta niveles de dispensa (Yáñez, H. Conversación Personal, Febrero, 2013).

En la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela se utiliza tritio (^3H) como marcador o trazador del agua que se inyecta en pozos petroleros para estudiar su trayectoria, para ello preparan soluciones con líquido de centelleo (Anexo 16 y 17) y se colocan la muestra de estudio en el analizador de centelleo líquido (Anexo 18) Marca: Packard y Modelo: TRIC-CARB 2900 TR. El tritio en el momento de comprarlo viene en un recipiente pequeño (Anexo 19) y se encuentra en un recipiente plástico dentro de otro recipiente plástico y en medio de los recipientes un material absorbente. Después que se prepara la

solución y se hacen las mediciones con el analizador de centelleo líquido, la muestra es almacenada para su decaimiento. En la Facultad también se han desarrollado otros estudios con radioisótopos como el Tecnecio-99 el cual se utilizó como trazador para marcar lodos en suspensión en el río Orinoco, para hacer el estudio se utilizan dos embarcaciones en una se marca el limo (partícula muy fina que se mantiene en suspensión) con Tecnecio-99 y se lanza al río y con la otra embarcación se sigue el trazador lo cual permite determinar la velocidad del flujo y la trayectoria de río (Landaeta, G. Conversación Personal, Septiembre, 2013).

Al indagar en los centros de investigación, centros de salud y en algunas industrias ya sea a través de visitas, entrevistas o registros oficiales de Desechos Radiactivos se pudo observar que tanto los Desechos Radiactivos sólidos o líquidos generados de manera regular y planificada no necesitan ser centralizados ya que en los centros donde son generados pueden ser gestionados cumpliendo con todos los estándares y normas de seguridad, el principal motivo de ésta situación es que los tiempos de decaimiento de estos materiales son tan cortos y el nivel de radiactividad es tan bajo, que con almacenamiento de periodo corto pueden estar listos para la liberación del control regulador o dispensa (Pérez, E. Conversación Personal, Marzo, 2013).

Durante el desarrollo de este trabajo de investigación se ha expuesto la importancia del uso radioisótopos con fines pacíficos, en la Tabla 2 se mostrará los isotopos empleados en los Sectores Médico y de Investigación en la República Bolivariana de Venezuela con su respectivo tiempo de vida media y aplicaciones.

Tabla 2.
Radioisótopos utilizados en Venezuela.

Radioisótopo	Tiempo de Vida Media.	Tipo de energía que emite.	Aplicación	Actividad típica por aplicación
³ H	12,3 años	Beta	Marcaje Radiactivo. Investigaciones biológicas. Síntesis orgánicas.	Hasta 50 GBq
¹⁴ C	5730 años	Beta	Diagnóstico médico. Investigación biológica Marcaje.	Menos de 1Mbq Hasta 50 Gbq Hasta 50 Gbq
⁴⁵ Ca	163 días	Beta	Investigación biológica	Hasta 100 MBq
⁵¹ Cr	27,7 días	Beta	Medicina nuclear diagnóstica. Investigación biológica	Hasta 5 MBq Hasta 100 MBq
⁵⁹ Fe	44,51 días	Beta	Medicina nuclear diagnóstica. Investigación biológica	Hasta 50 MBq
¹²⁵ I	59 día	Beta	Investigación médica y biológica. Medicina nuclear diagnóstica	Hasta 500 MBq
^{99m} Tc	6 horas	Beta	Medicina nuclear diagnóstica. Investigación biológica. Generadores de radioisótopos.	Hasta 100 GBq
²⁰¹ Tl	73 horas	Gamma	Trazador diagnóstico para el corazón	Hasta 200 MBq
¹³¹ I	8días	Beta	Medicina nuclear terapéutica	Hasta 11 GBq
³² P	14,3 días	Beta	Medicina nuclear terapéutica.	Hasta 200 MBq
¹⁸ F	18 min	Beta	Tomografía por emisión de positrones	Hasta 500 MBq

En el Tabla 2 se puede observar que los 5 primeros isotopos son utilizados en la investigación (Roche, 1999). En el caso de los Desechos Radiactivos generados con tritio (H^3) la gestión involucra varias etapas: segregación, tratamiento, acondicionamiento y almacenamiento temporal o definitivo. Entre los métodos de tratamiento no destructivos que han sido utilizados para contener este tipo de desechos, se encuentra la absorción en arcillas, polímeros o cementos, que tienen la función de contener y/o solidificar los desechos líquidos. Es importante considerar que estos tratamientos deben ser reversibles, para poder recuperar los desechos, en caso de que las matrices modifiquen sus propiedades debido a la radiación o por un cambio de normativa. Se gestiona colocando los desechos en

un recipiente hermético con material absorbente aun cuando el periodo de vida media es de 12,3 años los volúmenes son pequeños y pueden ser gestionados donde se genere. Las investigaciones que se realizan con Carbono 14 o ^{14}C consisten en identificar el ^{14}C que se encuentra naturalmente en algunos materiales, durante la investigación algunos objetos son contaminados y son considerados Desechos Radiactivos Sólidos y gestionado dentro de la misma instalación.

Con respecto al ^{45}Ca el periodo de vida media es corto de sólo 163 días y como es inyectado a animales ovinos no representa mayor riesgo para la salud, los Desechos Radiactivos Sólidos generados como por ejemplo inyectadoras y torunda son almacenadas hasta llegar a niveles de dispensa.

El ^{59}Fe y ^{51}Cr son utilizados para hacer estudios metabólicos sobre la hemoglobina y estudios sobre infecciones intestinales, los tiempos de vida media son cortos y su gestión es por almacenamiento para dispensa.

Existe una amplia gama de investigaciones donde se puede usar radioisótopos ya que está sujeto a la creatividad del investigador y los recursos que disponga para llevar a cabo su investigación. Siempre y cuando cumpla con el principio de la Justificación. Sin embargo por el hecho de que una investigación es planificada la persona que la realiza siempre va a buscar la manera de trabajar con radioisótopos de vida media y un nivel de actividad bajo lo que permita controlar de manera eficiente los desechos que puedan originarse.

El resto de isotopos mostrados en la Tabla 2 como: ^{125}I , ^{131}I , ^{32}P , $^{99\text{m}}\text{Tc}$, $^{99\text{m}}\text{Mo}$, ^{201}Tl , ^{67}Ga son de aplicaciones médicas y con un tiempo de vida media corto y diseñados especialmente para ser usados en seres humanos por lo cual los riesgos radiológicos no son altos.

Después del análisis de los isotopos mostrados en la Tabla 2 los cuales generan Desechos Radiactivos se puede ratificar que los Desechos Radiactivos producidos con regularidad y de forma planificada pueden ser gestionados dentro de la instalación donde se generan y no necesitan ser centralizados. Es importante resaltar que para los Desechos Radiactivos generados en situaciones accidentales y contaminados con radioisótopos de vida media-larga se recomienda tratarlos, embalarlos y almacenarlos de forma centralizada.

Para describir las Fuentes Selladas en Desuso generados en los Sectores Industrial, Médico y de Investigación en la República Bolivariana de Venezuela se utilizará la Tabla 3:

Tabla 3
Fuentes Selladas en Desuso existentes en Venezuela.

Isótopo	Tiempo de Vida Media.	Tipo de energía que emite.	Aplicación	Actividad de la Fuente
⁶⁰ Co	5,3 años	Beta/ Gamma	Braquiterapia manual. Teleterapia. Esterilización Radiografía industrial Instrumentación y control	50–1500 MBq 50–1000 TBq Hasta 40 PBq Hasta 15 TBq Hasta 400 MBq
¹³⁷ Cs	30,23 años	Beta/ Gamma	Braquiterapia manual. Carga diferida remota Braquiterapia. Teleterapia. Instrumentación y control	30–300 MBq 0,03–10 MBq 500 TBq <4MBq
¹⁹² Ir	73,83 días	Beta/ Gamma	Braquiterapia manual Carga diferida remota de Braquiterapia. Radiografía industrial	200–1500 MBq 200 TBq Hasta 5 TBq
²²⁶ Ra	1602 años	Alfa	Braquiterapia manual (Uso suspendido)	50–500 MBq
²⁴¹ Am:Be	432,2 años	Alfa	Perfiles de pozos petroleros y detectores de humo.	1–10 GBq
²⁴¹ Am	432,2 años	Alfa	Densitometría Ósea Calibradores, Prospección petrolera, Detectores de humo y Pararrayos.	1–10 GBq
²⁵² Cf	2,65 años	Neutrones	Perfiles de pozos petroleros, radiografía con neutrones y detectores de humedad.	Hasta 10 GBq
⁸⁵ Kr	10,7 años	Beta	Medidores de peso para base de papel, Calibradores y Pararrayos.	Hasta 100 GBq
⁹⁰ Sr	28,8 años	Beta	Medidor de densidad, Estaciones meteorológicas remotas.	Hasta 10 GBq

Gestión de Fuentes Selladas.

Por el tipo de aplicaciones en medicina, industria e investigación desarrolladas en Venezuela, gran parte de la gestión se concentrará en las Fuentes Selladas en Desuso, existen principalmente 9 fuentes de mayor uso en Venezuela las cuales son descritas en la Tabla 3.

En la medicina son utilizadas las fuentes de ^{60}Co y ^{137}Cs para tratamientos de radio terapia e ^{192}Ir para braquiterapia, el ^{226}Ra fue utilizado para radioterapia y aun cuando hoy en día ya no se usa todavía quedan algunas fuentes que deben ser gestionadas.

En la investigación por ejemplo el ^{60}Co es utilizado en la planta Pegamma que se encuentra en el IVIC la cual se utiliza para la esterilización de material quirúrgico y alimentos deshidratados. Y en el Laboratorio de Magnetismo del Centro de Física Experimental del Sólido en la Facultad de Ciencia de la Universidad Central de Venezuela se utilizan fuentes de ^{57}Co (Anexo 20) para estudiar el efecto Mòssbager (Anexo 21) tiene un periodo de vida media de 272 días y decae a ^{57}Fe lo que permite hacer estudios sobre materiales de hierro con empresas como SIDOR y PDVSA (D'Onofrio, L. Conversación Personal, Septiembre, 2013).

Además en la Facultad de Ingeniería de la UCV se han desarrollado investigaciones con ^{60}Co para hacer perfilaje de torres de destilación en la Refinería El Palito con gamma scanner para determinar fallas en los platos, se hacía el barrido en la refinería y los datos se analizaban en el laboratorio (Landaeta, G. Conversación Personal, Septiembre, 2013).

Las fuentes radiactivas que se utilizan en la mayor parte de los usos industriales como por ejemplo medidores industriales fijos ó portátiles que son equipos que utilizan algunos radioisótopos como son: Americio-241 (^{241}Am), Americio-241: Berilio (^{241}Am : Be), Californio-252 (^{252}Cf), Cesio-137 (^{137}Cs), Cobalto-60 (^{60}Co), Kriptón-85 (^{85}Kr), Estroncio-90 (^{90}Sr) para comprobar la calidad de los productos y controlar el proceso de producción, el Nivel de Llenado (Anexos 27, 28, 29, 30, 31), Nivel de Espesor (Anexo 35, 36), para ver el Nivel de

Densidad (Anexo 32, 33, 34, 39), Humedad (Anexo 38, 40) y Concentración (Anexo 37), también evaluaciones de las Capas Asfálticas, así como la Compactación del Suelo.

A continuación se mostrarán las fuentes radiactivas más utilizadas en sensores electrónicos industriales.

Tabla 4
Radioisótopos más usados en Medidores Industriales Fijos y Portátiles.

Parámetro a medir	Radioisótopo
Grosor del Papel	^{85}Kr y ^{90}Sr
Espesor de la Capa Metálica	^{141}Am , ^{137}Cs y ^{60}Co
Densidad del Líquido	^{137}Cs
El Nivel de Líquido	^{137}Cs y ^{60}Co
Densidad del Suelo	^{137}Cs y ^{90}Sr
La Humedad del Suelo	^{141}Am -Be, ^{252}Cf
Concentración de Cenizas de Carbón	^{137}Cs + ^{141}Am
Medidor de Flujo Multifásico	^{137}Cs + ^{141}Am

Fuente: OIEA (2005).

A continuación se mencionan algunas empresas que según las actividades que desarrollan pueden poseer sensores nucleónicos en condición de uso o desuso:

- Los indicadores utilizados para medir el grosor del papel se pueden encontrar en industrias venezolanas como: Invepal, Manpa, Cuadernos Caribe, Corem Pack, Ingepaca, Industria papelera andina, Smurtit Kappa, entre otros.
- Los indicadores para medir espesor de capa metálica son utilizados en empresas como C.V.G. Ferrominera Orinoco, CVG-Bauxilum, entre otras.
- Los medidores de densidad y nivel de líquidos son utilizados en empresas como: Pepsi-Cola Venezuela, Refrescos Dumbos, Sabores Golden, Ron Cacique, Ron de Venezuela, Ron Santa Teresa, Empresas Polar, entre otros.

- Los medidores de cenizas de carbón en plantas termoeléctricas y mejoradores de petróleo en la faja del Orinoco.
- Los medidores de Flujo se registran, en su mayoría por empresas que invierten en la producción de petróleo (PDVSA) ya que la medición es importante para el modelado y optimización de yacimientos.

En la Figura 5 se muestra las principales mediciones que se hacen con sensores nucleónicos a nivel mundial.

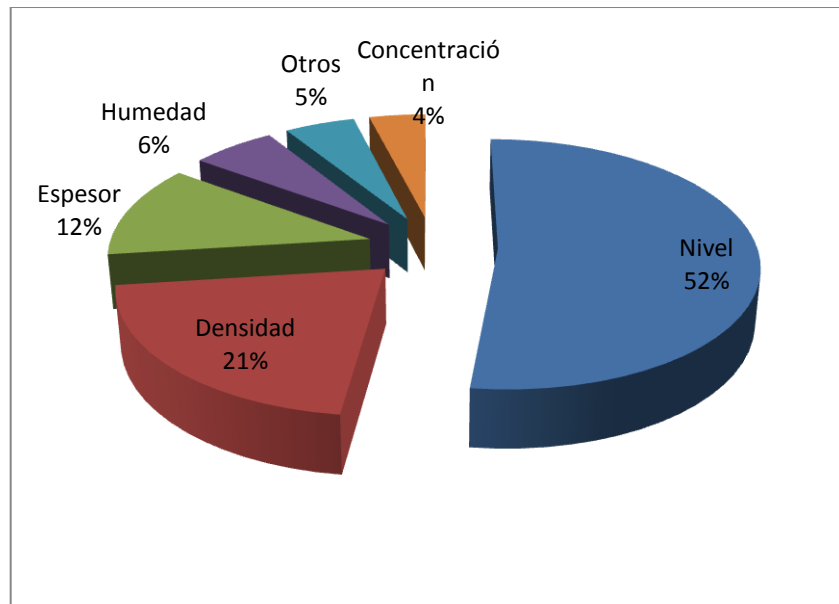


Figura. 5. Usos principales de los medidores nucleónicos a nivel mundial.

Fuente: OIEA (2005)

En la Figura 5 se puede observar la distribución en porcentajes en aplicaciones industriales de los medidores nucleónicos siendo la principal aplicación para medidores de nivel con un 52%. Debido a que las Fuentes empleadas para la fabricación de éste tipo de sensores son ^{60}Co y ^{137}Cs se puede inferir que éstas representan el número más significativo de Fuentes Selladas en Desuso en el país. Además las fuentes de ^{137}Cs son utilizadas en otras aplicaciones para medir densidad de líquidos y de suelo, espesor de capa metálica, flujos multifásico y concentración de cenizas de carbón, esto permite deducir que el mayor número de Fuentes Selladas en Desuso existente en Venezuela es de ^{137}Cs ,

ésta afirmación se puede verificar con el ejemplo del bunker de PDVSA San Tomé en donde de 13 Fuentes Selladas en Desuso existente 9 son de ^{137}Cs .

Otra aplicación utilizada en Venezuela es el **Perfilaje de pozos** con fuentes gamma y neutrónica: En esta aplicación se utilizan fuentes radiactivas encapsuladas de Cesio-137 (Emisor Beta/Gamma) y de Am-241: Be (Emisor Alfa), para determinar los perfiles de densidad, porosidad, y contenido de humedad o hidrocarburos en estructuras geológicas (Anexo 39, 41). Se trata de fuentes similares a las de los medidores de densidad y humedad de suelos pero de mayor actividad.

Se suelen almacenar las fuentes dentro de contenedores en un depósito blindado o en un foso, y se transportan dentro de contenedores a los sitios de trabajo (Anexo 42). Se trata de servicios de medición contratados durante una de las etapas del acondicionamiento de los pozos.

Durante la práctica se extrae la fuente de su blindaje, rápidamente se la coloca y ajusta en una herramienta especial que luego desciende al fondo del pozo para relevar los perfiles buscados. El operador guía seguidamente a dicha herramienta durante su ingreso a la boca del pozo, y la operación se repite en forma inversa una vez que se terminó de efectuar las mediciones.

Es importante mencionar **la Radiografía Industrial** fija ó portátil: Es un método, donde se aplica un sistema: Prueba no-destructiva, que permite verificar la integridad y la calidad de las soldaduras en calderas, tuberías, tanques metálicos, oleoductos, utilizando algunos radioisótopos como son Iridio-192 (^{192}Ir), Cobalto-60 (^{60}Co), los cuales emiten radiación gamma (Anexo 44).

Con respecto a la gestión de Fuentes Selladas en Desuso y Desechos Radiactivos en Venezuela en el Laboratorio de Magnetismo del Centro de Física Experimental del Sólido en la Facultad de Ciencia de la Universidad Central de Venezuela. Los Materiales Radiactivos no se desechan se pueden utilizar hasta 5 años después de adquirirlos y se guarda en un almacén (Anexo 22) luego de 10 años son actos para la dispensa. El consejo de Facultad de Ciencia nombró al Dr. Fernando Moutinho como oficial de Seguridad Radiológica y se están haciendo los trámites para incluir dentro del inventario nacional las Fuentes Selladas en

Desuso que se encuentran en la Facultad de Ciencias (D'Onofrio, L. Conversación Personal, Septiembre, 2013).

En el Hospital Oncológico “Dr. Luis Razetti” se encuentran 2 tipos de fuentes selladas.

Una fuente de ^{60}Co la cual se utiliza para radioterapia y tiene un tiempo de vida útil de 5 años, los directivos del hospital se hacen cargo de su gestión actualmente existe un cabezal en el hospital el cual se encuentra bajo bloques y concreto, según el licenciado José Rosario se hace una radiometría cada año para verificar que los niveles de radiación sean adecuado según lo que establece las normas.

Una fuente de Iridio 192 (^{192}Ir) es utilizada para braquiterapia a alta tasa de dosis, el tiempo de vida útil para trabajar con pacientes es de 4 meses. La gestión de la fuente está a cargo de la empresa Cardilma Radioma. La empresa trae la fuente la instala y luego de 4 meses la desinstala e instala una nueva y se encarga de su posterior gestión. (Rosario, J. Conversación Personal, Marzo, 2013)

En el “Hospital Universitario de Caracas” se encuentran 2 tipos de fuentes selladas.

Una fuente de ^{60}Co la cual se utiliza para Teleterapia y tiene un tiempo de vida útil de 5 años, su gestión está a cargo de la empresa Meditrón la cual se encarga de su repatriación. En la actualidad existen 2 fuentes de ^{60}Co la cual se encuentran en un cuarto bajo llave y se le hace una inspección cada 2 meses.

Al igual que en el Oncológico “Dr. Luis Razetti” utilizan una fuente de Iridio 192 (^{192}Ir) para braquiterapia a alta tasa de dosis y la gestión de la fuente está a cargo de la empresa Cardilma Radioma. (Farías, A. Conversación Personal, Septiembre, 2013).

Otro ejemplo de gestión en Venezuela es el de PDVSA San Tomé donde existe un bunker de almacenamiento de Fuentes Selladas en Desuso (Anexo 26), existen varias Fuentes en su mayoría de ^{137}Cs también están unas fuentes de ^{212}Ra y un medidor de densidad de ^{90}Sr , el Bunker es un almacén superficial de un área de construcción 28 m^2 (7mx4m) y con una cerca perimetral hecha con malla de metal como se puede observar en el anexo 26. Dentro del Bunker hay 2 fosas con 2m de largo 2m de profundidad y 1m de ancho y un estante con Fuentes Selladas

en Desuso de ^{137}Cs , el piso es de hormigón, el techo es de losa y no posee ventanas (Medina, L. Conversación Personal, Agosto, 2013).

Ahora bien los isotopos mostrados en la Tabla 3 se encuentran dentro de capsulas selladas y en el momento que cumplen su tiempo de vida útil se estudia su posible reutilización, en Venezuela esta opción no es viable porque no posee la infraestructura y por la limitaciones tecnológicas y técnicas para reutilizar las fuentes una opción más factible es la devolución al fabricante sin embargo de no ser posible esta iniciativa, son consideradas Fuentes Selladas en Desuso. Estas fuentes representan un pasivo en el país y se hace necesaria su centralización en un almacén que cumpla con las normas establecidas en las leyes.

Objetivo Específico N°3: Describir las instalaciones donde serán almacenadas las Fuentes Selladas en Desuso y Desechos Radiactivos provenientes de los Sectores Industrial, Médico y de Investigación en la República Bolivariana de Venezuela.

A continuación se presentarán los criterios de diseño para una instalación de almacenamiento en superficie requerida para centralizar las Fuentes Selladas en Desuso y Desechos Radiactivos de las cuales se han comentado en la investigación.

Después del análisis realizado durante el desarrollo de objetivo N° 2 se puede afirmar que los Desechos Radiactivos producidos con regularidad y de forma planificada pueden ser gestionados dentro de la instalación donde se generan y no necesitan ser centralizados. A excepción de los Desechos Radiactivos que puedan ser generados en situaciones accidentales y que se encuentren contaminados con radioisótopos de vida media-larga a los cuales se recomienda tratarlos, embalarlos y luego transportarlo a un almacén centralizado.

El hecho de que se generen de una forma planificada permite a los usuarios que manipulan radioisótopos buscar siempre la manera de que estos sean de vida media y nivel de actividad bajo lo que facilite controlar de forma eficiente los desechos que puedan originarse.

A través del desarrollo de la investigación y específicamente por medio de las entrevistas se pudo constatar que los volúmenes de los Desechos Radiactivos

generados en el país son limitados por lo tanto no se requieren de procesos complejos para tratarlos, ya que crear todo un proceso de tratamientos para casos puntuales no es económicamente recomendable.

Obviamente que para las Fuentes Selladas en Desuso se justifica su gestión ya que es gran parte del inventario se deduce por la cantidad de aplicaciones existentes en el país. Las Fuentes Selladas en Desuso son de vida media- larga por lo que requiere de largos períodos de aislamiento del ambiente.

Todos estos criterios forman parte de la conceptualización de una instalación planteada para almacenar Fuentes Selladas en Desuso y Desechos Radiactivos Sólidos. Dentro de la instalación no habrá algún tipo de proceso para el tratamiento de Desechos Radiactivos Sólidos (Compactación o Incineración). Y no se aceptarán Desechos Radiactivos líquidos o gaseoso.

El objetivo general de seguridad que promueve la creación de la instalación de almacenamiento superficial para Fuentes Selladas en Desuso y Desechos Radiactivos es la protección inmediata del público y el ambiente.

Ahora bien los criterios básicos de seguridad del almacén son el aislamiento de las Fuentes Selladas en Desuso y Desechos Radiactivos, la limitación de la actividad almacenada, la Recuperabilidad del Material Radiactivo, el sistema de almacenamiento basado en barreras múltiples, la primera barrera está representada por el encapsulado, la segunda barrera por el embalaje de la fuente y la tercera barrera la infraestructura del almacén superficial. Además que el emplazamiento debe ser un lugar de difícil acceso al público y con vigilancia constante.

Para la concepción de este tipo de instalaciones debe cumplirse una serie de etapas o fases las cuales se muestran a continuación:

- Planificación Inicial
- Selección y Caracterización del emplazamiento
- Completar el Inventario Nacional de Fuentes Selladas en Desuso

- Crear una estrategia para el transporte de Fuentes Selladas en Desuso hasta la unidad centralizada.
- Diseño (Ingeniería de Diseño)
- Revisión y aprobación del diseño por el órgano regulador
- Construcción y Montaje
- Puesta en marcha
- Operación (Control y Vigilancia)
- Clausura
- Libre uso

Se debe destacar que el desarrollo de objetivo 3 se basa principalmente en elaborar la ingeniería de diseño (Ingeniería Conceptual).

Para la planificación inicial se deben tomar en cuenta todas las fase que se desarrollarán y analizar cómo elaborar cada una de esas fase, en éste trabajo se investigación se plantearán algunas fases, comenzando con la selección del emplazamiento.

Para la selección del emplazamiento se deben realizar algunos estudios y los más importantes que se deben generar son el estudio geotécnico, estudio hidrogeológico y la descripción del entorno humano a continuación se muestran la información más significativas que deben arrojar esos estudios.

- **Estudio Geotécnico**

- Agrupación de las distintas litologías a efectos geotécnicos
- Profundidad del basamento rocoso
- Clasificación de las rocas en función de su calidad geomecánica
- Estudio de la estabilidad de los taludes
- Condiciones de cimentación
- Cargas admisibles por razones de hundimiento
- Cargas admisibles por razones de asentamiento

- **Estudio Hidrogeológico**
 - Aportaciones medias a las cuencas
 - Caudales de avenida
 - Profundidad y evolución con el tiempo de la capa freática (capa de agua subterránea).

- **Descripción del entorno humano**
 - Demografía: Evolución de la población
 - Industrias y vías de comunicación
 - Agricultura, ganadería, e industrias agroalimentarias
 - Ecología: Clima y vegetación
 - Salidas de agua subterránea
 - Transferencia por agua potable (Uso del agua).

Para **caracterizar el emplazamiento** se deberá generar documentos que describan la localización delimitando los límites de propiedad así como la ubicación de las estructuras de almacenamiento dentro del terreno, también deben describir la accesibilidad como las carreteras y poblaciones cercanas y por último hacer una descripción del relieve a través de planos topográficos a distintas escalas y equidistancias.

Una vez realizado los estudios se consultarán a los expertos en materia geológica y de estructura para determinar si el terreno es apto para construir las edificaciones.

Ahora bien se debe verificar que el inventario nacional de materiales sujetos a gestión en el país esté completo por esta razón se debe utilizar el diagrama de la Figura 4 como estrategia para la identificación y localización de Fuentes Selladas en Desuso no registrada en el inventario.

Luego se utilizará el diagrama de la Figura. 3 para seleccionar las fuentes que van a ser depositadas en el almacén con toda la documentación respectiva sobre el origen de cada fuente y clasificándola por el tipo de radiación que emiten: alfa, beta y gamma y por su período de semidesintegración: vida corta o vida larga.

Tomando como referencia la Tabla 3 en donde se muestra las Fuentes Selladas en Desuso más usadas en Venezuela de esa Tabla se puede resaltar las Fuentes Selladas en Desuso de ^{226}Ra con un periodo de vida larga (tiempo de vida media 1602 años) y emite una energía de desintegración alfa, en Venezuela se encuentran varias fuentes de este tipo debido a que se utilizaba en radioterapia estas fuentes formaran parte del almacén centralizado, otra fuente con periodo de vida largo (tiempo de vida media 432,2 años) y emisión alfa es el ^{241}Am y el $^{241}\text{Am:Be}$ ambas fuente son muy utilizadas en la industria petrolera y será gestionado en el almacén.

Las fuentes de ^{60}Co poseen un tiempo de vida media de 5,27 años y una emisión de energía beta/gamma también formará parte del almacén.

Las fuentes de ^{137}Ce poseen un tiempo de vida media de 30,23 años una emisión de energía beta/gamma y junto a las fuentes ^{60}Co son las fuentes más usadas en el país. El isótopo ^{137}Ce también formará parte del almacén.

Con respecto ^{192}Ir por poseer un periodo de vida media menor de 74 días y además de la existencia de los acuerdos contractuales para su devolución se descarta su almacenamiento dentro de la instalación.

Las fuentes de ^{252}Cf , ^{85}Kr y ^{90}Sr cumplen con las condiciones requeridas para ser gestionadas dentro del almacén.

Basados en los tipos de fuentes y sus características generales las Fuentes Selladas en Desuso que admitirá el almacén serán las siguientes: ^{60}Co , ^{137}Ce , ^{226}Ra , $^{241}\text{Am: Be}$, ^{241}Am , ^{252}Cf , ^{85}Kr y ^{90}Sr . Además de las Fuentes Selladas en Desuso mencionadas en el área de investigación existen otras Fuentes Selladas en Desuso como por ejemplo: ^{109}Cd , ^{55}Fe , entre otras que son candidatas a ser almacenadas de forma centralizada.

Es importante recalcar que en el país existe la posibilidad de encontrar pararrayos radiactivos instalados que requieran ser gestionados (Anexo 43), en vista de que contiene una superficie de 4 a 10 cm^2 de Americio- 241, para la manipulación de este tipo de fuente es necesario condiciones de trabajo que garantice las seguridad del personal que maneje los pararrayo para extraer el cabezal de ^{241}Am y gestionarlo de forma adecuada. Por tal motivo la instalación de gestión necesita poseer un laboratorio para manejar fuentes alfas.

Una vez definido el tipo de fuente que admitirá la instalación (criterios de aceptación) es significativo definir el **transporte de las fuentes hacia la instalación**.

Las características más importantes para tomar en cuenta en el transporte son el volumen de las fuentes selladas, límites de actividad y actividad de los radioisótopos para los bultos existentes y previstos.

Las Fuentes Selladas en Desuso pueden tener altas concentraciones de radioisótopos en muy pequeñas cantidades, una fuente sin blindaje suele ser una pequeña pieza de metal con dimensiones que van desde varios milímetros a centímetros (Anexo 23).

Sin embargo, las fuentes selladas, como irradiadores para radioterapia o esterilización, pueden ser grandes (Anexo 14, 25 y Figura. 8).

Para transportar las Fuentes Selladas en Desuso deben ser embaladas lo que se entiende como el conjunto de todos los componentes necesarios para alojar completamente el contenido radiactivo. En particular, puede consistir en uno o varios recipientes, materiales absorbentes, de amortiguamiento mecánico de golpes, de manipulación y fijación, y de aislamiento térmico, así como dispositivos inherentes del bulto. El embalaje puede consistir en una caja, bidón o recipiente similar, o puede ser también un contenedor.

Las características del embalaje dependerán del tipo de fuente y para la manipulación de la fuente todo el personal utilizara casco, lente, guantes y zapatos de seguridad, además de buzo tipo Nomex (Traje de protección).

Un ejemplo de esto se puede observar en la Figura. 6 donde se manipula una fuente de ^{60}Co que se utilizaba para Teleterapia. La fuente se está colocando en un empaque de hormigón para su posterior traslado a un almacén centralizado. Se debe enfatizar que un cabezal de ese tipo puede pesar cerca de 1,5 toneladas y ya el blindaje le confiere atenuación suficiente, usar un embalaje de hormigón puede ser innecesario.

En la Figura 6 se puede observar el empaque de hormigón de una Fuentes Selladas en Desuso para su traslado posterior.



Figura. 6. Fuente de ^{60}Co anteriormente utilizada para Radioterapia.

Fuente: OIEA (2009)

En las siguientes figuras se mostrarán los tipos de embalajes utilizados para el transporte de radioisótopos.

Fuentes gamma de alta energía



Figura. 7. Bulto exterior de fuente gamma de alta energía con bulto y vasija interior Blindada.

Fuente: OIEA (2009)

Fuentes gamma de alta energía



Figura. 8. Bulto exterior de fuente gamma de alta energía con bulto y vasija interior Blindada.

Fuente: OIEA (2009)

Bultos de sobre embalaje.



Figura .9. Ejemplos de bultos de sobre-envase del tipo A para la expedición de sondas gamma.

Fuente: OIEA (2009)

Proyector moderno típico de gammagrafía portátil.



Figura. 10. Ejemplo de embalaje para el transporte fuentes de Iridio-192 en uso.

Fuente: OIEA (2009)

En la Figuras 7 y 8 se pueden observar ejemplos de empaques para el transporte, estos están blindados por el alto nivel de actividad de los radioisótopos allí depositados en el caso de la Figura 9 no es necesario el blindaje sin embargo se empaquetan para una mejor manipulación de ellos mientras son transportados. Mientras que la fuente mostrada en la Figura 10 no necesita ser embalada para el transporte debido a que el empaque que utiliza para la aplicación a la que fue diseñada le permite ser transportado sin mayor inconveniente.

Luego de empaquetarlo para el traslado se colocan en un vehículo con su respectiva identificación y obediendo lo establecido en la **Norma Venezolana COVENIN 2026:1999. Transporte seguro de materiales radiactivos (1ra Revisión) 10/03/1999.**

A continuación se mostrará la fase del diseño o la ingeniería de diseño donde principalmente se destacan las obras civiles y sistemas eléctricos.

Alcance de los Trabajos de Obra Civil

Las obras civiles consisten en un conjunto de operaciones que permiten construir la instalación para almacenar las Fuentes Selladas en Desuso éstas se mencionan a continuación.

Excavaciones y movimientos de tierra, construcción de las estructuras de almacenamiento, diseño y cimentación de la red de drenaje de fondos, diseño y

construcción de redes sanitarias y pluviales, galerías de servicio (Tuberías, cables, entre otros), Contenedores de almacenamiento (áreas de almacén de alta dosis), Análisis de riesgo de incendios, suministro de aguas potable, protección contra incendios.

Alcance de los Trabajos para Diseñar los Sistemas Eléctricos.

El diseño de los sistemas eléctricos consiste en un conjunto de operaciones que permiten crear los planos unifilares de las instalaciones los cuales se mencionan a continuación.

Criterios generales eléctricos, cálculos de corto circuito, cálculos de dimensionamiento de sistemas equipos y componentes (alumbrado, toma de tierra, cables de potencia, baterías, entre otros.), canalizaciones eléctricas, alumbrado, red de tierras y pararrayos, especificación del sistema de vigilancia de la radiación, transformadores, armarios y cuadros de distribución, generador de combustible de apoyo, esquema de control, telefonía y alumbrado.

Para el almacenamiento de Fuentes Selladas en Desuso se requerirá de tres edificaciones con características diferentes dirigidas a gestionar las Fuentes Selladas en Desuso. Estas se mencionarán a continuación:

1. Un edificio administrativo donde se encuentran las oficinas.
2. Un edificio para la recepción, verificación de seguridad y acondicionamiento de las fuentes y además un laboratorio para manipular Fuentes Selladas en Desuso alfa (Posiblemente desmantelar pararrayos).
3. Un edificio para centralizar y almacenar las fuentes.

Para determinar que era necesario 3 edificaciones se partió de un diseño descrito en el documento del OIEA (1995) donde solo hay 2 edificaciones, en ese documento el área administrativa y el área de acondicionamiento están en la misma edificación, por criterio de seguridad y resguardo del personal se

determinó separar el área administrativa del área de acondicionamiento debido a que la zona de acondicionamiento es de alto riesgo y además la forma de acondicionar la fuente descrita en ese documento (OIEA, 1995) no se ajusta a la manera actual de gestionar Fuentes Selladas en Desuso.

En este trabajo de investigación se mantienen datos de referencia de OIEA (1995) como la dimensiones de las entradas o tamaños de las oficinas y baños. Sin embargo se fueron modificando algunos parámetros tratando de ajustarlo al contexto venezolano.

A continuación se muestra el plano general de los 3 edificios que formarán parte de la gestión de Fuentes Selladas en Desuso y Desechos Radiactivos.

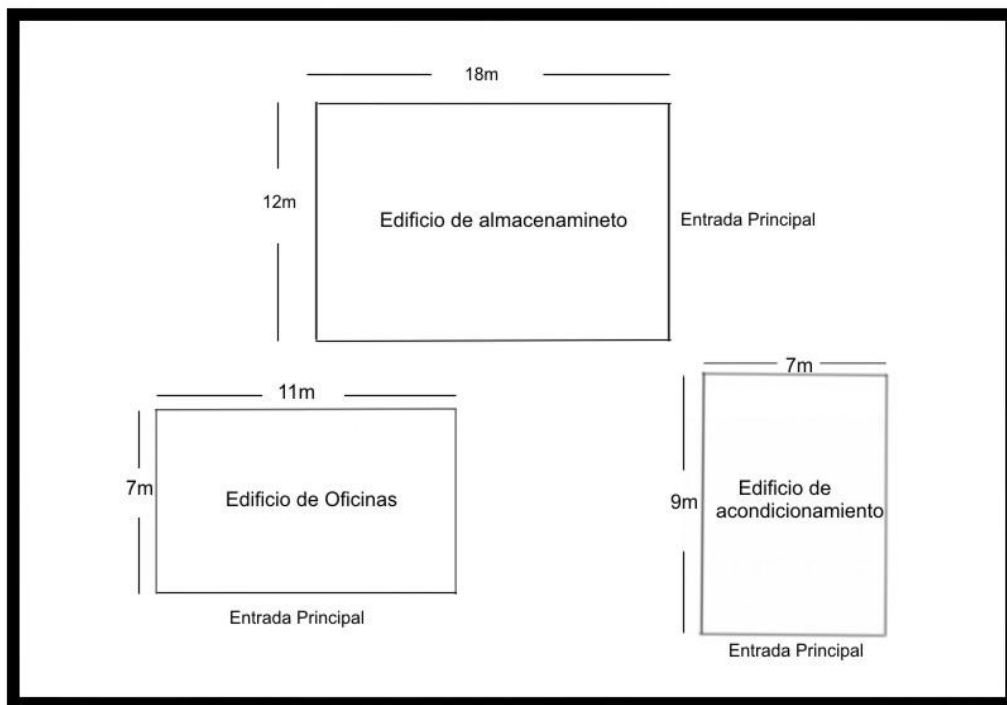


Figura. 11. Edificaciones que forman parte de la gestión de Fuentes Selladas en Desuso.

El edificio de oficinas tendrá un área de 77 m^2 , el edificio de acondicionamiento un área de 63 m^2 y el edificio de almacenamiento un área de 216 m^2 .

Para estimar el área del edificio de almacenamiento se consideró un aproximado de 900 Fuentes Selladas en Desuso (OIEA, 1995). Según las recomendaciones del OIEA existen 4 formas de almacenar las Fuentes Selladas en Desuso la primera opción es en bidones de 220 litros, la segunda en cestas metálicas de 1m^3 , la tercera en estantes metálicos y por último en el piso cuándo son muy pesadas (OIEA, 1995), sin embargo por razones de maniobrabilidad y facilidad para vigilar y verificar el estado de las fuentes se descarta la opción de los bidones de 220 litros, entonces se propone colocar las fuentes que sean más pequeña en cestas metálicas como se muestra en la Figura 12 y las fuentes medianas en estantes como se muestra en la Figura 13 se deben ordenar en forma ascendente desde la de mayor peso a la de menor peso.

En la Figura 12 se mostrará una cesta con las medidas propuestas para el almacén.

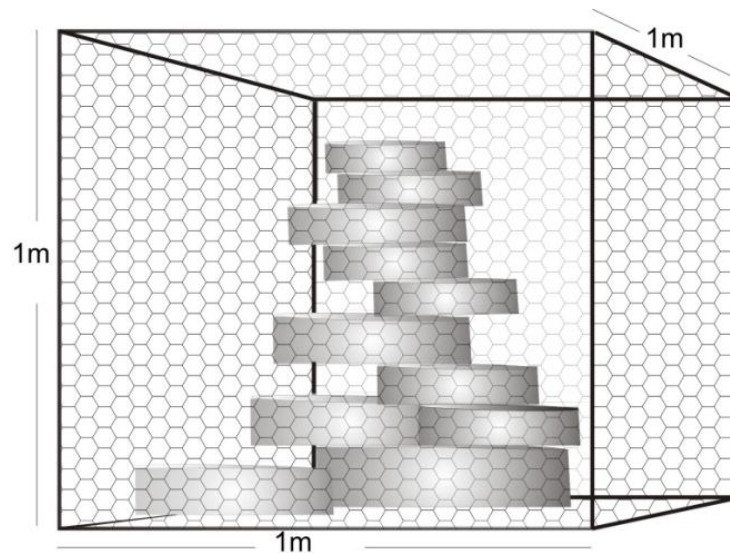


Figura. 12. Cesta metálica para almacenar Fuentes Selladas en Desuso.

Las cestas metálicas medirán 1m^3 (OIEA, 1995) y como se muestra en la figura, serán de forma cúbica cubiertas con una malla de metal. En las cestas se colocarán Fuentes Selladas en Desuso pequeñas hasta completar el volumen interno del recipiente metálico.

A continuación se mostrará un estante con las medidas propuestas para almacenar las fuentes en el edificio de almacenamiento.

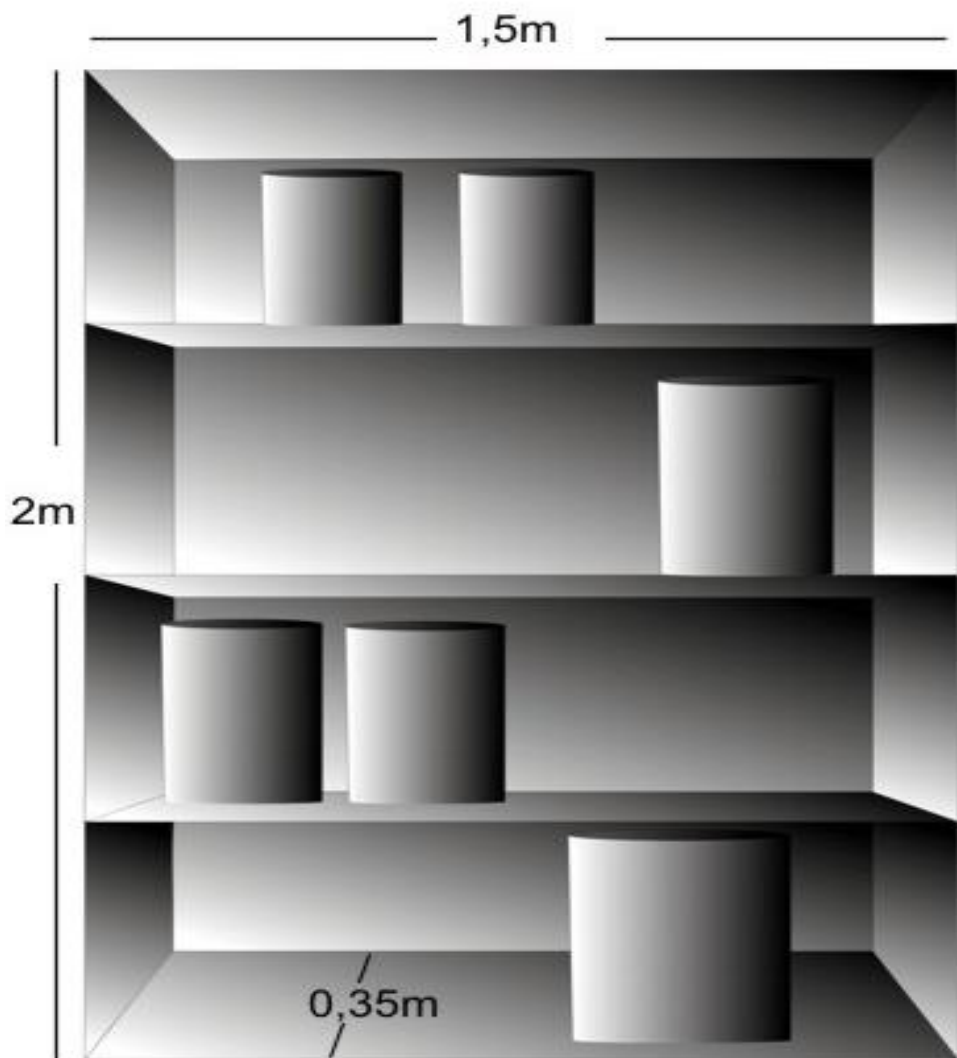


Figura. 13. Estante para el almacenamiento de Fuentes Selladas en Desuso.

Las medidas de los estantes se proponen debido al tipo de gestión observado en PDVSA San Tomé donde se almacenan 9 Fuentes Selladas en Desuso en un estante con la mitad de las dimensiones que a continuación se describen.

Los estantes medirán 2m de alto 1,5 de ancho y 0,35m de profundidad como se observan en la Figura 13 poseen 4 divisiones con una separación de 0,5 m bajo esa configuración se pueden almacenar 5 fuentes por cada división es decir 20 Fuentes Selladas en Desuso por cada estante

En la Figura 14 se puede observar el arreglo interno del edificio del almacenamiento:

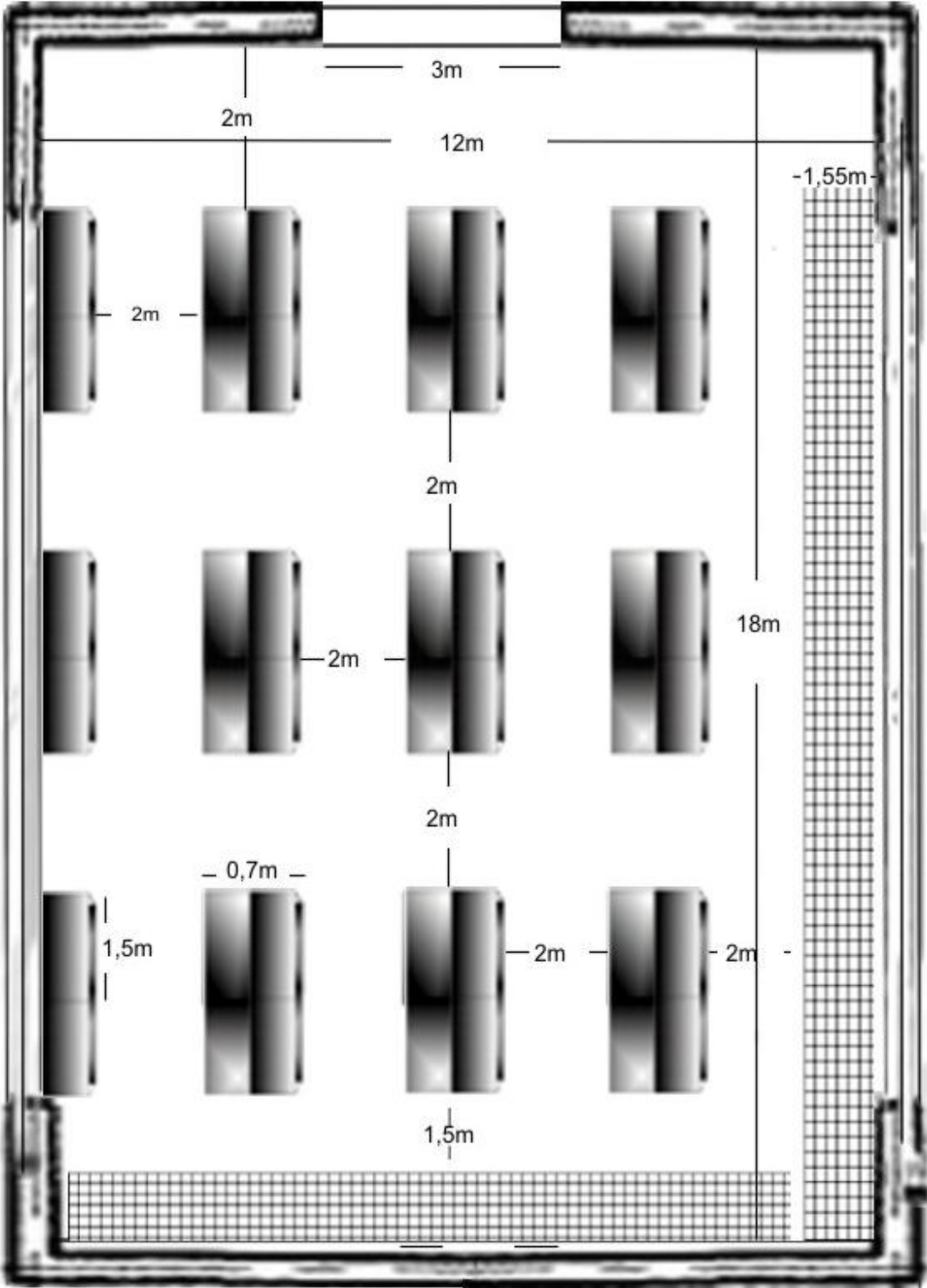


Figura. 14. Distribución interna de la Edificación de Almacenamiento.

Las dimensiones que se propones a continuación están basadas en el proceso de análisis desarrollado durante la investigación e influenciado particularmente con la experiencia adquirida en San Tomé.

En la Figura 14 se puede observar una distribución de estantes con un total de 42 y como en cada uno se pueden colocar 20 Fuentes Selladas en Desuso este arreglo de estante puede almacenar 840 Fuentes Selladas en Desuso sin embargo hay muchas fuentes que no pueden ser almacenadas en estantes debido a su gran volumen y peso por ello se dejó un área a la izquierda del almacén de 1,55m de ancho y 16m de largo que representa un área de 25 m² y otra área al final del almacén de 11,45m de ancho y 1,5m de largo que representa un área de 16 m² esto significa que hay un área de 41 m² esta área se puede observar en la zona cuadrículada de la Figura 14 para colocar este tipo de fuentes en el piso, esta área también se puede utilizar para colorar las cestas metálicas como la mostrada en la Figura 12. Los pasillo entre los estantes son de 2 m para que el personal pueda desplazarse con facilidad, la puerta de entrada tiene 3m de ancho con una puerta pequeña dentro de esa puerta grande como se puede observar el la Figura 15. Las paredes pueden ser de cualquier tipo de bloque aunque se sugiere que sean de hormigón por medida de seguridad, el piso de hormigón con superficie lisa se pinta con una pintura de piso de fácil descontaminado, el techo tiene que ser de losa y también se pintan.

Esta área debe contar con iluminación artificial, ventilación natural, monitor de área, alarma luminosa y audible, un sistema de control de acceso y de vigilancia activa (sistema de circuito cerrado), monitor de área, dosímetro electrónico (gamma y de neutrones), un detector portátil, un detector y extinción de incendio. El sistema de Drenaje debe estar conectado a un tanque de retención (Se contará con sistemas de filtrado y gestionarán los filtros) en el caso de que existan trabajos de descontaminación.

En la Figura 15 se muestra las fachadas del edificio de almacenamiento donde se puede observar la vista de frente indicado con la letra A en esta imagen está a la vista una gran puerta de 3 m de ancho, la vista lateral indicado con la letra B se puede

observar una ventanitas en la parte superior de la pared para que el almacén tenga ventilación natural y por último la vista de fondo indicado con la letra C.

Seguidamente se expondrá las vistas externas del edificio de almacenamiento:

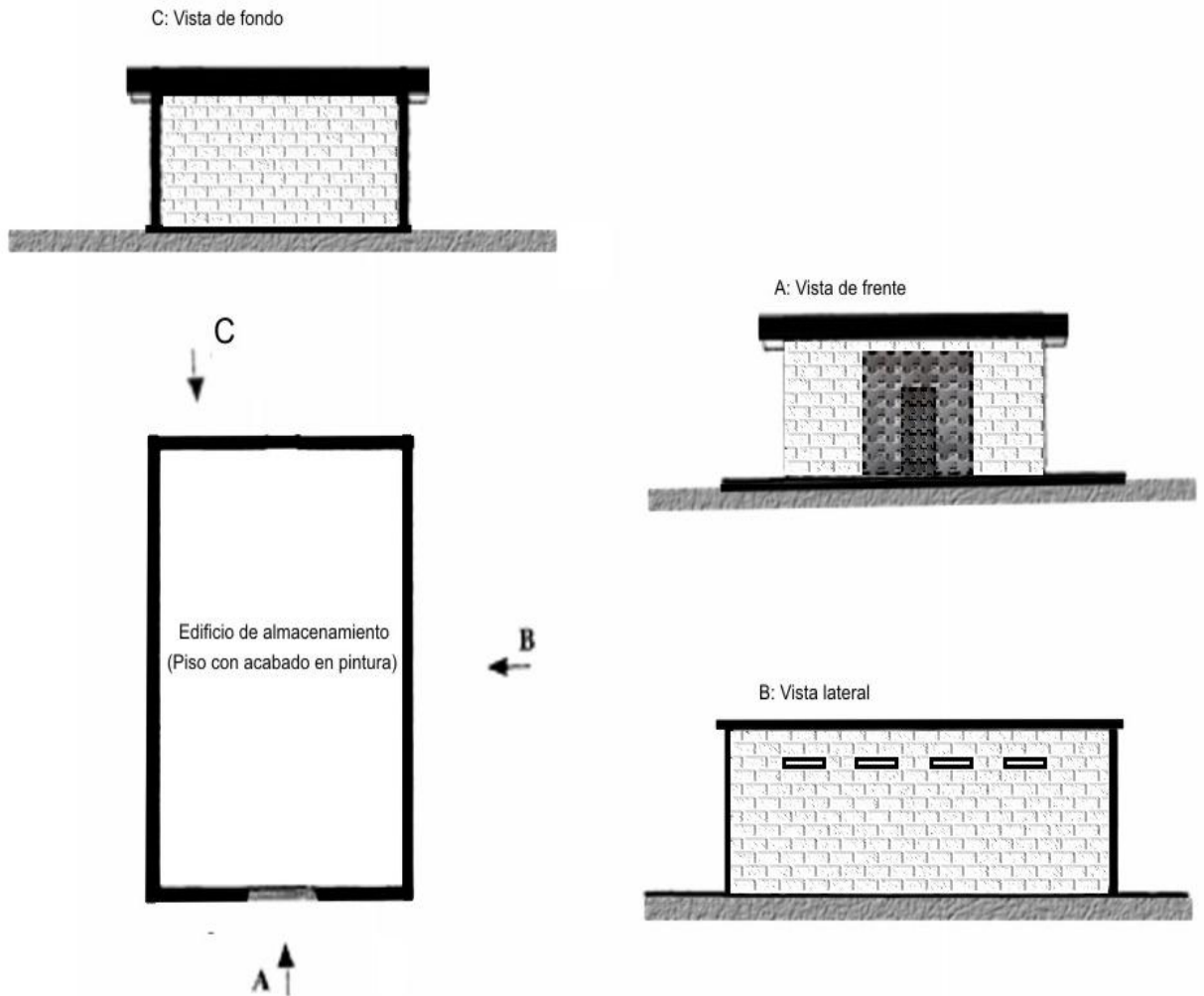


Figura. 15. Fachadas de la Edificación de Almacenamiento.

Inmediatamente se describirá el edificio de acondicionamiento de Fuentes Selladas en Desuso.

Zona de recepción.

A la llegada a la instalación, las fuentes de radiación, en su embalaje de transporte se trasladarían a la zona de recepción de Fuentes Selladas en Desuso.

La zona de recepción es una sala, 3 m x 7 m (OIEA, 1995), que se utiliza para almacenar (temporal o provisional) todas las fuentes de radiación dentro de su embalaje de transporte después de la recepción en la instalación. Estanterías en el almacén de operaciones serán utilizadas para el almacenamiento de la mayoría de las fuentes de radiación. Fuentes grandes y pesados pueden almacenarse en el suelo. Si se reciben paquetes de tasa de dosis particularmente altas, que pueden ser almacenados en el área para dosis alta.

Las paredes pueden ser de cualquier tipo de bloque (Se recomienda que sean de hormigón), el piso de hormigón con superficie lisa se pinta con una pintura de piso de fácil descontaminado, el techo tiene que ser de losa y también se pintan. Esta zona cuenta con alumbrado eléctrico simple.

Consecutivamente se expondrá las vistas externas del edificio de acondicionamiento:

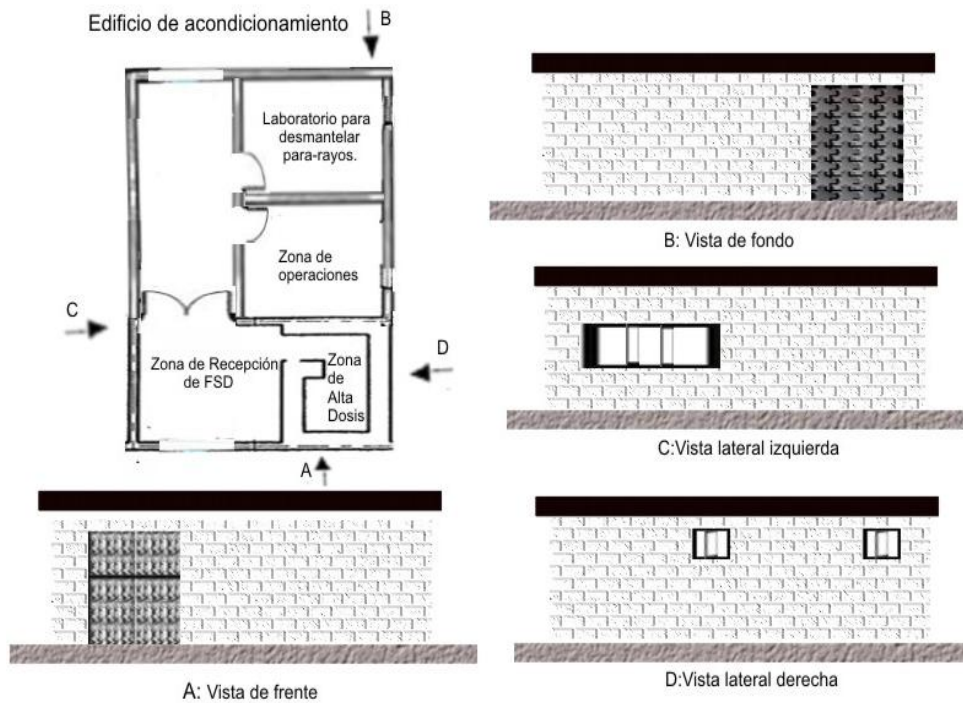


Figura. 16. Fachadas de la Edificación de Acondicionamiento

El diseño planteado en la investigación está basado en el documento del OIEA (1995) como se ha mencionado con anterioridad. En dicho documento la técnica de acondicionamiento consiste en colocar las Fuentes en barriles de 220 litros y rellenarlo con cemento, se decidió no seguir esos parámetros porque esas condiciones contradicen el criterio de recuperabilidad de las fuentes. Sin embargo se tomó las dimensiones sugeridas para la zona de recepción.

La zona de operaciones y monitoreo debe consistir en una área para realizar las pruebas de fugas lo que permite saber que la fuente esté en buenas condiciones para su almacenamiento.

Aunado a la zona de operaciones debe existir una zona para manejar fuentes alfa principalmente para manejar pararrayos radiactivos pero también para acondicionar posibles fuentes que presenten fugas.

Zona de operaciones y monitoreo

La zona de operaciones y monitoreo adyacente es una área abierta en el edificio de acondicionamiento donde se manejan las fuentes de radiación, se monitorea el desempaqueado de su embalaje y transporte hasta dentro del almacén.

La zona de operaciones tiene un banco en el que las fuentes se pueden desempaquear. Una vitrina es situada en la zona de funcionamiento contra la pared exterior. El artefacto de ventilación de la campana extractora de humos se hace pasar a través de un conducto en la pared exterior. Se pinta el piso y el techo del área de trabajo.

El Laboratorio para dismantelar pararrayos es una zona hermética con un sistema de extracción de aire, con el equipo necesario para dismantelar los pararrayos. Campana de extracción con presión de vacío y guantes especiales para manipular pararrayos, los procedimientos de trabajo deben estar diseñados para evitar posible traslado de contaminación a áreas no controladas.

Se debe acotar que el edificio de almacenamiento debe contar con iluminación artificial, ventilación artificial con sistema de extracción de aire, monitor de área,

alarma luminosa y audible, un sistema de control de acceso y de vigilancia activa (sistema de circuito cerrado), alguien que vigile un monitor fijo de área, dosímetro electrónico (gamma y de neutrones), un detector portátil, un detector y extinción de incendio. El sistema de drenaje debe estar conectado a un tanque de retención en el caso de que existan trabajos de descontaminación.

Inmediatamente se expondrá las vistas externas del edificio de oficina:

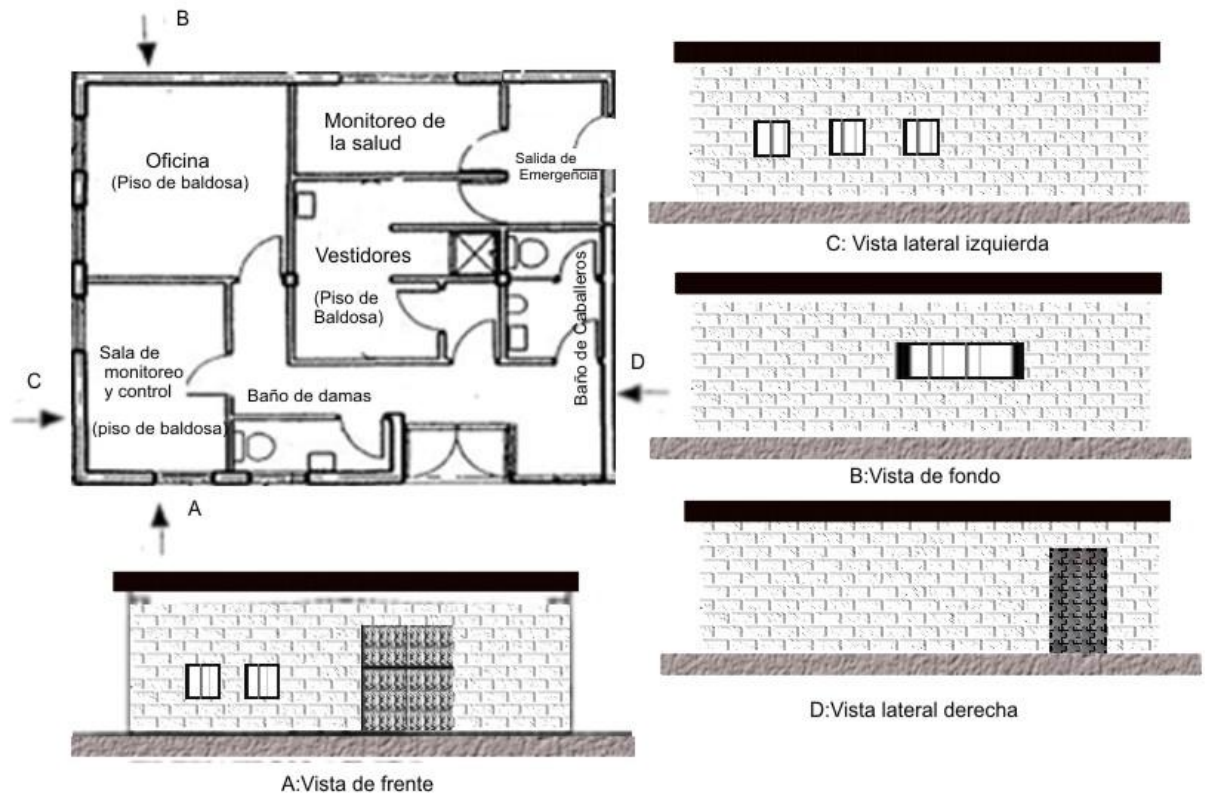


Figura. 17. Fachadas de la Edificación de Oficinas.

Edificación de oficinas

El acceso del personal al edificio de oficina es a través de la puerta principal la cual se puede observar en la vista de frente, en un principio en una zona del

recibidor o vestíbulo. Esta área tiene instalaciones de aseo masculino y femenino. Dos oficinas se encuentran al final de un corto pasillo.

Estas oficinas serían el centro para el lado de la administración de la operación de instalaciones y el monitoreo del área a través de alarmas de los sensores electrónicos y televisores para ver el circuito cerrado. El vestíbulo, baño de mujeres y oficinas tienen ventanas exteriores para la iluminación natural.

Los vestidores cuentan con instalaciones para los operadores, por ejemplo casilleros, lavamanos, ducha, entre otros.

Junto a los vestidores hay una pequeña habitación de monitoreo de la salud. Esta habitación se utilizaría para el almacenamiento, mantenimiento y calibración de los equipos de salud física. Equipo de protección personal, por ejemplo traje de protección, zapatos de goma y guantes entre otro.

A continuación se propondrá una metodología para la aceptación de bultos primarios para su incorporación a las unidades de almacenamiento.

Recepción de la Fuentes Selladas en Desuso en la instalación.

Antes de la recepción de una Fuentes Selladas en Desuso en la instalación, se espera que habrá cierta correspondencia entre el expedidor y el operador de la instalación que culminó en la realización de un cuestionario de disposición del expedidor y la aceptación de este expediente por el operador de la instalación y la provisión, por el operador de las instalaciones al expedidor, de un contenedor de transporte adecuado.

Suponiendo que todo lo anterior se ha realizado de manera satisfactoria, la fuente de radiación llegaría a la instalación, probablemente por transporte vehicular.

A su llegada, el operador inspeccionará el paquete en el vehículo de transporte y hará las mediciones de radiación en el envase, y las mediciones de contaminación en el envase y el vehículo.

El operador traslada el paquete del vehículo en un monta carga (*Figura 18 y 19*) hacia el almacén de operaciones donde debe completar el Reporte del Monitoreo de Radiación (RMR) agregando la localización de la Fuentes Selladas en Desuso al registro y lo archiva. Luego se verifican los detalles del empaque y se monitorean al empaque por contaminación y en seguida se traslada la Fuentes Selladas en Desuso a la zona de operaciones.

Posteriormente se desempaca la Fuentes Selladas en Desuso y verifica la identificación y descripción de la Fuentes Selladas en Desuso, se monitorea la fuente y el empaque y se agrega las mediciones al registro y se traslada la Fuentes Selladas en Desuso al edificio del almacén y se completa el (RMR) agregando la localización de la Fuentes Selladas en Desuso al registro y se archiva.

Se debe acotar que la selección del monta carga dependerá del tamaño de la fuente existen varias opciones para su traslado por ejemplo el montacargas mostrado en la Figura 17 es para Fuentes Selladas en Desuso con un peso mayor a 1000 Kg y la mesa mostrada en la Figura 18 es para Fuentes Selladas en Desuso de un peso menor a 1000 Kg y que no necesiten ser almacenadas a más de 1,5 m de altura.

A continuación se muestra un montacargas de accionamiento Hidráulico-Manual para subir y bajar la carga. Traslación manual. Capacidad máxima hasta 2000Kg. Altura máxima 3 m.



Figura. 18. Montacargas de accionamiento Hidráulico-Manual

En la Figura 19 se puede observar una mesa de accionamiento Hidráulico-Manual para subir y bajar la carga. Traslación manual. Capacidad máxima hasta 1000 Kg. Altura máxima 1,5 m.



Figura. 19. Mesa de accionamiento Hidráulico-Manual

En el siguiente diagrama se mostrará la gestión de las Fuentes Selladas en Desuso (FSD) y Desechos Radiactivos dentro de la instalación.



*RMR: Reporte del Monitoreo de Radiación

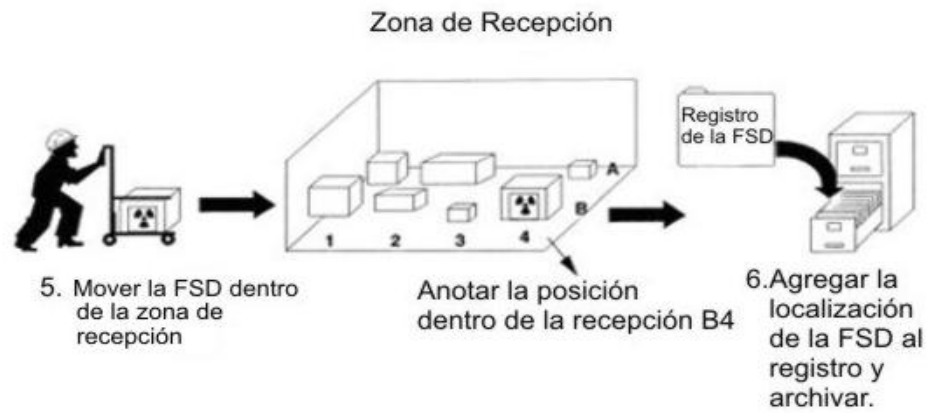


Figura. 20. Recepción de Fuentes Empaquetadas

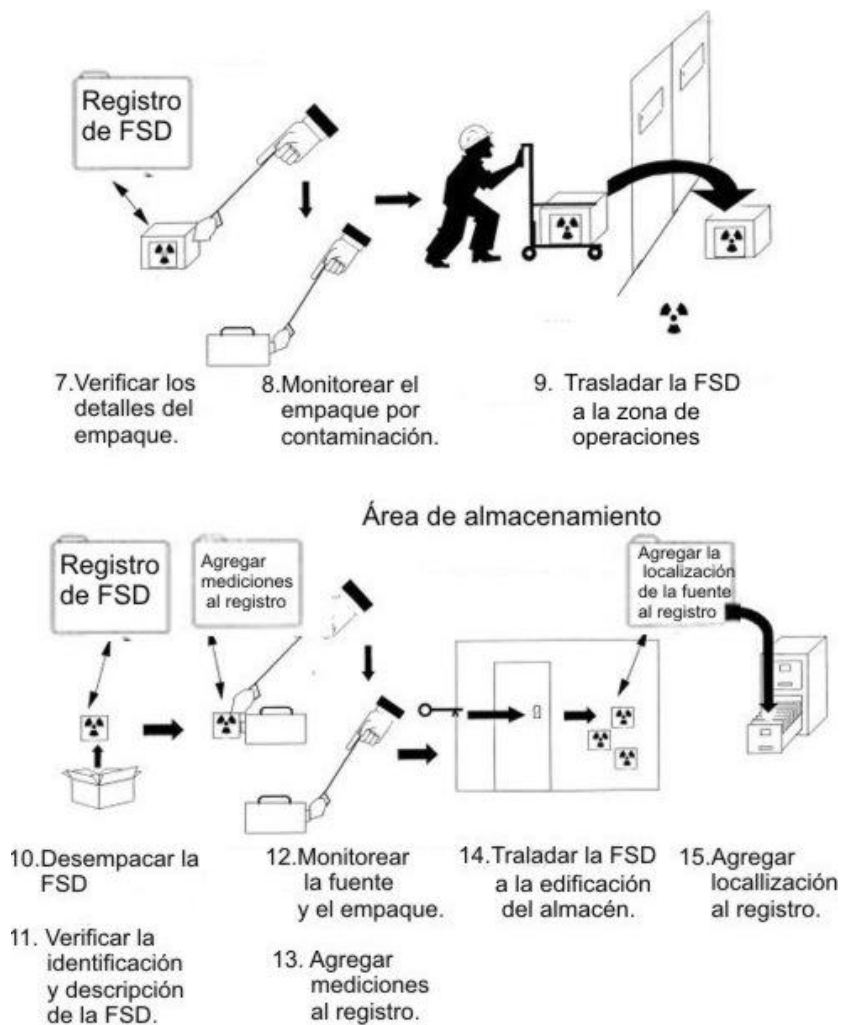


Figura. 21. Desembalaje del paquete y traslado a la Edificación del Almacén.

Nota: Los gráficos de las Figuras 20 y 21 fueron tomados de OIEA (1995). Sin embargo se adaptó al diseño que se ha planteado en esta investigación.

Los resultados mostrados durante el desarrollo del objetivo N° 3 constituye la primera fase del diseño de un almacén superficial para gestionar Fuentes Selladas en Desuso y Desechos Radiactivos en Venezuela, para continuar con las fase que se han descrito con anterioridad resta la aprobación del diseño conceptual por el órgano regulador para seguir con la ingeniería básica y de detalles, y así posteriormente hacer la construcción, montaje, puesta en marcha y la operación (control y vigilancia).

CONCLUSIONES

Seguidamente se presentan las conclusiones del Trabajo Especial de Grado, producto de los hallazgos arrojados como parte del desarrollo del proceso de investigación.

- ✓ La gestión de los Desechos Radiactivos dependerá de su, nivel de actividad radiológica, tiempo de vida media, volumen y su estado físico. En el caso de los sólidos si son incinerables o no incinerables, compactables o no compactables y en el caso de los líquidos si son Orgánicos o Acuosos y además de su grado de toxicidad y propiedades químicas, al mismo tiempo se deben tomar en cuenta consideraciones de seguridad, técnicas y económicas.
- ✓ Las Fuentes Selladas en Desuso en el caso de los países que no cuenten con la infraestructura técnica para la reutilización o reciclaje de las Fuentes Selladas en Desuso la estrategia más aceptada es la devolución de las mismas al fabricante siempre y cuando sea posible, sin embargo las Fuentes Selladas en Desuso que no puedan salir del país, deberán ser gestionadas de una forma que facilite su recuperación a largo plazo para su disposición final.
- ✓ En Venezuela los Desechos Radiactivos producidos de forma planificada pueden ser gestionados dentro de la instalación donde se generan siempre y cuando sean de vida corta, mientras que la Fuentes Selladas en Desuso y Desechos Radiactivos Sólidos de vida media larga (situaciones accidentales, investigación) requieren ser gestionados y centralizados en una instalación de resguardo temporal hasta que el Estado fije políticas de gestión de estos materiales a largo plazo (Disposición definitiva).
- ✓ Las instalaciones para la gestión centralizadas deberá constar de mínimo tres edificaciones: Área administrativa, un área o edificio para la recepción y

acondicionamiento de las Fuentes Selladas en Desuso y una tercera edificación para el almacenamiento. Estas áreas deben contar con iluminación artificial, sistemas de generación eléctrica de emergencia, monitor de área, alarma luminosa y audible, un sistema de control de acceso y de vigilancia activa (sistema de circuito cerrado), vigilancia permanente por parte de entes de defensa y seguridad de Estado, equipos de detección portátil de lectura directa o diferidos, sistemas de detección y mitigación de incendios y además el sistema de drenaje debe estar conectado a un tanque de retención en el caso de que existan trabajos de descontaminación.

RECOMENDACIONES

Seguidamente se realizan de manera respetuosa, las siguientes recomendaciones:

- ✓ Se sugiere utilizar la estrategia para la identificación y localización de fuente de radiación sellada en desuso (Figura 3) para constatar que el inventario nacional esté completo. Y además verificar permanentemente el inventario de Fuentes Selladas (uso y desuso) para reducir los riesgos de que alguna de ellas salga control (robo, pérdida).
- ✓ Utilizar el inventario nacional de fuente selladas en uso y desuso para determinar cuales tienen que ser gestionadas en el país y así tener el número exacto de fuentes que deben ser almacenadas dentro de la unidad centralizada y poder dimensionar con precisión las instalaciones y de esta manera realizar la ingeniería básica y de detalle de la partiendo de la evaluación realizada en este trabajo.
- ✓ Promover la actualización de las leyes que regulan el manejo de material radiactivo debido a que los estándares y normas internacionales están en constante reajuste lo cual podría indicar que el marco regulatorio de Venezuela está desactualizado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuerdo Internacional. (1979), Acuerdo complementario de cooperación científica y técnica en materia de energía nuclear para fines pacíficos. Caracas, Venezuela.
- Altuve, E. (2010). La Radioactividad. Aspectos conceptuales. Trabajo monográfico no publicado. Universidad “Simón Bolívar”, Sartanejas, Estado Miranda.
- Arias, F. (2006). El Proyecto de Investigación: Introducción a la Metodología Científica. 5ta. Edición, Editorial Epísteme. Venezuela.
- Balestrini, M. (2006). Cómo se elabora el proyecto de investigación. (5ª Ed.). Consultores Asociados, Servicio Editorial. Venezuela
- Casal Suárez, N. (2007). La Investigación Documental Paso a Paso. Consejo de Publicaciones. Facultad de Humanidades y Educación Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela.
- Constitución de la República Bolivariana de Venezuela (1999). Artículo 129. Caracas, Venezuela.
- Córdoba, A. (2010). Inventario Nacional de la República de Uruguay. Artículo presentado en el Congreso Organizado por el Organismos Internacional de Energía Atómica titulado “Desarrollo de un almacenamiento en superficie de residuos radiactivos RBMA”. Córdoba, Reino de España.
- Crespo, Luis. (2010). Manual para el manejo de los Desechos Radiactivos generados por la aplicación de técnicas de medicina nuclear. Trabajo monográfico no publicado. Universidad Centro Occidental Lisandro Alvarado. Barquisimeto, Estado Lara.

- Decreto 2210. (1992). Normas técnicas y procedimientos para el manejo de material radiactivo. Caracas, Venezuela, artículos 55 al 61.
- Díaz, Y. (2011). La Radioactividad en la República Bolivariana de Venezuela. Una aproximación a su estudio. Trabajo monográfico no publicado. Universidad “Simón Bolívar”. Sartanejas, Estado Miranda.
- García, Vicente (1975). Energía Nuclear y Teoría de reactores. Tomo I. Publicaciones científicas de la JEN. Buenos Aires, Argentina.
- Ley Orgánica (2001). Ley sobre sustancias, materiales y desechos peligrosos. Caracas, Venezuela
- Manzini A. (2010). Gestión de Residuos Radiactivos en la República Argentina. Artículo presentado en el Congreso Organizado por el Organismos Internacional de Energía Atómica titulado “Desarrollo de un almacenamiento en superficie de residuos radiactivos RBMA”. Córdoba, Reino de España.
- Mackenzie, Carolyn (2006). Reducir el riesgo derivado de la Fuentes Radiactivas. Artículo de Investigación. Toronto, Canadá.
- Ministerio del Poder Popular Para la Energía Eléctrica (2012). Resolución para acuerdos contractuales entre el fabricante, el importador y el usuario final para la importación de fuentes radiactivas selladas. Resolución Ministerial. Caracas, Venezuela.
- Ministerio para las Relaciones Exteriores. (1979). Acuerdo Complementario de Cooperación Científica y Técnica en Materia de Energía Nuclear para Fines Pacíficos. Acuerdo Internacional. Caracas, Venezuela.

Navarro I., María L. (2010). Almacén centralizado de Fuentes Selladas en Desuso en Paraguay. Artículo presentado en el Congreso organizado por el Organismos Internacional de Energía Atómica titulado “Desarrollo de un almacenamiento en superficie de residuos radiactivos RBMA”. Córdoba, Reino de España.

Norma COVENIN 2256 (2001). Definiciones I.C.S 13.280 (1ra Revisión). Caracas, Venezuela.

Norma COVENIN 3496 (1999), Protección radiológica. Medidas de seguridad para la protección contra las radiaciones ionizantes y las fuentes de radiación. (Provisional). Caracas, Venezuela.

Norma COVENIN 3299 (1997). Programa de protección radiológica. Requisitos. Caracas, Venezuela.

Norma COVENIN 96 (1992). Símbolo básico para radiaciones ionizantes (2 da Revisión) Caracas, Venezuela.

Norma COVENIN 3190 (1995). Blindaje para contenedores de fuentes radiactivas. Requisitos mínimos. Caracas, Venezuela.

Norma COVENIN 187 (1992). Colores, símbolos y dimensiones para señales de seguridad. (1ra Revisión), Caracas, Venezuela.

Norma COVENIN 2026 (1999). Transporte seguro de materiales radiactivos (1ra Revisión), Caracas, Venezuela.

Norma COVENIN 2257 (1995) Radiaciones ionizante. Clasificación y demarcación de las zonas de trabajo. (1ra Revisión), Caracas, Venezuela.

Norma COVENIN 2258 (1995) Vigilancia radiológica. Requisitos (1ra Revisión), Caracas, Venezuela.

Oliveira T., Clédola C. (2010). Gestión de Residuos Radiactivos en Brasil. Artículo presentado en el Congreso organizado por el Organismo Internacional de Energía Atómica titulado “Desarrollo de un almacenamiento en superficie de residuos radiactivos RBMA”. Córdoba, Reino de España.

Organismo Internacional de Energía Atómica. (1988). The Radiological Accident in Goiânia. [El Accidente Radiológico de Goiania]. Viena, Austria.

Organismo Internacional de Energía Atómica (1995). Reference Design for a Centralized Spent Sealed Sources Facility. [Diseño de Referencia para un Almacén Centralizado para Fuentes Selladas en Desuso]. TECDOC-806. Viena, Austria.

Organismo Internacional de Energía Atómica. (2004). Protección radiológica ocupacional. Guía de seguridad N° RS-G-1. Viena, Austria.

Organismo Internacional de Energía Atómica. (2005). Technical Data on Nucleonic Gauges. [Características Técnicas de Medidores Nucleónicos] TECDOC-1459. Viena, Austria.

Organismo Internacional de Energía Atómica. (2006). Application of the Management System for Facilities and Activities. [La aplicación del Sistema de Gestión para Instalaciones y Actividades]. Colección de Normas de Seguridad del OIEA No GS-G-3.1. Viena, Austria.

Organismo Internacional de Energía Atómica (2006). The Management System for Facilities and Activities. [El Sistema de Gestión de Instalaciones y Actividades]. Safety Standards Series No. GS-R-3. Viena, Austria.

Organismo Internacional de Energía Atómica (2006). Storage of Radioactive Waste. [Almacenamiento de Residuos Radiactivos]. Safety Standards Series No.WS-G-6.1. Viena, Austria.

Organismo Internacional de Energía Atómica. (2008). The Management System for the Disposal of Radioactive Waste. [El Sistema de Gestión para la Eliminación de Desechos Radiactivos]. Safety Standards Series No.GS-G-3.4. Viena, Austria.

Organismo Internacional de Energía Atómica. (2009). Identificación de Fuentes y Dispositivos Radiactivos. Manual de Referencia. Viena, Austria.

Padilla, U. (2010). Gestión de Desechos Radiactivos en Chile. Artículo presentado en el Congreso organizado por el Organismos Internacional de Energía Atómica titulado “Desarrollo de un almacenamiento en superficie de residuos radiactivos RBMA”. Córdoba, Reino de España.

Peñaranda L., Gael S (2010). Residuos Radiactivos en el Estado Plurinacional de Bolivia. Artículo presentado en el Congreso organizado por el Organismos Internacional de Energía Atómica titulado “Desarrollo de un almacenamiento en superficie de residuos radiactivos RBMA”. Córdoba, Reino de España.

Ramírez, Carlos (2010) Infraestructura legal y estatal para la seguridad nuclear, radiológica, de los Desechos Radiactivos Una aproximación a su estudio. Trabajo monográfico no publicado. Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela.

Ramírez Tamayo, A. (2007). El Proceso de Investigación Científica. México. Editorial Limusa.

Resolución Ministerial (2012), Normas para el Otorgamiento de Permisos para la Información y Exportación de Fuentes Radiactivas y Equipo generadores de Radiaciones Iónicas, Caracas, Venezuela.

Roche, Marcel. (1999). Estudios con Isotopos Radiactivos en el Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas. Artículo científico. Miranda, Venezuela.

Sánchez, H. (2009). Metodología de la Investigación. Curso General y Aplicado. (17^a edición). Cali, Colombia. Editorial Fald.

Universidad Nacional Yacambú, Vicerrectorado de investigación y Postgrado. (2007). Manual de normas para la elaboración y presentación de los Trabajos especiales de grado, Trabajos de grado y Tesis doctorales. Barquisimeto, Venezuela.

Viena y García (2010). Accidente de Goiania. Contaminación radioactiva del suelo de Chihuahua. VIII Jornada de Conferencias Ambientalistas. Ciudad Juárez.

World Nuclear Association (2008). The World Nuclear Industry Status, Global Nuclear Power. [Informe sobre la situación de la Industria Nuclear Mundial, Fuerza Nuclear Mundial]. Nueva Jersey, Estados Unidos.

Zárate M, N. (2010). Situación de la Gestión de Desechos Radiactivos en México- Instituto Nacional de Investigaciones nucleares. Artículo presentado en el Congreso organizado por el Organismos Internacional de Energía Atómica titulado “Desarrollo de un almacenamiento en superficie de residuos radiactivos RBMA”. Córdoba, Reino de España.

Anexos

Almacén de Desechos Radiativos Sólidos.



Anexo 1. Almacén de Desechos Radiativos Sólidos en el “Hospital Universitario de Caracas”.

Almacén de Desechos Radiativos Sólidos.



Anexo 2. Almacén de Desechos Radiativos Sólidos en el Hospital Oncológico “Dr. Luis Razetti”.

Gaveta de plomo para almacenar Desechos Radiactivos Sólidos



Anexo 3. Gaveta de plomo para almacenar Desechos Radiactivos Sólidos en el Hospital Oncológico “Dr. Luis Razetti”.

Gaveta de plomo para almacenar Desechos Radiactivos Sólidos.



Anexo 4. Gaveta de plomo para almacenar Desechos Radiactivos Sólidos en el Hospital Universitario de Caracas.

Fuente de Iodo 131



Anexo 5. Fuente de Iodo 131 utilizada para tratamientos de la tiroides.

Fuente de Tecnecio 99 en un empaque con blindaje de plomo.



Anexo 6. Fuente de Tecnecio 99 utilizada para el diagnóstico médico como agente de imagen.

Fármacos utilizados en Medicina Nuclear



Anexo 7. Fármacos utilizados para crear Radiofármacos (Se mezclan con ^{99m}Tc para hacer soluciones)

Campana utilizada para trabajar con Flúor-18



Anexo 8. Campana utilizada en el Hospital Universitario de Caracas para trabajar con Flúor 18.

Campana utilizada para trabajar con Iodo-131



Anexo 9. Campana utilizada en el Hospital Universitario de Caracas para trabajar con Iodo-131.

Cámara Gamma se utiliza en el diagnóstico para crear imagen.



Anexo 10. Cámara Gamma que se encuentra en el Hospital Oncológico “Dr. Luis Razetti”.

Cámara Gamma se utiliza en el diagnóstico para crear imagen.



Anexo 11. Cámara Gamma que se encuentra en el Hospital Universitario de Caracas.

Cámara PET-CT



Anexo 12. La única Cámara PET-CT disponible en el país se encuentra en el Hospital Universitario de Caracas.

Unidad de Teleterapia



Anexo 13. Una unidad de Teleterapia.
Fuente: OIEA (2009)

Cabezales obsoletos de Teleterapia de ^{60}Co .



Anexo 14. Cabezales en desuso de ^{60}Co .
Fuente: OIEA (2009)

Baño para pacientes de Medicina Nuclear



Anexo 15. Baños para pacientes de Medicina Nuclear

Recipientes de Centelleo Líquido.



Anexo 16. Centelleo líquido utilizado para determinar la concentración de tritio en muestras de estudios.

Recipientes utilizados para preparar soluciones de Centelleo Líquido y Tritio.



Anexo 17. Recipientes utilizados para preparar muestras de estudios en la Facultad de Ingeniería de la UCV.

Analizador de Centelleo Líquido Marca: Packard y Modelo: TRIC-CARB 2900 TR



Anexo 18. Analizador de Centelleo utilizado en la Facultad de Ingeniería de la UCV.

Recipiente modelo de una muestra de tritio solución pequeña (A la derecha) y recipiente modelo de embalaje (A la izquierda).



Anexo 19. Recipiente con un tamaño similar a un envase con contenido de tritio empleado en el laboratorio.

Fuente de ^{57}Co con su embalaje de plomo



Anexo 20. Fuente de ^{57}Co

Equipos donde se utiliza ^{57}Co para estudiar el efecto Mossbauer



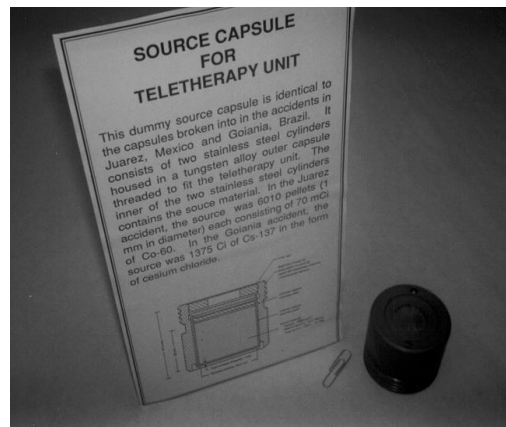
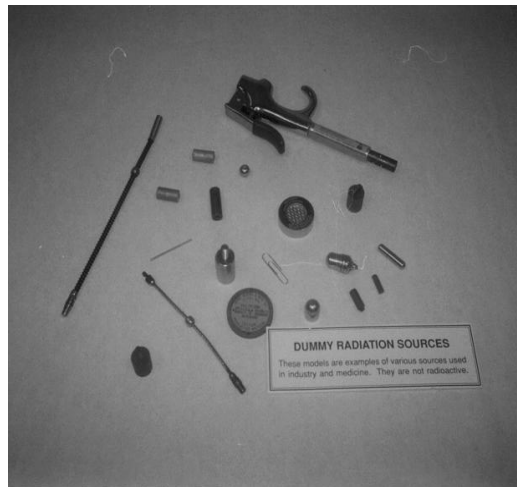
Anexo 21. Sistema utilizado para estudiar el efecto Mossbauer

Almacén para Fuentes de ^{57}Co y ^{57}Fe



Anexo 22. Almacén utilizado para guardar las fuentes de ^{57}Co y ^{57}Fe en la Facultad de Ciencias de la UCV.

Fuentes Radiactivas sin sus empaques.



Anexo 23. Fuentes Radiactivas sin sus empaques.

Fuente: OIEA (1995)

Fuentes Radiactivas con sus sellos, típicas para usos industriales.



Anexo 24. Fuentes Radiactivas en sus sellos.

Fuente: OIEA (1995)

Fuente Radiactiva de ^{60}Co .



Anexo 25. Fuente Radiactiva de Co^{60} utilizada para esterilización de material quirúrgico.

Fuente: OIEA (1995)

Bunker de San Tomé



Anexo 26. Bunker para Fuentes Selladas en Desuso ubicado en PDVSA San Tomé

Información General de Anexo 27

Nombre / Modelo

Indicador de nivel Gamma / DNG-P

Aplicaciones

Nivel / llenado de botellas (líquidos y gases licuados) con un brazo de medición ajustable.

Fuente de Radiación

^{60}Co o ^{137}Cs : 7 - 20 MBq



Anexo 27. Indicador de Nivel Gamma / DNG-P

Fuente: OIEA (2005)

Información General de Anexo 28

Nombre / Modelo

**Indicador de nivel Gamma / DNG
mod.2**

Aplicaciones

Control de nivel y llenado

Industrias: cemento, papel y celulosa, química, petroquímica, vidrio, metales básicos, la construcción, la minería, almacenamiento y procesamiento de alimentos, plantas de energía térmica.

Fuente de Radiación

^{60}Co o ^{137}Cs (El nivel de actividad de la fuente depende de la aplicación)



Anexo 28

DNG instalado en una fábrica de cemento.

Indicador de Nivel de Gamma DNG

Mod.2

Fuente: OIEA (2005)

Información General de Anexo 29

Nombre / Modelo

Medidor de nivel gamma Relay/ NNL nivel

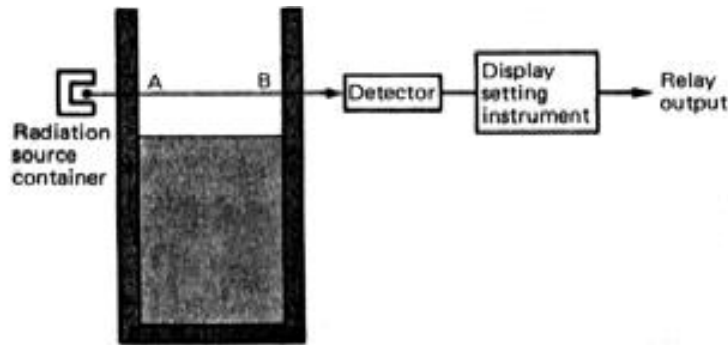
Aplicaciones

Medición del nivel estático de acero caliente fundido, vidrio, cemento, entre otros.

Industrias: cemento, papel y celulosa, química, petroquímica, vidrio, metales básicos, la construcción, la minería, almacenamiento y procesamiento de alimentos, plantas de energía térmica.

Fuente de Radiación

^{137}Cs y ^{60}Co , 1-2 GBq



Anexo 29 Medidor de Nivel Gamma Relay/ NNL nivel

Fuente: OIEA (2005)

Información General de Anexo 30

Nombre / Modelo

Calibrador portátil de retro-dispersión de neutrones para la medición de nivel e interfaz.

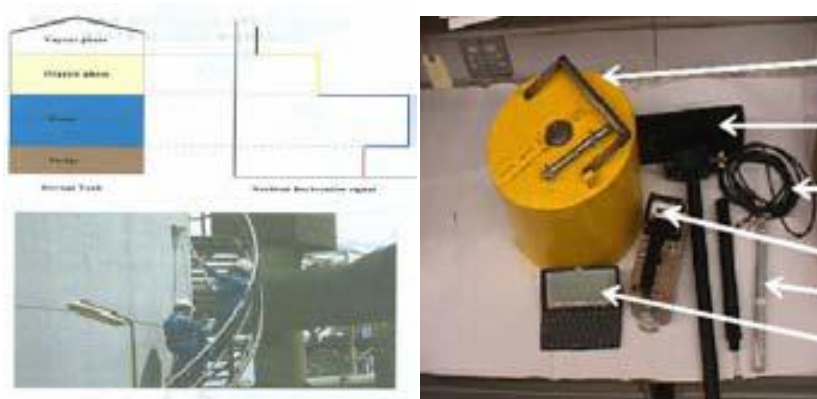
Aplicaciones

- **Determinación de los niveles de lodo, el agua, las fases orgánicas y el vapor en los tanques de almacenamiento de petróleo sin medidores de nivel instalados.**
- **La calibración de medidores de nivel convencionales.**

-
- El control de la deposición de coque durante el proceso de formación de grietas en la columna de fraccionamiento.

Fuente de Radiación

- Fuente de $^{241}\text{Am}/\text{Be}$, Actividad: 10 a 37 GBq, la energía media de 4.5 MeV.
 - Fuente de ^{252}Cf , Actividad 0,5-1 mg (10 a 20 GBq), la energía media de 2.1 MeV.
-



Anexo 30. Calibrador portátil de retro-dispersión de neutrones para la medición de nivel e interfaz. Fuente: OIEA (2005)

Sensor de Nivel de Llenado



Anexo 31. Medidor de Nivel de Llenado de ^{241}Am montado en una línea de llenado. Fuente: OIEA (2009)

Información General de Anexo 32

Nombre / Modelo

Medidor de densidad, tipo GM-06

Aplicaciones

La medición sin contacto de la densidad y la concentración en fase líquida de ácidos, jugo de azúcar, entre otros medición en línea continua con una opción para regular (mantener constante) el parámetro de densidad.

Fuente de Radiación

²⁴¹Am max. 4,1 GBq



Anexo 32. Medidor de Densidad, tipo GM-06

Fuente: OIEA (2005)

Información General de Anexo 33

Nombre / Modelo

Medidor de densidad de alto rendimiento, tipo (HPDG).

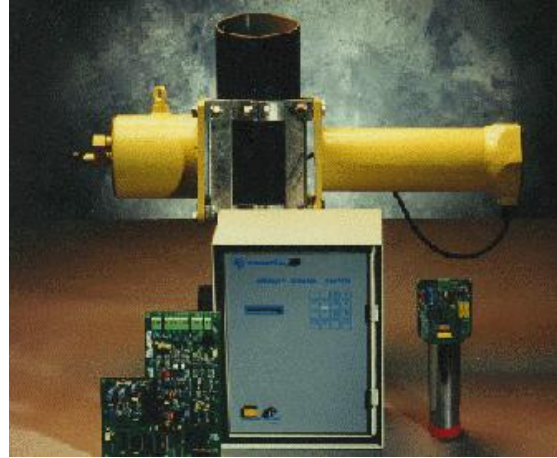
Aplicaciones

Procesamiento de minerales, refinación de petróleo, alimentos procesados, cemento, papel, ingeniería

química, refinación de alúmina, mineral de hierro, el tratamiento de aguas y arenas minerales.

Fuente de Radiación

Fuentes de ^{137}Cs y ^{60}Co , 750 MBq



Anexo 33. Medidor de Densidad de Alto Rendimiento, tipo (HPDG).

Fuente: OIEA (2005)

Información General de Anexo 34

Nombre / Modelo

Medidor de densidad, modelo 386 Lb-1c.

Aplicaciones

Procesamiento de minerales, refinación de petróleo, alimentos procesados, cemento, papel, ingeniería química, refinación de alúmina, mineral de hierro, el tratamiento de aguas y arenas minerales.

Fuente de Radiación

Mayormente ^{137}Cs utiliza, sino también ^{60}Co y ^{241}Am , dependiendo de la aplicación.



Anexo 34. Medidor de densidad, modelo 386 Lb-1c.

Fuente: OIEA (2005)

Información General de Anexo 35

Nombre / Modelo

Medidor de espesor, Modelo 03

Aplicaciones

**La medición de Área-Peso para el
calandrado de láminas metalizas.**

Fuente de Radiación

Fuente sellada de ⁸⁵Kr.



Anexo 35. Medidor de espesor instalado en fábrica para la medición de la zona-Peso de películas PWC calandrados.

Las fotos muestran el escáner (izquierda) y la pantalla del PC (derecha).

Fuente: OIEA (2005)

Sonda beta para medir espesor



Anexo 36. Sonda beta instalada en un laminador de bobina.

Fuente: OIEA (2009)

Información General de Anexo 37

Nombre / Modelo

Calibrador de concentración de ácido sulfúrico MKS-6.

Aplicaciones

El MedidorMKS-6 está diseñado para contabilizare sin contacto continuo las concentraciones de ácido sulfúrico en instalaciones industriales.

Fuente de Radiación

Fuente de $^{241}\text{Am/Be}$, Actividad: 24 GBq



Anexo 37. Vista del Calibrador de Concentración de Ácido sulfúrico MSK-6, el cabezal de medición está instalado en un tubo de derivación. Fuente: OIEA (2005)

Información General de Anexo 38

Nombre / Modelo

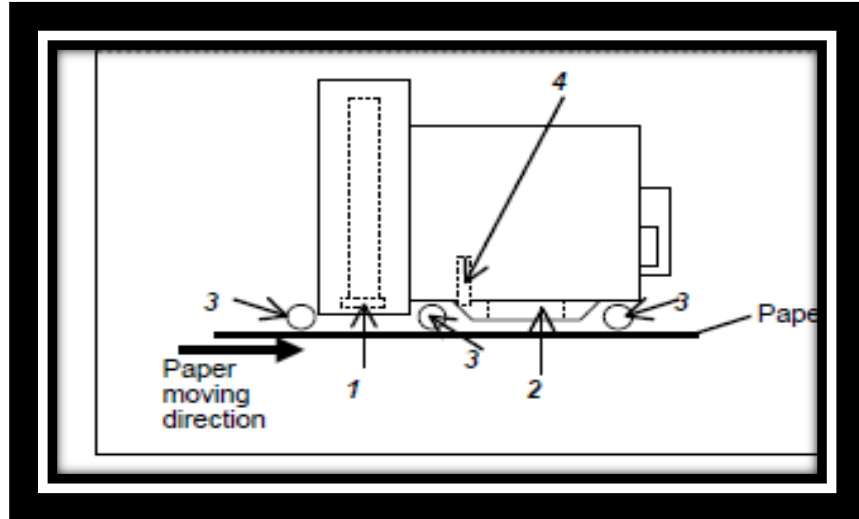
**Sistema de control de humedad / SMS-
BM-CRT.**

Aplicaciones

Medición y control en línea de la masa por unidad de superficie y el contenido de humedad del papel.

Fuente de Radiación

Fuente Gamma: ^{241}Am 3 GBq



Anexo 38. Sistema de Control de Humedad / SMS-BM-CRT.

Fuente: OIEA (2005)

Información General de Anexo 39

Nombre / Modelo

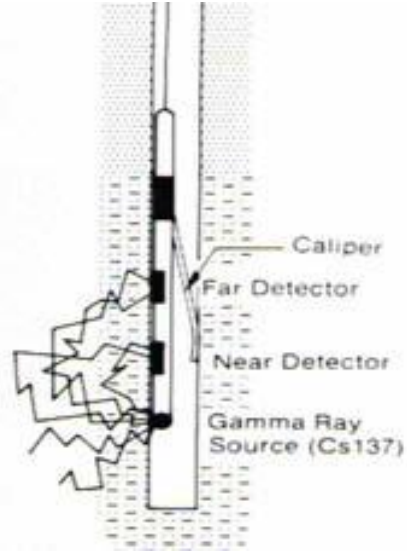
Densímetro Gamma, modelo A59.

Aplicaciones

- **Cálculo de la relación entre estratos de densidad y porosidad en agua subterránea indicando resistencia de la roca.**
- **Factores como la erosión, la fractura y la porosidad se pueden evaluar, para minerales de hierro y la exploración de carbón, donde la densidad del mineral o carbón difiere significativamente de la densidad de roca estéril.**

Fuente de Radiación

Fuente de ^{137}Cs de 1,85 GBq actividad.



Anexo 39. Densímetro Gamma, modelo A59.

Fuente: OIEA (2005)

Información General de Anexo 40

Nombre / Modelo

**Medidor de Densidad y Humedad /
SRDM-2SV (ANDES)**

Aplicaciones

**El control de calidad en las instalaciones
de la compactación del suelo en taludes
de construcción de carreteras.**

Fuente de Radiación

- **Fuente de rayos gamma en densímetro: ^{60}Co 2,6 MBq.**
 - **Fuente de neutrones en el medidor de humedad: Cf-252 1,1 MBq.**
-



Anexo 40. Medidor de Densidad y Humedad / SRDM-2SV (ANDES)
Fuente: OIEA (2005)

Fuente de ^{137}Cs utilizada para Diagrafía de pozos petroleros



Anexo 41. Blindaje típico de fuente de ^{137}Cs para Diagrafía de Pozos (contenedor de transporte), 37 kg, 170 mm de diámetro, 210 mm de largo.

Fuente: OIEA (2009)

Recipientes para transportar y almacenar fuentes con radiación neutrónica.



Anexo 42. Contenedores de transporte y almacenamiento típicos de fuentes de neutrones para Diagrafía de Pozos.

Fuente: OIEA (2009)

Pararrayos radiactivos



Anexo 43. Ejemplo de Pararrayos Radiactivo.

Fuente: OIEA (2009)

Proyectores modernos típicos de Gammagrafía Portátil.



Anexo 44. Proyector moderno típico de Gammagrafía Portátil
Fuente: OIEA (2009)