

Escuela de Posgrado

MAESTRÍA EN GERENCIA PÚBLICA

Trabajo de Investigación

**Optimización de la gestión del departamento de  
mantenimiento de la Sub-Dirección de Operación de  
Reactores Nucleares del Instituto Peruano de Energía  
Nuclear - IPEN**

Rocio Del Pilar Solis Pillaca

Para optar el Grado Académico de  
Maestro en Gerencia Pública

Lima, 2023

Repositorio Institucional Continental  
Trabajo de investigación



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

**Asesor**

Mg. José Alberto Castro Quiroz

### **Dedicatoria**

A mis padres, Elvira y Ponciano, por su infinito amor y la sabiduría en sus consejos; son parte de cada objetivo conseguido.

### **Agradecimiento**

Gracias a Dios por guiar mis pasos y por todas sus bendiciones, iluminando mi camino para alcanzar las metas propuestas.

Mi gratitud a mi asesor de tesis, Mg. José Castro, quien con su conocimiento y motivación permitió la culminación de la investigación presentada.

## Índice

Asesor.....	ii
Dedicatoria.....	iii
Agradecimiento .....	iv
Índice de Tablas.....	ix
Índice de Figuras .....	xii
Resumen .....	xiv
Abstract.....	xv
Introducción .....	xvi
Capítulo I Generalidades .....	19
1.1. Línea de Investigación.....	19
1.2. Tema de investigación.....	19
1.3. Identificación de la realidad problema .....	19
1.3.1. Problemática Mundial. ....	19
A. Reactores de Investigación. ....	19
B. Radiofármacos para el diagnóstico y tratamiento del cáncer. ....	27
1.3.2. Problemática Latinoamericana.....	36
A. Reactores de Investigación. ....	36
B. Radiofármacos para el diagnóstico y tratamiento del cáncer. ....	45
1.3.3. Problemática Nacional. ....	55
A. Reactores de Investigación. ....	55
B. Radiofármacos para el diagnóstico y tratamiento del cáncer. ....	58
1.4. Justificación.....	67
1.4.1. Justificación Teórica. ....	67
1.4.2. Justificación Metodológica. ....	68
1.4.3. Justificación Práctica. ....	68
1.4.4. Justificación de Conveniencia y de Pertinencia Social. ....	68
1.4.5. Justificación Económica.....	69
1.5. Aspectos metodológicos.....	69
Capítulo II Marco Teórico .....	70

2.1.	Investigaciones previas relacionadas .....	70
2.1.1.	Antecedentes.....	70
2.2.	Modelos conceptuales de la condición interés – problema .....	75
2.2.1.	Medicina Nuclear.....	75
2.2.2.	Radiofármacos.....	76
2.2.3.	Gestión de Mantenimiento.....	79
A.	Función de Mantenimiento.....	79
B.	Tipos de Mantenimiento.....	80
C.	Costos de Mantenimiento.....	99
2.2.4.	Gestión Pública.....	101
2.2.4.1.	Política Nacional de Modernización de la Gestión Pública... ..	102
2.2.4.2.	Gestión por procesos en entidades públicas.....	102
2.2.4.3.	Gestión de la Calidad de Servicios .....	102
Capítulo III	Diagnóstico .....	103
3.1.	Organización de la Institución a implementar la respuesta .....	103
3.1.1.	De la Institución.....	103
3.1.2.	Visión y misión.....	104
3.1.3.	Funciones.....	104
3.1.4.	Estructura.....	105
3.1.5.	Marco Normativo.....	107
3.1.6.	Áreas involucradas en la realidad problema.....	108
A.	Dirección de Producción.....	109
B.	Sub Dirección de Operaciones de Reactores Nucleares .....	110
C.	Jefatura del Reactor RP-10 .....	111
D.	Departamento de Mantenimiento.....	112
E.	Área de mecánica – eléctrica.....	116
F.	Área de Química de reactores.....	116
G.	Área de Instrumentación y Control.....	117
3.2.	Estructura Organizacional .....	117
3.3.	Planteamiento del problema o condición de interés.....	119
3.3.1.	Realidad del Instituto Peruano de Energía Nuclear.....	119
3.3.2.	Gestión en el Departamento Mantenimiento .....	121

3.3.3.	Programa de mantenimiento.....	123
3.3.4.	Procedimiento de liberación.....	124
3.3.5.	Manual de Mantenimiento.....	126
3.3.6.	Recursos humanos capacitados y licenciados.....	127
3.3.7.	Problemas identificados.....	128
	Problema General.....	128
	Problemas Específicos.....	128
3.4.	Árbol del problema o condición de interés.....	129
3.5.	Sustento de evidencias de los factores causales.....	130
Capítulo IV	Formulación.....	133
4.1.	Planteamiento de Resultados.....	133
4.2.	Análisis de alternativas intervención para lograr la solución.....	134
4.3.	Sustento de evidencias de alternativas de intervención.....	135
Capítulo V	Propuesta de Implementación.....	141
5.1.	Objetivo General.....	141
5.2.	Objetivos Específicos.....	141
5.2.1.	Objetivo Especifico 1.....	141
5.2.2.	Objetivo Especifico 2.....	141
5.2.3.	Objetivo Especifico 3.....	141
5.2.4.	Objetivo Especifico 3.....	141
5.3.	Productos Propuestos por cada producto específico.....	142
5.3.1.	Producto 1: Programa actualizado de mantenimiento en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares.....	142
5.3.2.	Producto 2: Procedimiento de liberación de estructuras, componentes y sistemas para la operación del reactor nuclear de investigación RP-10.....	144
5.3.3.	Producto 3: Manual de mantenimiento actualizado en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares,.....	145
5.3.4.	Producto 4: Programa de capacitación para el personal del departamento de mantenimiento.....	148
5.4.	Estimación de costos de cada producto propuesto.....	149
Capítulo VI	Análisis de Viabilidad.....	152
6.1.	Viabilidad Política.....	152

6.2. Viabilidad Técnica .....	156
6.3. Viabilidad Social .....	159
6.4. Viabilidad Presupuestal .....	161
6.5. Valor Público de la Propuesta .....	162
Capítulo VII Seguimiento .....	163
Conclusiones .....	169
Recomendaciones .....	172
Referencias Bibliográficas.....	174
Anexos.....	185
Anexo 1: Matriz de consistencia .....	185
Anexo 2: Glosario de Términos.....	188
Anexo 3: Producto N° 1: Programa de mantenimiento actualizado en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares .....	191
Anexo 4:Producto 2: Procedimiento de liberación de estructuras, componentes y sistemas para la operación del reactor nuclear de investigación RP-10 .....	211
Anexo 5: Producto N° 3: Manual de mantenimiento actualizado en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares .....	216
Anexo 6: Producto N° 4: Propuesta de programa de capacitación para licenciamiento del personal mantenedor de la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares.....	244
Anexo 7: Estructura de Costos estimados por los productos propuestos ..	257

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1</b>	<i>Comparativo de marcos de gestión.....</i>	63
<b>Tabla 2</b>	<i>Indicadores PESEM.....</i>	120
<b>Tabla 3</b>	<i>Indicador de cierre de brecha. ....</i>	120
<b>Tabla 4</b>	<i>Indicador proyectado de cierre de brecha. ....</i>	120
<b>Tabla 5</b>	<i>Mantenimiento preventivo de instalaciones nucleares. ....</i>	121
<b>Tabla 6</b>	<i>Evidencias de la Causa Directa 1: Programa de mantenimiento desactualizado en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares.....</i>	130
<b>Tabla 7</b>	<i>Evidencias de la Causa Directa 2: Inexistencia de procedimiento de liberación de estructuras, componentes y sistemas para la operación del reactor nuclear de investigación RP-10.....</i>	130
<b>Tabla 8</b>	<i>Evidencias de la Causa Directa 3: Manual de mantenimiento desactualizado en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares.....</i>	131
<b>Tabla 9</b>	<i>Evidencias de la Causa Directa 4. No se cuenta con recursos humanos capacitados y licenciados que aseguren la continuidad del mantenimiento en la operación del reactor de investigación.....</i>	132
<b>Tabla 10</b>	<i>Alternativas de intervención Medio Directo 1: Programa de mantenimiento preventivo actualizado en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares.....</i>	134
<b>Tabla 11</b>	<i>Alternativas de intervención Medio Directo 2: Existencia de procedimiento de liberación de estructuras, componentes y sistemas para la operación del reactor nuclear de investigación RP-10. ....</i>	134
<b>Tabla 12</b>	<i>Alternativas de intervención Medio Directo 3: Manual de mantenimiento actualizado en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares.....</i>	134
<b>Tabla 13</b>	<i>Alternativas de intervención Medio Directo 4: Recursos humanos capacitados que aseguren la continuidad del mantenimiento en la operación del reactor de investigación. ....</i>	135
<b>Tabla 14</b>	<i>Análisis de alternativa de intervención 1 del Medio Directo 1: Programa de mantenimiento actualizado en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares.....</i>	135

<b>Tabla 15</b>	<i>Análisis de alternativas de intervención 2 del Medio Directo 1: Programa de mantenimiento actualizado en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares.</i>	136
<b>Tabla 16</b>	<i>Análisis de alternativas de intervención 1 del Medio Directo 2: Existencia de procedimiento de liberación de estructuras, componentes y sistemas para la operación del reactor nuclear de investigación RP-10</i>	136
<b>Tabla 17</b>	<i>Análisis de alternativas de intervención 2 del Medio Directo 2: Existencia de procedimiento de liberación de estructuras, componentes y sistemas para la operación del reactor nuclear de investigación RP-10</i>	137
<b>Tabla 18</b>	<i>Análisis de alternativas de intervención 1 del Medio Directo 3: Manual de mantenimiento actualizado en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares.</i>	138
<b>Tabla 19</b>	<i>Análisis de alternativas de intervención 2 del Medio Directo 3: Manual de mantenimiento actualizado en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares.</i>	138
<b>Tabla 20</b>	<i>Análisis de alternativas de intervención 1 del Medio Directo 4: Recursos humanos capacitados que aseguren la continuidad del mantenimiento en la operación del reactor de investigación.</i>	139
<b>Tabla 21</b>	<i>Análisis de alternativas de intervención 2 del Medio Directo 4: Recursos humanos capacitados que aseguren la continuidad del mantenimiento en la operación del reactor de investigación.</i>	139
<b>Tabla 22</b>	<i>Costo de Productos propuestos.</i>	150
<b>Tabla 23</b>	<i>Relación de stakeholders.CÓMO SE DEFINIERON LOS STAKEHOLDERS??</i>	154
<b>Tabla 24</b>	<i>Incidencias de Stakeholders.</i>	154
<b>Tabla 25</b>	<i>Viabilidad Política de stakeholders según productos.</i>	155
<b>Tabla 26</b>	<i>Desde el punto de vista normativo.</i>	157
<b>Tabla 27</b>	<i>Matriz de actores sociales.</i>	159
<b>Tabla 28</b>	<i>Indicador del P1: Programa actualizado de mantenimiento en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares.</i>	163
<b>Tabla 29</b>	<i>Indicador del P2: Procedimiento de liberación de estructuras, componentes y sistemas para la operación del reactor nuclear de investigación RP-10.</i>	164

<b>Tabla 30</b>	<i>Indicador del P3: Manual de mantenimiento actualizado en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares .....</i>	166
<b>Tabla 31</b>	<i>Indicador del P4: Programa de capacitación para el personal del departamento de mantenimiento .....</i>	167
<b>Tabla 32</b>	<i>Indicador global: Optimización del sistema de gestión en el Departamento Mantenimiento de la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares del Instituto Peruano de Energía Nuclear. ....</i>	168

## Índice de Figuras

<b>Figura 1.</b> Cantidad de reactores de investigación en el mundo. ....	20
<b>Figura 2.</b> Reactores de investigación en el mundo acorde a su antigüedad. ....	20
<b>Figura 3.</b> Edificio del reactor Es-Salam.....	21
<b>Figura 4.</b> Edificio del reactor nuclear de investigación Gharr-1.....	22
<b>Figura 5.</b> Edificio del reactor egipcio ETRR-2.....	23
<b>Figura 6.</b> Primera criticidad del reactor NIRR-1 en el año 2004.....	25
<b>Figura 7.</b> Núcleo del reactor Safari-1.....	26
<b>Figura 8.</b> Número estimado de casos de cáncer a nivel mundial, al año 2020. ..	28
<b>Figura 9.</b> Número estimado de casos de cáncer a nivel mundial, al año 2020, por país. ....	28
<b>Figura 10.</b> Sala de Control del reactor ETRR-2. ....	29
<b>Figura 11.</b> Centro Nuclear PALLAS.....	31
<b>Figura 12.</b> Instalaciones del NTP Radioisotopes SOC.....	32
<b>Figura 13.</b> Instalaciones de la planta de ANSTO. ....	34
<b>Figura 14.</b> Productos manufacturados por Isotope JSC. ....	35
<b>Figura 15.</b> Reactores de investigación en Latinoamérica. ....	36
<b>Figura 16.</b> Reactores de investigación en Latinoamérica dedicados a la producción de radioisótopos.....	37
<b>Figura 17.</b> Reactor de investigación RECH-1. ....	38
<b>Figura 18.</b> Reactor de investigación RA-3. ....	39
<b>Figura 19.</b> Reactor de investigación RA-6. ....	41
<b>Figura 20.</b> Boca de tanque del reactor TRIGA Mark III. ....	42
<b>Figura 21.</b> Edificio del reactor IPR-R1. ....	43
<b>Figura 22.</b> Piscina del reactor JM-1. ....	45
<b>Figura 23.</b> Reactores de investigación para producción de radioisótopos en Latinoamérica.....	46
<b>Figura 24.</b> Número estimado de casos de cáncer en Sudamérica, año 2020. ....	47
<b>Figura 25.</b> Incidencia de casos de cáncer en Sudamérica, año 2020 .....	47
<b>Figura 26.</b> Instalación del CENTIS. ....	48
<b>Figura 27.</b> Control de Calidad de Radioisótopos. ....	51
<b>Figura 28.</b> Producción de I-131 en el IPEN. ....	52
<b>Figura 29.</b> Producción de radiofármacos. ....	54

<b>Figura 30.</b> Reactor nuclear de investigación RP-10.....	56
<b>Figura 31.</b> Casos nuevos de cáncer en el año 2020, en Perú. ....	59
<b>Figura 32.</b> Casos nuevos por tipo de cáncer 2020, en Perú. ....	59
<b>Figura 33.</b> Incidencia y mortalidad por tipo de cáncer 2020, en Perú. ....	60
<b>Figura 34.</b> Evolución del mercado de radiofármacos, 2012 – 2017. ....	61
<b>Figura 35.</b> Descripción de un radiofármaco. ....	76
<b>Figura 36.</b> Producción de radiofármacos en Perú.....	78
<b>Figura 37.</b> Organigrama del Instituto Peruano de Energía Nuclear.....	117
<b>Figura 38.</b> Organigrama de la Dirección de Producción. ....	118
<b>Figura 39.</b> Organigrama del Departamento de Mantenimiento. ....	118
<b>Figura 40.</b> Árbol de problemas. ....	129
<b>Figura 41.</b> Árbol de causas.....	133

## Resumen

La presente investigación aplicada, denominada “Optimización de la Gestión del Departamento de Mantenimiento de la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares del Instituto Peruano de Energía Nuclear - IPEN”, se realizó en el Instituto Peruano de Energía Nuclear del Perú abordando un problema álgido en la gestión pública como es una inadecuada gestión del mantenimiento de la Entidad en mención.

Se buscó optimizar la gestión del Departamento Mantenimiento de la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares del Instituto Peruano de Energía Nuclear; para alcanzar dicho objetivo, se trabajó en: un programa de mantenimiento actualizado donde se muestre la frecuencia de intervención a cada estructura, sistema y componente del reactor nuclear de investigación RP-10, un procedimiento de liberación de estructuras, componentes y sistemas para la operación del reactor nuclear de investigación RP-10, un manual de mantenimiento actualizado en el que figure como se gestiona el mantenimiento, y un programa de capacitación para el personal del departamento de mantenimiento. Cabe indicar que, los productos presentados, fueron viables, pertinentes, válidos y permitieron alcanzar los objetivos planteados de forma sostenible.

La metodología empleada se plasmó a través de una investigación para resultados, describiendo los problemas que lo originan; en dicho contexto, se analizó y determinó sus nudos críticos identificando cadenas de valor que contenían las relaciones de causa y efecto, permitiendo identificar los efectos de los problemas por modificar. Bajo dicho escenario, se abordó las soluciones respaldadas en evidencias y requeridas por la Institución.

**Palabras clave:** gestión pública, programa de mantenimiento, reactor nuclear, procedimiento de liberación de estructuras, capacitación.

## **Abstract**

This applied research, called "Optimization of the Management of the Maintenance Department of the Sub-Directorate of Nuclear Reactor Operation of the Peruvian Institute of Nuclear Energy - IPEN", was carried out at the Peruvian Institute of Nuclear Energy of Peru, addressing a critical problem in public management such as inadequate maintenance management of the entity in question.

The aim was to optimize the management of the Maintenance Department of the Nuclear Reactor Operation Sub-Directorate of the Peruvian Institute of Nuclear Energy; to achieve this objective, work was done on: an updated maintenance program showing the frequency of intervention to each structure, system and component of the RP-10 nuclear research reactor, a procedure for the release of structures, components and systems for the operation of the RP-10 nuclear research reactor, an updated maintenance manual showing how maintenance is managed, and a training program for the personnel of the maintenance department. It should be noted that the products presented were viable, pertinent, valid and made it possible to achieve the objectives set in a sustainable manner.

The methodology used was based on research for results, describing the problems that originate it; in this context, the critical nodes were analyzed and determined, identifying value chains that contained the cause-and-effect relationships, making it possible to identify the effects of the problems to be modified. Under this scenario, the solutions supported by evidence and required by the Institution were addressed.

**Keywords:** public management, maintenance program, nuclear reactor, structure release procedure, training.

## **Introducción**

En la presente Investigación se analiza la Gestión del Departamento de Mantenimiento de la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares del Instituto Peruano de Energía Nuclear, un tema de gran importancia porque permite garantizar las operaciones del reactor nuclear de investigación y sus actividades de irradiación del reactor para la fabricación de radiofármacos, los cuales son enviados a clínicas y hospitales para el diagnóstico y tratamiento de las enfermedades oncológicas, contribuyendo a mejorar la salud pública, y por ende a la calidad de vida de los ciudadanos.

El presente trabajo de investigación resulta de gran interés porque los radioisótopos fabricados por la Entidad en estudio son utilizados en la obtención de un diagnóstico médico; así como, en el tratamiento de las enfermedades oncológicas. Por lo cual, su producción y distribución resulta esencial dentro de los servicios de salud dirigidos a la población nacional. Considerando que para la manufactura de estos fármacos se requiere de los procesos de irradiación en el reactor nuclear de investigación RP-10, es necesario contar con una adecuada gestión de mantenimiento en la Sub-Dirección de Operación de Reactores Nucleares para asegurar la continuidad de las operaciones seguras de este reactor nuclear.

Las causas que han originado la problemática analizada son: programa de mantenimiento desactualizado en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares, inexistencia de un procedimiento de liberación de estructuras, componentes y sistemas para la operación del reactor nuclear de investigación RP-10, Manual de mantenimiento desactualizado en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares, y el no contar con recursos humanos capacitados y licenciados que aseguren la continuidad del mantenimiento en la operación del reactor nuclear de investigación RP-10.

Se ha planteado como Objetivo General: Optimizar la gestión del Departamento Mantenimiento de la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares del Instituto Peruano de Energía Nuclear, y como Objetivos Específicos: Elaborar un programa de mantenimiento actualizado en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares, elaborar un procedimiento de liberación de estructuras, componentes y sistemas para la operación del reactor nuclear de investigación RP-10, elaborar el manual de mantenimiento actualizado en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares, y capacitar a los recursos humanos para asegurar la continuidad del mantenimiento en la operación del reactor nuclear de investigación RP-10.

El tipo de investigación es aplicada y la metodología utilizada es de investigación para resultados, que focaliza la identificación de cadenas de valor que contengan relaciones causales entre las principales causas y los efectos de la problemática que se deseaba cambiar y en base a ello hacer una propuesta de intervención sustentada en evidencias.

En ese sentido el trabajo de investigación aplicada se desarrolló en siete capítulos, como sigue:

El Capítulo I: Generalidades. En este capítulo se desarrolló la línea de investigación y el tema de investigación. Asimismo, se identificó la realidad problemas desde diferentes perspectivas: a nivel mundial, latinoamericano y nacional. Adicionalmente, se identificó la justificación relacionada al trabajo de investigación considerando los aspectos teórico, metodológico, práctico, de conveniencia y pertinencia social, y económico.

El Capítulo II: Marco Teórico. En este capítulo se describen las investigaciones previas relacionadas al trabajo de investigación. Asimismo, se indican los modelos conceptuales relacionados a la condición interés – problema y las bases teóricas, los cuales sirven como guía para el análisis del tema de investigación.

El Capítulo III: Diagnóstico. Este capítulo se centra en la identificación de los problemas en la organización. Se efectúa la presentación de la empresa y el

análisis de la misma haciendo énfasis en las áreas que se encuentran involucradas, detectando y describiendo los problema general y específicos, señalando la realidad de la institución e identificando las causas directas que lo originan y evidencias que lo sustentan, mediante el empleo de un árbol del problema.

El Capítulo IV: Formulación. En este capítulo se desarrolló el planteamiento de los resultados mediante un árbol de causas presentando el análisis de las alternativas de intervención para lograr la solución por cada uno de los problemas presentados. Se considera en imagen espejo el árbol de medios y fines señalando los medios directos e indirectos.

El Capítulo V: Propuesta de implementación. En este capítulo se plantean los objetivos de la investigación, general y específicos, que se propone alcanzar. Asimismo, se describe cada uno de los productos propuestos a desarrollar y elaborar como parte del trabajo de investigación aplicada, considerando la estimación de costos por su implementación.

El Capítulo VI: Análisis de Viabilidad. En este capítulo se analiza de forma íntegra la viabilidad por cada una de los productos propuestos, desde diversas perspectivas considerando la viabilidad política, técnica, social y presupuestal. Además, se señala el valor público de la investigación.

El Capítulo VII: Seguimiento. En este capítulo se muestran los indicadores requeridos para efectuar el seguimiento y control en la implementación de los productos propuestos, desarrollando un indicador específico por cada producto además de un indicador global correspondiente al trabajo de investigación.

Finalmente se presentan las conclusiones a las que se arriba en la investigación, así como las recomendaciones que alcanzamos a la institución pública para la mejore implantación de cada una de las soluciones propuestas.

*La Autora*

## **Capítulo I**

### **Generalidades**

#### **1.1. Línea de Investigación**

La línea de investigación del presente trabajo de investigación es la Gerencia Pública con énfasis en la Modernización de la Gestión Pública y enfocada en Gestión por Resultados y Gestión por Procesos.

#### **1.2. Tema de investigación**

La presente investigación aborda el tema de: Gestión de mantenimiento de la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares del Instituto Peruano de Energía Nuclear - IPEN.

#### **1.3. Identificación de la realidad problema**

##### **1.3.1. Problemática Mundial.**

###### **A. Reactores de Investigación.**

En el mundo, según el Organismo Internacional de Energía Atómica OIEA (2018):

Los reactores de investigación son reactores nucleares que se utilizan con fines de investigación, desarrollo, enseñanza y capacitación. Producen neutrones para su uso en la industria, la medicina, la agricultura y la ciencia forense, entre otros ámbitos. El OIEA presta asistencia a los Estados Miembros en la construcción, la explotación, la utilización y el ciclo del combustible de los reactores de investigación, así como en la creación de capacidad y el desarrollo de infraestructuras (s/n).

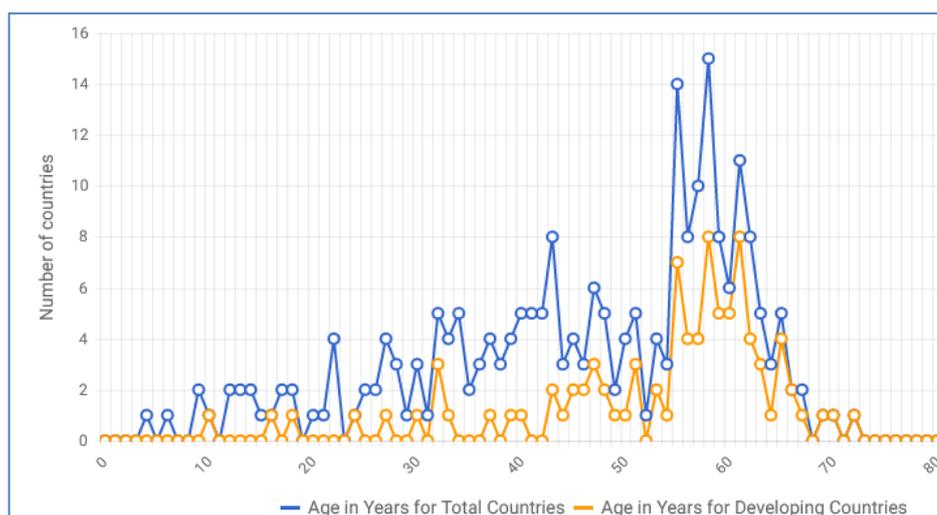
Para el año 2022, existen 841 instalaciones de reactores de investigación alrededor del mundo, como se puede ver en la Figura 1, en diferentes estados: planificados, en construcción, en operación, parada temporal, parada prolongada, parada permanente, en desmantelación o desmantelados.

STATUS	DEVELOPED COUNTRIES	DEVELOPING COUNTRIES	ALL COUNTRIES
PLANNED	2	11	13
UNDER CONSTRUCTION	4	7	11
OPERATIONAL	137	87	224
TEMPORARY SHUTDOWN	7	4	11
EXTENDED SHUTDOWN	5	8	13
PERMANENT SHUTDOWN	45	12	57
UNDER DECOMMISSIONING	62	4	66
DECOMMISSIONED	415	31	446
<b>Total</b>	<b>677</b>	<b>164</b>	<b>841</b>

**Figura 1.** Cantidad de reactores de investigación en el mundo.

Fuente: Organismo Internacional de Energía Atómica, Research Reactor Database, 2022.

En la Figura 2 se presentan la cantidad de países que poseen reactores nucleares de investigación, considerando la antigüedad de estos.



**Figura 2.** Reactores de investigación en el mundo acorde a su antigüedad.

Fuente: Organismo Internacional de Energía Atómica, Research Reactor Database, 2022.

a. **Algeria: ES-SALAM.**

De acuerdo a lo indicado por el Organismo Internacional de Energía Atómica, Algeria (2020), el reactor Es-Salam es un reactor de investigación de agua pesada polivalente de

15 MW de agua pesada de 15 MW situado en Birine. Es propiedad de la Comisión de Energía Atómica de Argelia (COMENA) y es explotado por el Centro de Investigación Nuclear de Birine (CRNB). Encargado en 1992, se utiliza como herramienta experimental y de formación en técnicas nucleares y física de reactores. (p. 3).



**Figura 3.** Edificio del reactor Es-Salam.

Fuente: Organismo Internacional de Energía Atómica, Argelia, 2020.

Asimismo, de acuerdo al Organismo Internacional de Energía Atómica, Argelia (2020); sus productos y servicios incluyen:

- ✓ Servicios de irradiación y análisis
  - Sistema neumático para Análisis por Activación Neutrónica (AAN) y recuento de neutrones retardados.
  - Instalación de radiografía de neutrones (estática y dinámica) para el procesamiento y los ensayos no destructivos de materiales (p. 3).
  
- ✓ Investigación y desarrollo
  - Celdas calientes para ensayos destructivos y no destructivos de materiales irradiados. (p. 3).

- ✓ Educación y formación
  - Física del reactor y tecnología nuclear, además de seguridad nuclear y protección contra las radiaciones (p. 4).

b. Ghana: GHARR-1

El Organismo Internacional de Energía Atómica (2020) señala que el reactor GHARR-1 es del tipo MNSR (Reactor de Fuente de Neutrones en Miniatura. Este reactor es de baja potencia similar en diseño al reactor canadiense slowpoke. Su edificación y puesta en marcha fueron acreditadas e inspeccionadas por la Autoridad de Regulación Nuclear de Ghana con la ayuda del OIEA.



**Figura 4.** Edificio del reactor nuclear de investigación Gharr-1.

Fuente: Organismo Internacional de Energía Atómica, Ghana, 2020.

Las actividades desarrolladas en dicha facilidad están comprendidas por (Organismo Internacional de Energía Atómica, Ghana, 2020):

- ✓ Investigación y desarrollo
  - Geoquímica, hidroquímica, estudios de fertilidad del suelo y estudios en cerámicos. (p. 9).

- ✓ Irradiación y servicios analíticos
  - Análisis de agua de pozos, sedimentos y agua de arroyos y ríos en zonas mineras. (p. 9).
  - Producción de radioisótopos como trazadores para la petroquímica y la minería. (p. 9).
  
- ✓ Educación y formación
  - Formación de científicos nucleares.
  - Educación para estudiantes universitarios y otros estudiantes mediante proyectos e investigación en ciencia y tecnología nuclear (p. 10).

c. Egipto: ETRR-2.

El Organismo Internacional de Energía Atómica (2020) informa que:

El reactor ETRR-2 (Organismo Internacional de Energía Atómica, 2020) es un reactor de investigación de tipo piscina abierta con una potencia térmica de 22 MW con reflectores de berilio y combustible de uranio poco enriquecido, y cuenta con 26 posiciones de irradiación.



**Figura 5.** Edificio del reactor egipcio ETRR-2.

Fuente: Organismo Internacional de Energía Atómica, Egipto, 2020.

Este reactor posee dos sistemas de transporte neumático rápido para la irradiación rápida utilizada en la técnica de AAN, además de varias instalaciones de celdas calientes para el procesamiento de radioisótopos y la manipulación de muestras irradiadas, inspecciones y ensayos de materiales.

Los productos y servicios de este reactor abarcan (Organismo Internacional de Energía Atómica, Egipto, 2020):

- ✓ Investigación y desarrollo
  - Investigación sobre cálculos y modelización neutrónica y termohidráulica.
  - Análisis de muestras. (p. 7).
  
- ✓ Servicios de irradiación y análisis
  - Irradiación de muestras para el análisis de diferentes muestras mediante AAN para aplicaciones geológicas y medioambientales.
  - Producción de generadores de tecnecio 99m y yodo I-131. (p. 7).

d. Nigeria: NIRR-1.

De acuerdo a lo indicado por el Organismo Internacional de Energía Atómica, Nigeria (2020):

El MNSR nigeriano, o Nigeria Research Reactor-1 (NIRR-1), es un reactor de investigación de baja potencia, pequeño, compacto y seguro, reactor de investigación tanque-en-piscina. El MNSR fue diseñado para ser utilizado en universidades, hospitales e institutos de investigación, principalmente para la producción de

radioisótopos de corta duración y para la formación de profesionales. El NIRR-1 es propiedad de la Comisión de Energía Atómica de Nigeria, con la ayuda del OIEA. Se encuentra en el Centro de Investigación y Formación de Investigación y Formación Energética de la Universidad Ahmadu Bello en Zaria, Estado de Kaduna (p. 15).



**Figura 6.** Primera criticidad del reactor NIRR-1 en el año 2004.

Fuente: Organismo Internacional de Energía Atómica, Nigeria, 2020.

Este reactor se utiliza principalmente para el uso de la técnica de análisis por activación neutrónica (AAN) y el entrenamiento. El AAN se utiliza en apoyo de la investigación, la irradiación comercial y los programas de enseñanza. Los sistemas auxiliares, como los sistemas de transferencia neumática (rabbit), proporcionan capacidades adicionales al AAN. Sus productos y servicios son (Organismo Internacional de Energía Atómica, Nigeria, 2020):

- Determinación de nutrientes y metales pesados en alimentos y bebidas nigerianos y etíopes, mediante AAN epidermal.
- Análisis elemental de un pescado de consumo habitual en Nigeria para mejorar la nutrición y la salud humanas. (p. 16).

e. Sudáfrica: SAFARI-1.

El Organismo Internacional de Energía Atómica (2020) indica que:

Construida en 1961, la Instalación del Reactor Atómico Fundamental de Sudáfrica (SAFARI-1) es un reactor de tipo piscina con una potencia operativa autorizada de 20 MW. Situado en Pelindaba, cerca de Pretoria, alcanzó su primera criticidad en 1965. SAFARI-1 ha demostrado su éxito proporcionando servicios fiables a Sudáfrica, y es al mismo tiempo una empresa comercial de gran éxito (p. 18).



**Figura 7.** Núcleo del reactor Safari-1.

Fuente: Organismo Internacional de Energía Atómica, Sudáfrica, 2020.

Este reactor centra su utilización en aplicaciones comerciales, contando con una amplia gama de instalaciones de apoyo, incluyendo una planta de fabricación de combustible; para ello, el reactor funciona 24 horas al día, 7 días a la semana, con más de 300 días al año a plena potencia.

Adicionalmente, Safari-1 cuenta con un sistema de gestión integrado referido a la calidad, salud, seguridad y medio

ambiente de SAFARI-1, encontrándose certificado según las normas ISO 9000 e ISO 14000.

Los productos y servicios del reactor en mención están comprendidos por (Organismo Internacional de Energía Atómica, Sudáfrica, 2020):

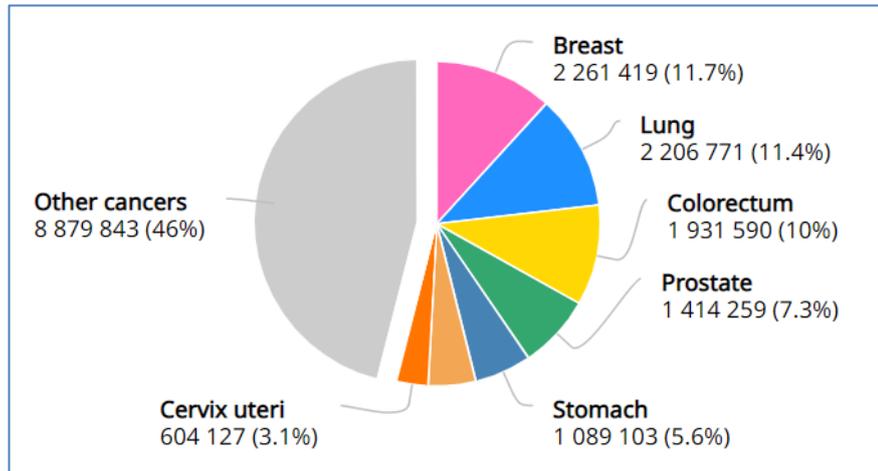
- ✓ Servicios de irradiación y análisis
  - Producción de radioisótopos para aplicaciones médicas (para uso nacional y para la exportación), especialmente 99Mo y 131I.
  - Radiografía y tomografía digital de neutrones para diversas aplicaciones, como la exploración de petróleo y minerales (p. 18).
  
- ✓ Educación y formación
  - Organización de cursos y talleres de formación nacional, regional e internacional.
  - Educación y formación para estudiantes universitarios (p. 18).

B. Radiofármacos para el diagnóstico y tratamiento del cáncer.

De los 224 reactores de investigación en operación en el mundo, 79 de ellos efectúan la irradiación para la obtención de radioisótopos.

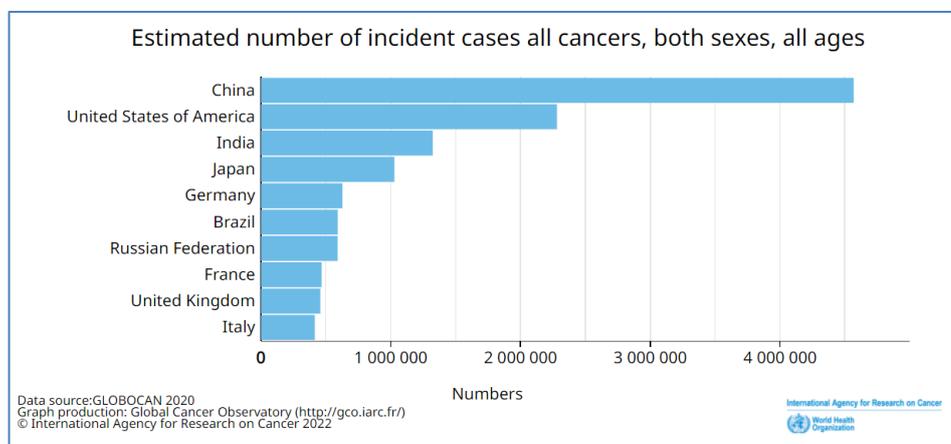
En la figura 8 y acorde a la información registrada por la International Agency for Research on Cancer (Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer) - agencia del Organismo Mundial de la Salud (OMS) – se visualizan los 19,292,789 nuevos casos de cáncer a nivel mundial presentados durante el año 2020. Asimismo, se tiene que el cáncer de mama con 2,261,419 casos ocupan el primer lugar entre los tipos de

cánceres; seguido por el cáncer de pulmón con 2,206,771 casos; y continuado por el cáncer de colon con 1,931,590 casos.



**Figura 8.** Número estimado de casos de cáncer a nivel mundial, al año 2020. Fuente: International Agency for Research on Cancer, 2020.

Asimismo, en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.9** se muestra la cantidad total estimada de casos de cáncer por país a nivel mundial, verificando que China ocupa el primer lugar de este ranking con un estimado de 4,568,754 casos; seguida por el país de Estados Unidos de América con 2,281,658 casos, y teniendo a India en un tercer lugar con un total estimado de 1,324,413 casos.



**Figura 9.** Número estimado de casos de cáncer a nivel mundial, al año 2020, por país.

Fuente: International Agency for Research on Cancer, Globocan, 2020.

- a. Egipto: Instalación de producción de radioisótopos.  
Acorde a INVAP (2015), la Planta de Producción de Radioisótopos (RPF) ubicada en Egipto fue diseñada y construida por ellos en el marco de un contrato con la Atomic Energy Authority (AEA) de dicho país.

La finalidad máxima de esta instalación fue la producción de Molibdeno-99, principal producto usado en la radiofarmacia, mediante una técnica que emplea uranio de bajo enriquecimiento acorde a un proyecto diseñado por la institución argentina denominada Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA).

La Planta de Producción de Radioisótopos (RPF) se encuentra ubicada al interior del Complejo ETRR-2 de la AEA, en el Centro Nuclear de Inshas. Este centro fue construido con el objetivo de enfocarse a la investigación científica y producción de radioisótopos para uso industrial y médico.



**Figura 10.** Sala de Control del reactor ETRR-2.  
Fuente: INVAP, Reactor ETRR-2 de Egipto, 2015.

Asimismo, INVAP (2011) informa en relación a este reactor lo siguiente:

Se realizaron en el Reactor de Investigación ETRR-2, tareas correspondientes a la puesta en marcha y ensayos de las facilidades para irradiación de blancos para producción de Molibdeno en la RPF. Dada su importancia cabe mencionar en particular la producción de 3 lotes de Molibdeno-99 obteniendo 205, 340 y 523Ci con irradiaciones en el Reactor ETRR-2 del orden de 2, 3 y 5 días respectivamente. El lote nominal es de 500Ci y la planta está preparada para producir 1000Ci por semana (s/n).

b. Holanda: Pallas

Tielens, Van der Lugt, Rood, & Geldermans (2020) señalan que la demanda de medicamentos usados en la medicina nuclear para diagnóstico y terapia se incrementa velozmente, encontrándose en la búsqueda de nuevos radiofármacos que resulten eficaces contra las enfermedades cancerígenas y otras potencialmente mortales.

Pallas ha sido diseñado y construido bajo un modelo ascendente que permita identificar las necesidades existentes y futuras en el mercado para la manufactura de nuevos radioisótopos y su aplicación en los pacientes, considerando los reactores de investigación disponibles a nivel nacional e internacional.

Para Tielens, Van der Lugt, Rood, & Geldermans (2020), la investigación de PALLAS muestra que: La capacidad

disponible para un isótopo clave como el lutecio-177 no podrá satisfacer la demanda a partir de 2025. Como no existen métodos de producción alternativos eficaces para la mayoría de los isótopos terapéuticos, está claro que se necesitará una nueva capacidad de reactores. (p. 310)



**Figura 11.** Centro Nuclear PALLAS.

Fuente: PALLAS, 2022

PALLAS (2022) menciona que este complejo significará un hito importante en el progreso de las ciencias médicas a través de la investigación y desarrollo de nuevas técnicas aplicables al tratamiento de enfermedades mortales, teniendo como visión convertirse en el mayor centro de conocimiento e investigación de la medicina nuclear en Europa.

Asimismo, PALLAS (2022) en su página web oficial informa que, además de la producción de isótopos médicos, PALLAS tiene la posibilidad de realizar investigaciones. Por ejemplo, PALLAS puede desempeñar un papel importante en la investigación de nuevos diseños de combustible. Un ejemplo de ello es el desarrollo de combustible tolerante a los accidentes que, cuando se desarrolle, aumentará la seguridad de los reactores (s/n).

c. Sudáfrica: NTP Radioisotopes.

NTP Radioisotopes SOC (2018) ubicado en el continente africano informa que:

NTP es uno de los principales productores y proveedores de ingredientes farmacéuticos activos y ofrece un servicio interno de radiofarmacia a la comunidad de medicina nuclear del sur de África (s/n).

Asimismo, NTP Radioisotopes SOC (2018) señala que los radiofármacos son radioisótopos médicos marcados, los cuales son usados en aplicaciones médicas para diagnóstico y terapia de enfermedades oncológicas.

NTP Radioisotopes SOC, como empresa, tiene el objetivo de cubrir de forma oportuna los requerimientos de sus clientes; por dicho motivo, en su construcción contempló – además de la planta de producción de radiofármacos - contar con un reactor nuclear y un ciclotrón in situ que les permita tener toda la maquinaria involucrada en la cadena productiva de radiofármacos.

Las instalaciones de NTP (2018) incluyen:

- ✓ Servicios de irradiación: SAFARI-1, está en funcionamiento más de 300 días al año y es uno de los reactores de investigación más utilizados comercialmente en el mundo. (s/n).



**Figura 12.** Instalaciones del NTP Radioisotopes SOC.

Fuente: NTP Radioisotopes SOC, 2018.

- ✓ Producción y procesamiento de radioquímicos: NTP es uno de los principales proveedores mundiales de molibdeno-99 y yodo-131. El reactor SAFARI-1 y su planta adyacente de procesamiento de radiofármacos cumplen con las normas ISO 9001 e ISO 14001. (s/n).
- ✓ Procesamiento de radiofármacos: Dispone de instalaciones de procesamiento in situ para suministrar radiofármacos en forma de kit o como dosis para pacientes listas para usar. (s/n).

d. Australia: ANSTO.

ANSTO (2022), a través de su página web oficial, informa que realizan el suministro de una gran diversidad de medicamentos resultantes de las aplicaciones pacíficas de la energía nuclear. Dichos fármacos son producidos en áreas limpias cumpliendo los requisitos de las Buenas Prácticas de Manufactura (GMP), y contando con las autorizaciones dadas por la Administración de Productos Terapéuticos; lo que permite garantizar la inocuidad de sus productos.

La producción del pertecnetato de sodio Tc-99m, obtenido del decaimiento del molibdeno Mo-99, se efectúa en sus recintos ubicados en Lucas Heights; el cual es distribuido a los centros de medicina nuclear en todo Australia, siendo una de las pocas empresas en el mundo capaces de suministrar pertecnetato de sodio (Tc-99m) desde un solo lugar.



**Figura 13.** Instalaciones de la planta de ANSTO.

Fuente: ANSTO, 2022.

ANSTO (2022) referente al tratamiento de residuos de Mo-99 informa lo siguiente:

La tecnología Synroc® de ANSTO es una innovación australiana que ofrece una forma permanente, segura y económica de tratar los residuos de la fabricación de medicina nuclear pasada, actual y futura. Una de sus principales ventajas es que reduce significativamente el volumen de los subproductos nucleares en comparación con otros métodos (como el encapsulado en cemento), lo que puede ahorrar a las organizaciones millones de dólares en el almacenamiento seguro y la eliminación final de sus residuos (s/n).

- e. Rusia: Isotope - Regional Alliance, Joint Stock Company (Isotope JSC).

Isotope - Regional Alliance, Joint Stock Company (2022) a través de su página web oficial informa que se ha convertido en un nexo importante entre los fabricantes rusos de isótopos con los mercados nacionales y extranjeros, siendo actualmente el único proveedor de productos isotópicos manufacturados por el consorcio de

la Corporación ROSATOM con una cartera de clientes de más de 100 organizaciones extranjeras de más de 50 países y casi 600 empresas en Rusia.

Joint Stock Company lleva en el mercado más de 60 años proveyendo suministros isotópicos usando tecnologías de fisión, ciclotrón, electromagnética y centrífuga de gas.



**Figura 14.** Productos manufacturados por Isotope JSC.

Fuente: Isotope - Regional Alliance, Joint Stock Company, Medical isotopes and products, s.f.

Isotope - Regional Alliance, Joint Stock Company, Isotope product supplies to domestic and foreign markets (2022) señala que, desarrolla una cooperación activa con las principales organizaciones internacionales para reducir la amenaza que suponen los materiales radiológicos. Desde 2004, se han desmontado de forma segura más de 250 RTG (generadores termoeléctricos radioisotópicos) y se han trasladado más de 7.000 fuentes de Co-60 y Cs-137 a zonas de almacenamiento permanente (s/n).

### 1.3.2. Problemática Latinoamericana.

#### A. Reactores de Investigación.

De los 224 reactores de investigación en operación, 16 se encuentran en Latinoamérica, en los países de México, Brasil, Argentina, Chile, Jamaica, Colombia y Perú. (Ver Figura 15).

FACILITY NAME†	COUNTRY†	STATUS	THERMAL POWER
<b>RA</b> RA-0 Type: TANK	Country Argentina City: Crdoba	Operational	0.01
<b>RE</b> RA-1 Enrico Fermi Reactor Type: TANK	Country Argentina City: Buenos Aires	Operational	40
<b>RA</b> RA-3 Type: POOL	Country Argentina City: Ezeiza	Operational	10000
<b>RA</b> RA-4 Type: HOMOG (S)	Country Argentina City: Rosario	Operational	0.001
<b>RA</b> RA-6 Type: POOL	Country Argentina City: San Carlos de Bariloche	Operational	500
<b>AR</b> Argonauta Type: ARGONAUT	Country Brazil City: Rio De Janeiro	Operational	0.2
<b>IE</b> IEA-R1 Type: POOL	Country Brazil City: Sao Paulo	Operational	5000
<b>IP</b> IPEN/MB-01 Type: POOL	Country Brazil City: Sao Paulo	Operational	0.1
<b>IP</b> IPR-R1 Type: TRIGA MARK I	Country Brazil City: Belo Horizonte	Operational	100
<b>RE</b> RECH-1 Type: POOL	Country Chile City: Santiago	Operational	5000
<b>IA</b> IAN-R1 Type: TRIGA CONV	Country Colombia City: Bogota	Operational	30
<b>UC</b> UWI CNS SLOWPOKE Type: SLOWPOKE	Country Jamaica City: Mona	Operational	20
<b>NC</b> Nuclear Chicago Mod 9000 Type: SUBCRIT	Country Mexico City: Mexico City	Operational	0
<b>TM</b> TRIGA Mark III Type: TRIGA MARK III	Country Mexico City: La Marquesa Ocoyoacac	Operational	1000
<b>RP</b> RP-0 Type: CRIT ASSEMBLY	Country Peru City: Lima	Operational	0.001
<b>RP</b> RP-10 Type: POOL	Country Peru City: Lima	Operational	10000

**Figura 15.** Reactores de investigación en Latinoamérica.

Fuente: Organismo Internacional de Energía Atómica, Research Reactor Database, 2022.

De los 16 reactores de investigación en operación que se encuentran en Latinoamérica, solo el 50% de ellos cuenta con las instalaciones y facilidades requeridas para la producción de radioisótopos. Dicho listado se ve en la Figura 16.

FACILITY NAME↑	COUNTRY↑	STATUS	THERMAL POWER
<b>RA</b> RA-3 Type: POOL	Country Argentina City: Ezeiza	Operational	10000
<b>RA</b> RA-6 Type: POOL	Country Argentina City: San Carlos de Bariloche	Operational	500
<b>AR</b> Argonauta Type: ARGONAUT	Country Brazil City: Rio De Janeiro	Operational	0.2
<b>IE</b> IEA-R1 Type: POOL	Country Brazil City: Sao Paulo	Operational	5000
<b>IP</b> IPR-R1 Type: TRIGA MARK I	Country Brazil City: Belo Horizonte	Operational	100
<b>RE</b> RECH-1 Type: POOL	Country Chile City: Santiago	Operational	5000
<b>TM</b> TRIGA Mark III Type: TRIGA MARK III	Country Mexico City: La Marquesa Ocoyoacac	Operational	1000
<b>RP</b> RP-10 Type: POOL	Country Peru City: Lima	Operational	10000

**Figura 16.** Reactores de investigación en Latinoamérica dedicados a la producción de radioisótopos. **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. Tabla 2**

Fuente: Organismo Internacional de Energía Atómica, Research Reactor Database, 2022.

a. Chile: Reactor Nuclear de investigación RECH-1

De acuerdo a lo indicado por la Comisión Chilena de Energía Nuclear (2019), la primera puesta en servicio del reactor nuclear de investigación RECH-1 se realizó en octubre del año 1974, diseñado con una potencia térmica de cinco mega watts y empleando elementos combustibles de uranio de bajo enriquecimiento.

El principal uso de este reactor está enmarcado en la producción de radioisótopos ligados a la medicina nuclear.

Adicionalmente, cuenta con las facilidades de irradiación necesarias para efectuar el análisis químico de diversas muestras con el objetivo de determinar periodos de antigüedad y preparación de trazadores radiactivos.

El sistema de enfriamiento del reactor nuclear de investigación RECH-1 consta de dos circuitos, uno primario y otro secundario. El sistema de refrigeración primario está encargado de extraer el calor generado en el núcleo del reactor; mientras que, el sistema de refrigeración secundario intercambia este calor descargándolo al ambiente exterior mediante la operación de torres de enfriamiento e intercambiadores de calor. Ambos circuitos son cerrados, impidiendo el cruce de los fluidos que contienen.



**Figura 17.** Reactor de investigación RECH-1.

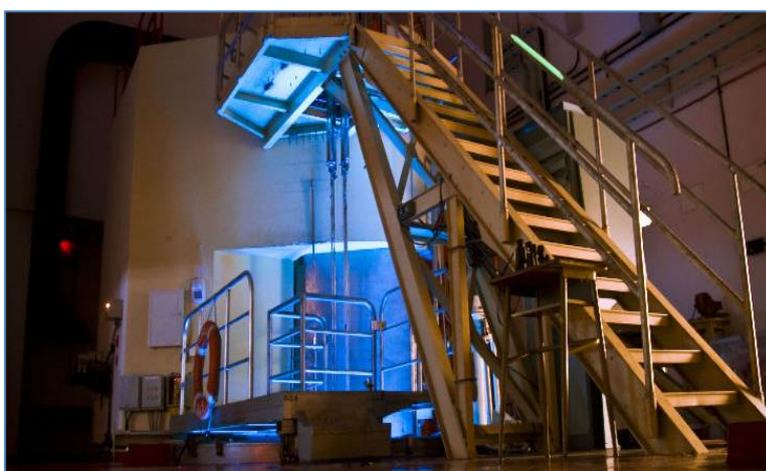
Fuente: Comisión Chilena de Energía Nuclear, 2019.

- b. Argentina: Reactor Nuclear de investigación RA-3  
De acuerdo a lo indicado por la Comisión Nacional de Energía Atómica (2019), el reactor nuclear de investigación RA-3 ubicado en el Centro Atómico Ezeiza tuvo su primera puesta en servicio en el año 1967. Debido a su antigüedad,

este reactor representa el principal proveedor de radioisótopos en Argentina.

La operación del reactor RA-3 se realiza a plena potencia por cuatro días a la semana de manera continua, siendo el molibdeno Mo-99 el radioisótopo más producido; esto teniendo en consideración que del decaimiento de este radionucleído se obtiene el pertecnetato de sodio Tc-99m, radiofarmaco usado en más del 80% de estudios de radiodiagnóstico a nivel mundial.

La potencia térmica inicial de diseño de este reactor fue de 0.5 MW; en el tiempo y en respuesta a las necesidades de la nación argentina, se efectuó su reponteciamiento, incrementando su potencia de 0.5 MW a 5 MW. En el año 2003, se llevó a cabo un segundo incremento duplicando su potencia a 10 MW); este aumento también significó ampliar al doble la producción de Molibdeno-99 permitiendo atender la demanda nacional y su exportación a otros mercados internacionales.



**Figura 18.** Reactor de investigación RA-3.

Fuente: Comisión Nacional de Energía Atómica, 2019.

- c. Argentina: Reactor Nuclear de investigación RA-6.  
De acuerdo a lo indicado por la Comisión Nacional de Energía Atómica (2019), en el año 1982 se inauguró el reactor nuclear argentino RA-6 en el Centro Atómico Bariloche (CAB); de similar forma al reactor nuclear de investigación RA-3, su diseño y construcción fue llevado a cabo – en su totalidad -por especialistas argentinos.

La principal finalidad de su diseño inicial fue el de utilizar este reactor como una herramienta de capacitación para el entrenamiento de nuevos operadores de centrales nucleares, además de la enseñanza a estudiantes de ciencias e ingenierías de los institutos y universidades de dicho país. Con ello, el reactor nuclear RA-6 viene contribuyendo y aportando a la formación de nuevos profesionales y especialistas del sector nuclear argentino.

La Comisión Nacional de Energía Atómica (2019), mediante su página web, indica que:

En la actualidad el RA-6 es utilizado para investigación y desarrollo en física de reactores e ingeniería nuclear. Asimismo, se usa para realizar análisis por activación neutrónica, radiografía de neutrones, ensayos de instrumentación y control e irradiación de materiales, entre otros usos. También se estudia la Terapia por Captura Neutrónica en Boro (BNCT), una terapia en fase experimental contra el cáncer que podría ser efectiva para tratar agresivos tumores de cabeza y cuello y melanoma metastásico. (s/n).

Actualmente, el reactor nuclear RA-6 es el único reactor que brinda esta interfaz en toda la región, significando una

enorme ventaja para la enseñanza y entrenamiento de estudiantes que no cuenten con este tipo de instalaciones y facilidades en sus respectivos países.



**Figura 19.** Reactor de investigación RA-6.

Fuente: Comisión Nacional de Energía Atómica, 2019.

- d. México: Reactor Nuclear de Investigación Triga Mark III. El Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (2019) informa que en México cuentan con un único reactor nuclear de investigación, el cual corresponde al modelo TRIGA llamado Mark III, sus instalaciones se ubican en el Centro Nuclear “Dr. Nabor Carrillo Flores” perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ).

El TRIGA Mark III fue diseñado y construido para la producción de radioisótopos que puedan ser usados en la medicina, la industria y la investigación. Adicionalmente, sus instalaciones sirven para la enseñanza y capacitación del personal.

Dentro de las ventajas operativas de este reactor se encuentra su núcleo móvil que le permite libre desplazamiento al interior de la piscina de acuerdo a las

necesidades de producción; además sus elementos combustibles están formados por una mezcla de hidruro de circonio con uranio, lo que significa un mayor índice de seguridad considerando que el mismo combustible contiene el elemento extintor frente a un potencial incremento de temperatura en el núcleo por encima de los 350 °C.

Actualmente reactor TRIGA Mark III cuenta con licencia vigente de operación emitida por la autoridad regulatoria de México para el funcionamiento de sus instalaciones nucleares, además de haber certificado su sistema de gestión de la calidad bajo la norma ISO 9001:2000.



**Figura 20.** Boca de tanque del reactor TRIGA Mark III.

Fuente: Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, 2019.

- e. Brasil: Reactor Nuclear de investigación IPR-R1.  
El Organismo Internacional de Energía Atómica (2017) señala que el reactor nuclear brasileño IPR-R1 es un reactor del modelo TRIGA, cuya primera operación se llevó a cabo en noviembre del año 1960.

En el transcurso de los años, las instalaciones del reactor IPR-R1 han sido principalmente usados para la enseñanza, capacitación e investigación. Adicionalmente, se implementaron facilidades que permitiesen la producción de isótopos, como el yoduro de sodio I-131 para aplicaciones médicas; además de trazadores radiactivos para salud, investigación y medioambiental.



**Figura 21.** Edificio del reactor IPR-R1.

Fuente: Organismo Internacional de Energía Atómica, Brasil, 2017.

Este reactor tipo TRIGA posee una potencia térmica autorizada de 100 kW, su refrigeración se realiza agua ligera desmineralizada, contando con tres barras de control y dos sistemas de transferencia neumática.

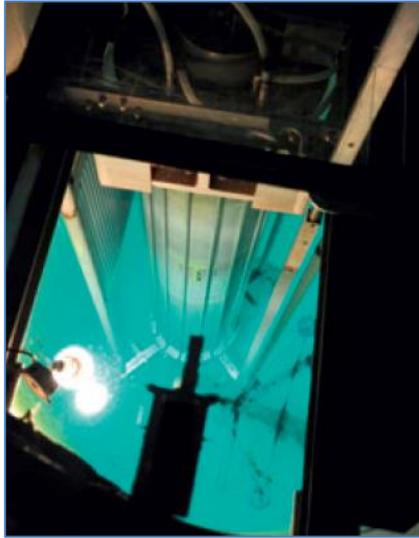
Los productos y servicios de este reactor, de acuerdo a lo informado por el Organismo Internacional de Energía Atómica (2017), abarcan:

- ✓ Investigación y desarrollo
  - Producción experimental de radioisótopos para posibles aplicaciones radiofarmacéuticas y de imagen médica.

- Servicios de irradiación.
  - AAN y recuento de neutrones retardados. (p. 20)
  
  - ✓ Educación y formación
    - Curso de operador de reactor de investigación.
    - Experimentos de física de reactores. (p. 20)
- f. Jamaica: Reactor Nuclear de investigación JM-1.  
Acorde al Organismo Internacional de Energía Atómica (2017), el reactor nuclear de investigación JM-1 es un reactor de tipo piscina Slowpoke-2 diseñado por la empresa Atomic Energy of Canada, Ltd. (AECL).

La puesta en marcha de este reactor se realizó en marzo del año 1984 en el Centro Internacional de Ciencias Medioambientales y Nucleares (ICENS) de la Universidad de Las West Indies, en el campus de Mona. A la fecha, el reactor JM-1 continua siendo propiedad de la Universidad y es gestionado por ella, siendo usado principalmente en la aplicación de la técnica de análisis por activación neutrónica en estudios relacionados con la salud, el medio ambiente y la agricultura; así como, la educación y el entrenamiento.

Este reactor tiene una potencia térmica de 20 kW con elementos combustibles de  $UO_2$  enriquecido al 19.86% en revestimiento de zircaloy. El enfriamiento y moderación del reactor JM-1 es efectuado mediante agua ligera, contando con reflectores de berilio y una barra de control central de cadmio, además de cuatro posiciones de irradiación interiores y una posición exterior.



**Figura 22.** Piscina del reactor JM-1.

Fuente: Organismo Internacional de Energía Atómica , Jamaica, 2017.

Los productos y servicios de este reactor abarcan (Organismo Internacional de Energía Atómica, 2017):

- ✓ Servicios de irradiación
  - AAN en las áreas de protección del medio ambiente, exploración minera, agricultura y seguridad alimentaria, nutrición y salud, cambio climático, medicina forense.
  - Vigilancia y estudio de las radiaciones. (p. 26)
- ✓ Educación y formación
  - Ingeniería nuclear como parte de los cursos universitarios.
  - Proyectos de investigación.
  - Cursos y talleres profesionales sobre protección radiológica. (p. 26)

B. Radiofármacos para el diagnóstico y tratamiento del cáncer.

En la región Latinoamérica, solo ocho reactores cuentan con las facilidades para ello, lo cual se observa en la Figura 23; entre

ellos, se encuentra el reactor peruano RP-10 de una potencia de 10 MW.

FACILITY NAME ↑	COUNTRY ↑	STATUS	THERMAL POWER
<b>RA</b> RA-3 Type: POOL	Argentina City: Ezeiza	Operational	10000
<b>RA</b> RA-6 Type: POOL	Argentina City: San Carlos de Bariloche	Operational	500
<b>AR</b> Argonauta Type: ARGONAUT	Brazil City: Rio De Janeiro	Operational	0.2
<b>IE</b> IEA-R1 Type: POOL	Brazil City: Sao Paulo	Operational	5000
<b>IP</b> IPR-R1 Type: TRIGA MARK I	Brazil City: Belo Horizonte	Operational	100
<b>RE</b> RECH-1 Type: POOL	Chile City: Santiago	Operational	5000
<b>TM</b> TRIGA Mark III Type: TRIGA MARK III	Mexico City: La Marquesa Ocoyoacac	Operational	1000
<b>RP</b> RP-10 Type: POOL	Peru City: Lima	Operational	10000

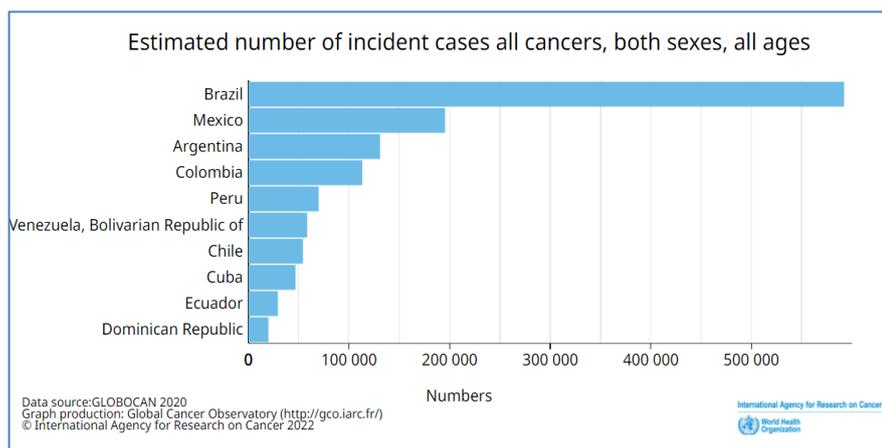
**Figura 23.** Reactores de investigación para producción de radioisótopos en Latinoamérica.

Fuente: Organismo Internacional de Energía Atómica, 2022.

El Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas (2017) en su página web señala que:

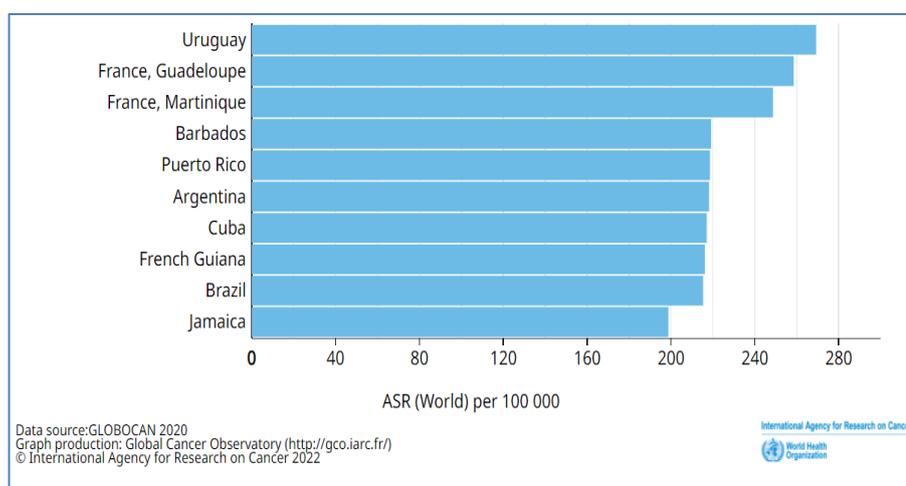
“El cáncer es un problema de salud pública a escala mundial, pues así lo demuestran sus tasas de incidencia y mortalidad. En Latinoamérica el cáncer ocupa el tercer lugar de las causas de muerte”. (Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas, 2017, s/n)

En la Figura 24 se presenta el número estimado de casos de cáncer en América del Sur, siendo Brasil el país que ocupa el primer lugar con un total de 592,212 casos, El Perú se ubica en quinto lugar contando con 69,849 casos.



**Figura 24.** Número estimado de casos de cáncer en Sudamérica, año 2020.  
 Fuente: International Agency for Research on Cancer, 2020.

En cuanto a la incidencia de casos de cáncer en América del Sur y como se visualiza en la Figura 25, Uruguay se ubica en un primer lugar presentando 269.3 de casos de cáncer por cada 100,000 personas. Respecto a Perú, y en el año 2020, se tiene un índice de 176.3; es decir que, por cada 100,000 peruanos un estimado de 176.3 personas presentaba algún tipo de cáncer.



**Figura 25.** Incidencia de casos de cáncer en Sudamérica, año 2020  
 Fuente: International Agency for Research on Cancer, 2020.

a. Cuba: Centro de Isótopos (CENTIS)

Cruz (2014) indica que el centro cubano de isótopos CENTIS es la planta encargada de la producción de radioisótopos dirigida al sector de investigación conformado por centros e institutos de Biomedicina, y al sector médico compuesto por hospitales, unidades de medicina nuclear y de oncología.

CENTIS realiza la producción de radiofármacos y moléculas marcadas, además de efectuar la manufactura de reactivos que permitan llevar a cabo pruebas de detección y análisis clínico mediante el uso isótopos radiactivos aplicando técnicas de laboratorio. Adicionalmente, ofrece productos y servicios técnicos relacionados al marcaje con radioisótopos, como en el caso de la utilización del tecnecio 99 (Tc99m) para la obtención de imágenes en el marco de la obtención de un diagnóstico médico.



**Figura 26.** Instalación del CENTIS.

Fuente: Centro de Isótopos - Centis, 2019.

Como se ha mencionado anteriormente, el pertecnetato de sodio Tc-99m es el radioisótopo más empleado en la medicina nuclear, cubriendo más del 80% de las técnicas de radiodiagnóstico en la obtención de imágenes; por ello, el CENTIS se ha enfocado en la producción de generadores de Mo99 / Tc 99m que suministra de forma regular para garantizar su distribución al interior del país.

b. México: Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ).

Hernández (2015) en la revista “Apps Nucleares” informó que en el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) de México se cuenta con un reactor nuclear de investigación TRIGA MARK III, el cual es utilizado para la producción de radiofármacos, como el Dolosam (Samario Sm153); además, en este reactor se efectúan los servicios de irradiación para la obtención de radioisótopos de vida media corta usados en la industria y en el sector médico.

El reactor nuclear mexicano cuenta con un núcleo ubicado en el fondo de una piscina cubierto en su totalidad por agua; gracias a ello, y a las estructuras de soporte del mismo reactor, se puede brindar la protección radiológica adecuada para los empleados y especialistas que trabajan al interior de sus instalaciones.

Dentro de los proyectos del reactor TRIGA MARK III, está la manufactura de dolosam (Samario Sm-153), la cual se realiza a través de la irradiación de la materia prima de  $152\text{Sm}_2\text{O}_3$  ubicada en la posición central del núcleo del reactor.

En el caso de la producción del radiofármaco Samario Sm-153, Hernández (2015) señala sus principales aplicaciones en la medicina nuclear:

- El Samario 153m-MH es utilizado en el tratamiento de la artritis reumatoide, evitando que el paciente sea intervenido quirúrgicamente. (p. 5)
  - El Samario 153m-EDTMP sirve como paliativo del dolor manifestado en enfermos terminales de cáncer óseo, tiene un efecto en el paciente de hasta seis meses y no se tiene documentado que presente efectos secundarios. (p. 5)
- c. Chile: Comisión Chilena de Energía Nuclear (CCHEN).  
Salas (2020) en su artículo “El desarrollo de los radiofármacos en Chile” publicado en el diario chileno “La Tercera” señala que la medicina nuclear en Chile se viene desarrollando desde hace más de 40 años, contando con el apoyo y arduo trabajo de la Comisión Chilena de Energía Nuclear (CCHEN) para la manufactura de radioisótopos y radiofármacos.

Como parte de su labor diaria, la CCHEN mediante la producción de radiofármacos contribuye y agrega un valor público a sus actividades gracias al aporte de sus productos al sector salud de su país. Para lo cual, cuenta con la infraestructura requerida, además de personal especializado. Adicionalmente, la CCHEN ha establecido redes de contacto con el Organismo Internacional de Energía Atómica y de otros entes ligados a las aplicaciones pacíficas de la energía nuclear en ámbitos relacionados a la industria agrícola, alimentaria y médica.

Para el sector salud, la CCHEN es la institución responsable del suministro de radiofármacos a los centros de medicina nuclear de clínicas y hospitales de Santiago de Chile y regiones al interior de Chile.



**Figura 27.** Control de Calidad de Radioisótopos.

Fuente: Comunicaciones CCHEN, 2020.

De forma complementaria, Salas (2020) en su artículo “El desarrollo de los radiofármacos en Chile” resalta que:

Para la producción del radiofármaco  $^{18}\text{F}$ -FDG, la CCHEN utiliza tecnología de Ciclotrón, irradiando agua enriquecida en Oxígeno-18 con protones. Entanto, para la obtención de los radioisótopos Yodo-131 y Tecnecio-99m, se emplea tecnología proveniente del reactor de investigación (RECH-1), ubicado en el Centro de Estudios Nucleares La Reina. En este caso se irradian los compuestos óxido de telurio y óxido de molibdeno, con neutrones. (p.6)

- d. Brasil: Centro de Radiofarmacia (CR) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN).

Luiz da Paz (2016) informa que el Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) es la organización precursora en la fabricación de radiofármacos en Brasil. El IPEN inició sus labores farmacéuticas mediante la

producción experimental del yoduro de sodio I-131 durante el año 1959; el mismo que fue ampliamente usado en la terapia del cáncer de tiroides, permitiendo el afianzamiento de la medicina nuclear en Brasil.

Después de haber adquirido experiencia en el sector de la radiofarmacia, el IPEN inició la manufactura de galio Ga-67 y yodo I-123 – usados en radiodiagnóstico – a través de la compra y puesta en marcha de un acelerador ciclotrón.



**Figura 28.** Producción de I-131 en el IPEN.

Fuente: Zapparoli, 2021.

Luiz da Paz (2016) en la página web del IPEN informa lo siguiente:

En 1999 las actividades de producción y distribución de los productos radioactivos del CR, obtuvo la recomendación a la certificación ISO 9002 por medio de un programa de calidad del IPEN. En 2002, dando continuidad al programa, el CR fue certificado en la norma ISO 9001 para el alcance de investigación y desarrollo, producción, control de calidad y comercialización de radioisótopos. En 2005 el CR conquistó a recertificación en la misma norma (s/n).

A la fecha, el IPEN continua mejorando las instalaciones de su Centro de Radiofarmacia mediante la adquisición de nuevos equipos y capacitación constante de su personal, además de modernizar sus celdas de producción implementando las nuevas tecnologías existentes en el mundo que le permita atender la demanda creciente del mercado brasileño.

- e. Argentina: Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA). La Comisión Nacional de Energía Atómica en su página web informa que es la institución pionera en la fabricación de radioisótopos usados en el sector médico; dichos productos son manufacturados en el Centro Atómico Ezeiza.

A fines del año 1967, el reactor nuclear de investigación RA-3 dio inicio a sus operaciones con una potencia térmica de 0.5 MW para atender a la demanda que existía en el mercado argentino. En el transcurso de los años, el CNEA repotenció el reactor RA-3 implementando modernizaciones tecnológicas que permitió incrementar su potencia térmica a 5 MW.

Para el año 2003, la Autoridad Regulatoria Nuclear argentina licenció y autorizó a la CNEA duplicar la potencia térmica del reactor nuclear de investigación RA-3, pasando de una potencia de 5 MW a 10 MW; lo que además permitió incrementar la producción de radiofármacos logrando abastecer la totalidad de la demanda existente de Molibdeno-99 en el mercado argentina, incluso logrando exportar este producto a algunas regiones de su país vecino, Brasil.



**Figura 29.** Producción de radiofármacos.

Fuente: Fuesmen, 2022.

La Comisión Nacional de Energía Atómica en su página web (s.f.) informa que los radioisótopos en medicina nuclear tienen dos usos fundamentales:

#### Diagnóstico

Se usan los isótopos radiactivos de elementos como el Carbono, el Iodo y el Molibdeno para conocer el funcionamiento de determinados órganos. Se los denomina “trazadores”. Luego de ser administrados al paciente –por vía oral o endovenosa– generan un contraste que permite la obtención de una serie de imágenes con cámara gamma o tomógrafo por emisión de positrones (PET). (s/n)

#### Tratamiento

Las radiaciones ionizantes se utilizan para destruir lesiones cancerosas. Para ello, se expone el tumor a dosis procedentes de fuentes de radiactividad externas (equipos de rayos X, radioterapia con fuente de cobalto-60) o internas (braquiterapia, radioterapia metabólica). (s/n)

### 1.3.3. Problemática Nacional.

#### A. Reactores de Investigación.

A la fecha, el Perú posee uno de los reactores nucleares de investigación más potentes en la región Latinoamérica: el reactor RP-10 con una potencia térmica de 10 MW.

Al respecto de esta instalación, INVAP (2019) informó que esta empresa argentina fue la encargada del diseño y construcción de esta facilidad nuclear para el Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN), en cooperación y coordinación con la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA). Este reactor nuclear de investigación, ubicado en el Centro Nuclear Oscar Miroquesada de la Guerra – RACSO, entró en operación durante el año 1988, estando ubicado en la zona del Huarangal, distrito de Carabayllo en Lima, Perú.

INVAP (2015) también señala que el Centro Nuclear RACSO cuenta con una superficie total de 125 hectáreas, en las cuales se encuentran ubicadas las facilidades de investigación del IPEN entre ellas:

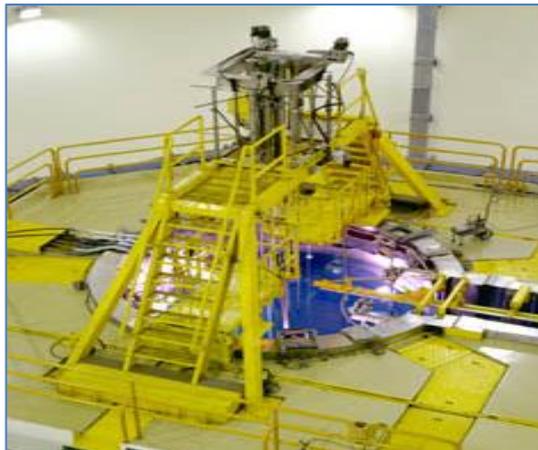
- Laboratorio de física experimental de reactores (LabFER).
- Planta de producción de radioisótopos (PPRR).
- Reactor nuclear de investigación RP-10.
- Laboratorio de calibración de dosimetría (LSCD).
- Planta de gestión de residuos radioactivos (PGRR).

El reactor RP-10, adicionalmente a sus servicios de irradiación para la producción de radioisótopos de uso médico e industrial, es una instalación que permite el entrenamiento y capacitación de profesionales en estudios de materiales y aplicaciones en física de reactores e ingeniería nuclear.

Asimismo, en el artículo “Operación y usos del reactor RP-10” (2002) se informa que:

El Reactor Peruano de Potencia 10 (RP-10), es un reactor nuclear para investigación y producción de radioisótopos, tipo piscina, de 10 MW de potencia térmica, con elementos combustibles MTR de U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> enriquecido al 20% en U-235. (p. 246)

Durante los últimos años, el reactor RP-10 ha operado a un régimen entre 7 a 10 MW de potencia durante 10 - 16 horas semanales para: producir radioisótopos como el Tc99m, I-131, Ir-192 y Sm-153, que en el año 2001 se alcanzó una actividad total de 1642,30 Ci en 383 muestras, irradiándose 810,09 horas. (p. 246)



**Figura 30.** Reactor nuclear de investigación RP-10.

Fuente: Instituto Peruano de Energía Nuclear, 2019.

De acuerdo a la página web oficial del Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN), el Centro Nuclear Oscar Miró Quesada “RACSO” se encuentra localizado en el distrito de Carabayllo, en la ciudad de Lima en Perú; a una altitud de 400 m.s.n.m. y teniendo una superficie de 125 hectáreas.

El diseño y construcción de las edificaciones que conforman el Centro Nuclear RACSO tienen como finalidad la elaboración y ejecución de proyectos de investigación en cooperación con organizaciones nacionales e internacionales como el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA).

- Sede San Borja  
La Sede Central del Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN) se encuentra en la Av. Canadá en el distrito de San Borja, Lima, Perú. En esta sede se ubican, principalmente, las áreas administrativas conformadas por:
  
- La Alta Dirección del IPEN
  - ✓ El Reactor de Potencia Cero (RP-0)
  - ✓ El Centro Superior de Estudios Nucleares (CSEN) (s/n).

El Centro Superior de Estudios Nucleares (CSEN) es la oficina encargada de organizar y llevar a cabo las capacitaciones del área nuclear enfocados al sector industrial, a la academia y a todo el público en general.

En la Sede Central del IPEN, también se halla, el reactor nuclear de investigación RP-0 (primer reactor construido en Perú); el cual, fue implementado con las facilidades de irradiación necesarias para la capacitación y entrenamiento del personal y para el desarrollo de experiencias e investigación científica.

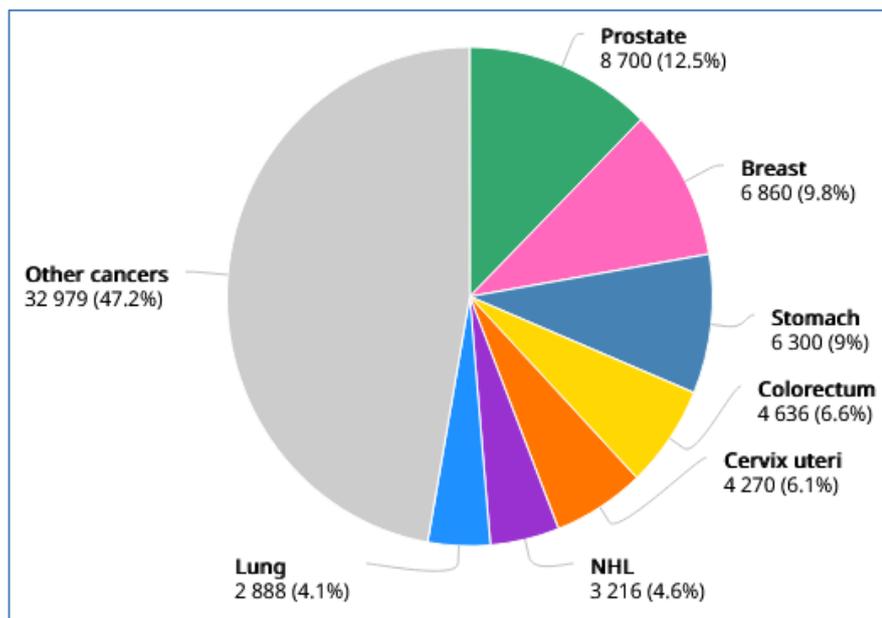
El Foro Iberoamericano de Organismos Reguladores Radiológicos y Nucleares (2011) informa en su página web:

Entre sus principales actividades destaca la producción de radioisótopos, radiofármacos, compuestos marcados y otras sustancias radiactivas a escala industrial con los cuales se abastece a la mayoría de centros médicos y hospitalarios del país, exportando además sus productos a diversos países del mundo. Cabe señalar que las actividades que se llevan a cabo en dicho complejo se encuentran bajo el control regulador del IPEN. (s/n)

El Centro Nuclear dispone también de diversos laboratorios especializados, gracias a los cuales brinda servicios en las áreas de hidrología isotópica, aplicaciones industriales, minería, hidrocarburos así como gestión de residuos radiactivos y metrología integral de las radiaciones, con lo que contribuye al desarrollo económico e industrial del país. (s/n)

Como se indicó, en el caso del reactor nuclear de investigación RP-10 del Instituto Peruano de Energía Nuclear, este es utilizado principalmente para la producción de radiofármacos que contribuyen al radiodiagnóstico y tratamiento de los diferentes tipos de cánceres.

- B. Radiofármacos para el diagnóstico y tratamiento del cáncer.
- Acorde a la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (Ver Figura 31), en el año 2020 se presentó un total de 69,849 casos nuevos de cáncer en el Perú considerando toda la población nacional.



**Figura 31.** Casos nuevos de cáncer en el año 2020, en Perú.

Fuente: International Agency for Research on Cancer, 2020.

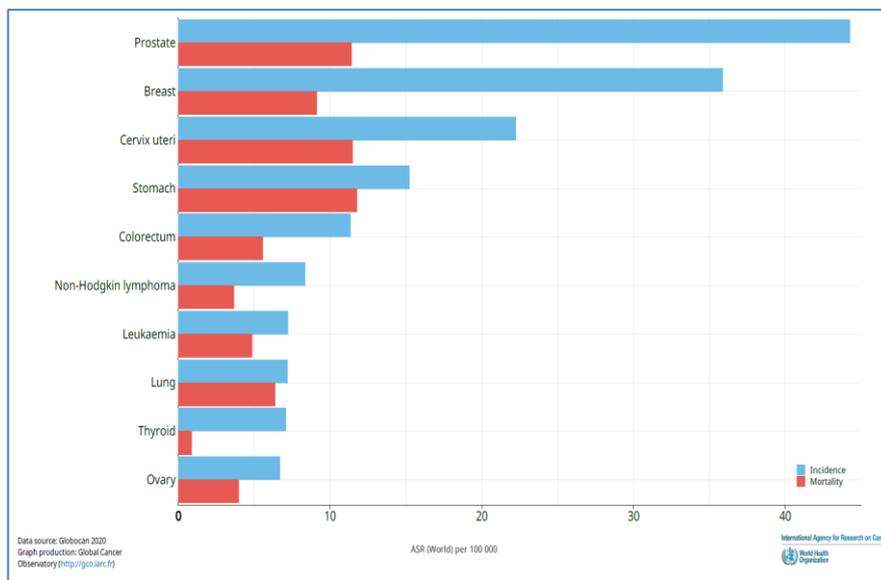
En la Figura 32, se evidencia que el cáncer de tiroides registra un estimado de 2,522 nuevos casos en el país encontrándose en el octavo lugar entre los diferentes tipos de cáncer detectados.

Cancer	Number	Uncertainty interval
All cancers excl. non-melanoma skin cancer	66 669	[65710.1-67641.9]
Prostate	8 700	[7864.0-9624.9]
Breast	6 860	[6047.4-7781.8]
Stomach	6 300	[5789.9-6855.0]
Colorectum	4 636	Not available
Cervix uteri	4 270	[3779.3-4824.4]
Non-Hodgkin lymphoma	3 216	[2836.7-3646.0]
Lung	2 888	[2608.7-3197.2]
Thyroid	2 656	[2076.0-3398.1]
Leukaemia	2 522	[2245.6-2832.5]
Liver	2 174	[1974.3-2393.8]
Kidney	2 030	[1712.2-2406.8]
Pancreas	1 606	[1408.5-1831.1]

**Figura 32.** Casos nuevos por tipo de cáncer 2020, en Perú.

Fuente: International Agency for Research on Cancer, 2020.

Asimismo, en la **¡Error! La autoreferencia al marcador no es válida.**33 se representa que por cada 100,000 peruanos, 07 presentan o son diagnosticados con cáncer de tiroides, de los cuales 01 fallece producto de esta enfermedad.



**Figura 33.** Incidencia y mortalidad por tipo de cáncer 2020, en Perú.  
Fuente: International Agency for Research on Cancer, 2020.

A fin de diagnosticar y tratar el cáncer, la demanda de radiofármacos de uso para diagnóstico y terapia aumenta en el mundo alrededor del 10 % cada año en la medida en que los procedimientos de medicina nuclear han pasado a formar parte del arsenal rutinario de diagnóstico y tratamiento de diversas enfermedades. El alcance de su uso varía de país en país y es multifactorial. (Cruz, Taylor, & Morín, 2017, p. 27)

Considerando la información presentada a nivel mundial, regional y nacional, se puede concluir la necesidad existente de aumentar la producción de radiofármacos y su acceso a la población a fin de mejorar la calidad de vida de los ciudadanos en relación al diagnóstico y tratamiento de las enfermedades oncológicas.

Por esa razón, y consistente con un crecimiento global en los sistemas de salud, la demanda de radiofármacos de uso diagnóstico y terapéutico aumenta cada año, aún en países en desarrollo, como podemos ver en la Figura 34. (Cruz, Taylor, & Morín, 2017, p.24)

Región	Año	Cifra (USD)
América del Norte	2012	1,9 miles de millones
	2017	2,7 miles de millones
Europa	2012	1,1 miles de millones
	2017	1,6 miles de millones
Asia- Pacífico	2012	500,8 millones
	2017	824,9 millones

**Figura 34.** Evolución del mercado de radiofármacos, 2012 – 2017.

Fuente: Cruz, Taylor, & Morín, 2017.

Bajo estas condiciones, resulta esencial e indispensable la manufactura de radiofármacos como el pertecnetato de sodio (Tc-99m) empleado ampliamente en el radiodiagnóstico de padecimientos oncológicos, además del yoduro de sodio (I-131) usado durante el tratamiento de cáncer de tiroides.

En Perú, desde 1990, se cuenta con la Planta de Producción de Radioisótopos, diseñada y construida con facilidades necesarias para producir radioisótopos primarios, radiofármacos, compuestos marcados y otras sustancias radiactivas a escala industrial y, asimismo, efectuar trabajos de investigación y desarrollo. (Instituto Peruano de Energía Nuclear, 2019, s/n)

Dicha instalación tiene un promedio de 30 laboratorios, entre ellos los dedicados a la producción de radiofármacos con celdas construidas con ladrillos de plomo de 50 y 100 mm de espesor, garantizando la seguridad de los operadores que realizan los

procesos productivos. (Instituto Peruano de Energía Nuclear, 2019, s/n)

El personal de la Entidad será el beneficiario directo del presente trabajo de investigación teniendo presente que los productos desarrollados les brindaran las herramientas necesarias para mejorar u optimizar el desarrollo de sus tareas en el marco de la gestión institucional.

Es necesario garantizar la continuidad en la operación del reactor nuclear de investigación RP-10 con el objetivo de asegurar la producción de radiofármacos a ser suministrados a los diversos centros de medicina nuclear en el país. En base a ello, resulta fundamental contar con una óptima gestión de mantenimiento; mediante la cual se lograría incrementar la disponibilidad operativa del reactor mencionado y conseguir el abastecimiento oportuno de los radiofármacos a nivel país.

En el mismo sentido, se debe tener en cuenta la incidencia de casos de cáncer existentes en el país, en relación a lo cual el Instituto Nacional de Enfermedades neoplásicas menciona:

Dentro de las cinco neoplasias más frecuentes se encuentran el cáncer del cuello uterino, el cáncer de la mama y el cáncer de la próstata, órganos accesibles que debido a su ubicación anatómica permiten la detección precoz; por lo cual, si se ampliaran los programas de prevención, el volumen de atención de casos de estos cánceres, al igual que el porcentaje de pacientes que llegan en estadios avanzados de la enfermedad disminuirían significativamente. (Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas, 2017, s/n)

Adicionalmente, se debe considerar que los principales radiofármacos producidos en la institución: pertecnetato de sodio (Tc-99m), empleado en el diagnóstico de enfermedades oncológicas, y yoduro de sodio (I-131), usado en el tratamiento de pacientes por cáncer de tiroides; resultan indispensables en el sector salud a nivel nacional. Por ello, su producción beneficia a ciudadanos en todo el país, mejorando su calidad de vida.

En esta situación, la gestión de mantenimiento juega un papel fundamental para brindar sostenibilidad en las operaciones del reactor nuclear de investigación RP-10 del Instituto Peruano de Energía Nuclear para la irradiación de telurios y molibdenos, entre otros, con el fin de obtener diversos radioisótopos empleados en medicina nuclear.

De acuerdo a lo señalado en los numerales anteriores, en la siguiente tabla se presenta el comparativo de las gestiones que se realizan en otros países alrededor del mundo versus la situación considerada para el Perú. Para dicha comparación se consideran los parámetros de instalaciones, condiciones operativas y personal, teniendo presente las instalaciones que utilizan tecnología similar.

**Tabla 1**

*Comparativo de marcos de gestión.*

Indicativo	Mundo	Latinoamérica	Nacional
	<i>Australia</i>	<i>Argentina</i>	<i>Perú</i>
Cantidad de reactores de investigación operativos.	4	5	1
Cantidad de reactores de investigación en parada prolongada o en decomisionamiento	3	2	1
Cantidad de reactores de investigación en construcción	0	2	0
Reactor de investigación más significativo / Potencia térmica	OPAL 20 MW	RA-3 10 MW	RP-10 10 MW

Promedio de antigüedad de las instalaciones nucleares	16 años	40 años	34 años
Utilización de las facilidades de irradiación	✓	✓	-
Irradiación para producción de radiofármacos	✓	✓	✓
Radioisótopos producidos	Mo-99, I-123, I-131, Cr-51, Sm-153 y Lu-177	Mo-99, I-131, Cr-51, Sm-153, P-32 y Lu-177	Mo-99 I-131
Personal mantenedor licenciado	✓	✓	-
Personal operador licenciado	✓	✓	✓
Ubicación física estratégica de la Planta de Producción	✓	✓	-
Certificación de Buenas Prácticas de Manufactura (BPM)	✓	✓	✓
Documentos de gestión de mantenimiento actualizados	✓	✓	-
Política de Gestión de la Calidad	✓	✓	✓
Política de Gestión del Conocimiento	✓	✓	-

Fuente: Elaboración propia.

### C. Contexto en el Instituto Peruano de Energía Nuclear.

El Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN) produce y distribuye radioisótopos y radiofármacos desde el año 1990, productos manufacturados en las celdas de producción de la Planta de Producción de Radioisótopos, los cuales son preliminarmente irradiados en el reactor nuclear de investigación RP-10.

Considerando que en diciembre del año 2019, el reactor nuclear de investigación RP-10 cumplió 30 años de operación, resulta fundamental contar con una adecuada gestión de mantenimiento en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares del Instituto Peruano de Energía Nuclear.

A continuación, se detalla la problemática identificada en el Departamento de Mantenimiento de la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares.

❖ **Programa de mantenimiento.**

La Guía de Seguridad N° NS-G-4.2 “Maintenance, Periodic Testing and Inspection of Research Reactors” emitido por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), determina que debe efectuarse el mantenimiento preventivo en las estructuras, componentes y sistemas de los reactores nucleare de investigación.

El no contar con un programa de mantenimiento actualizado en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares del Instituto Peruano de Energía Nuclear genera limitaciones en la gestión del Departamento de Mantenimiento al no tener las herramientas de planificación requeridas para intervenir las estructuras, componentes y sistemas del reactor nuclear de investigación RP-10.

Por lo cual, y teniendo en cuenta el propósito del programa de mantenimiento, se debe revisar o actualizar según corresponda para garantizar que cumpla con su finalidad, que es la disponibilidad operativa de las estructuras, componentes y sistemas del reactor nuclear con miras a su operación segura.

❖ **Procedimiento de liberación**

La Guía de Seguridad N° NS-G-4.2 “Maintenance, Periodic Testing and Inspection of Research Reactors” emitido por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) indica

que un sistema de gestión de mantenimiento debe incluir pruebas periódicas e inspección.

Al no existir un procedimiento de liberación de estructuras, componentes y sistemas para la operación del reactor nuclear de investigación RP-10, el Departamento de Mantenimiento se ve limitado en el desempeño de su función de asegurar el correcto funcionamiento del reactor en mención.

En este contexto, es necesario la elaboración e implementación de un procedimiento de liberación de estructuras, componentes y sistemas en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares para garantizar que se lleven a cabo las actividades que certifiquen las condiciones de operación segura del reactor nuclear de investigación RP-10.

#### ❖ **Manual de Mantenimiento**

El manual correspondiente al Departamento de Mantenimiento tiene fecha del año 2015; por lo tanto, la información que se presenta en este documento no refleja los recursos disponibles actualmente ni es consistente con el Sistema de Gestión existente en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares.

Asimismo, además de todos los procedimientos del departamento, el manual contiene al programa de mantenimiento preventivo, esto significa que para actualizar y/o revisar cualquiera de estos documentos, todos deben ser revisados al mismo tiempo, lo que administrativamente no resulta factible. En base a esto, se considera pertinente que el Manual del Departamento de Mantenimiento debe ser

revisado y actualizado de acuerdo con la condición presente de la instalación y su sistema de gestión existente.

❖ **Recursos humanos capacitados y licenciados.**

De acuerdo a la Guía de Seguridad N° NS-G-4.2 “Maintenance, Periodic Testing and Inspection of Research Reactors” emitido por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), el personal que ejecuta labores de mantenimiento requiere de autorización o licencia por parte de una autoridad competente, para tales fines. En el caso del Departamento de Mantenimiento de la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares, el personal no cuenta con licencias individuales emitidas por el Órgano Regulador para realizar las actividades de mantenimiento en instalaciones nucleares.

Por lo anterior, es necesario la elaboración e implementación de un programa de capacitación para el licenciamiento del personal mantenedor de la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares.

#### **1.4. Justificación**

La presente investigación tiene las siguientes justificaciones:

##### **1.4.1. Justificación Teórica.**

Permite obtener beneficios a la empresa, a través de la adecuada gestión de mantenimiento que garantice la continuidad de las operaciones del reactor nuclear de investigación RP-10 para la producción de radioisótopos. Esto se debe principalmente al uso de herramientas para la gestión adecuada del proceso de mantenimiento que corresponde a la sub dirección en mención.

#### **1.4.2. Justificación Metodológica.**

A través del presente estudio, se establecerá una metodología que permitirá determinar la influencia de la gestión de mantenimiento, bajo los requisitos de la guía de seguridad NS-G-4.2 del Organismo Internacional de Energía Atómica “Maintenance, Periodic Testing and Inspection of Research Reactors”, en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares del Instituto Peruano de Energía Nuclear. La metodología en mención podrá ser empleada como material de referencia para próximas investigaciones y/o estudios en el sector nuclear o en todo tipo de industria.

#### **1.4.3. Justificación Práctica.**

A través de la aplicación de los instrumentos y herramientas que forman parte de los requisitos de la guía de seguridad NS-G-4.2 del Organismo Internacional de Energía Atómica “Maintenance, Periodic Testing and Inspection of Research Reactors” se espera que mejore la gestión de mantenimiento en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares del Instituto Peruano de Energía Nuclear, garantizando la continuidad de las operaciones del reactor nuclear de investigación RP-10.

#### **1.4.4. Justificación de Conveniencia y de Pertinencia Social.**

Los radioisótopos o radiofármacos manufacturados por la Entidad se usan en el campo de la medicina nuclear, en relación al diagnóstico y tratamiento de las enfermedades oncológicas; por lo cual, su producción y distribución coadyuvan a mejorar la calidad de vida de la población nacional. En este contexto, mejorar la gestión de mantenimiento en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares permitirá asegurar la continuidad de las operaciones del reactor nuclear de investigación RP-10 para la producción de estos radioisótopos.

#### **1.4.5. Justificación Económica.**

La implementación de los requisitos de la guía de seguridad NS-G-4.2 del Organismo Internacional de Energía Atómica “Maintenance, Periodic Testing and Inspection of Research Reactors” implicará mejorar la gestión de mantenimiento en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares. Por ende, se conseguirá la reducción de costos en mantenimiento, garantizando una mayor obtención de recursos económicos para la compañía.

#### **1.5. Aspectos metodológicos**

El presente trabajo de investigación responde al tipo de investigación aplicada teniendo en consideración su aporte de evidencia verificable, además de brindar explicaciones racionales y objetivas, y mantener un espíritu autocrítico en su desarrollo.

Asimismo, la investigación basa su propuesta en un Trabajo de Investigación Aplicada, con las siguientes características:

La propuesta de la EPG UC es a través de un TIA, se hace a través de una Investigación para Resultados, el cual se focaliza en la identificación de cadenas de valor que contengan relaciones causales entre las principales causas y los efectos de la problemática que se desea cambiar y en base a ello hacer una propuesta de intervención sustentada en evidencias (Castro, Barrios, Cerna, & Uribe, 2021, p.10).

## **Capítulo II**

### **Marco Teórico**

#### **2.1. Investigaciones previas relacionadas**

##### **2.1.1. Antecedentes**

A. Tillería L. (2019), "Estudio de criticidad cuantitativa de los activos en Eden-Yuturi production facilities EPF Petroamazonas". Tesis de posgrado. Universidad San Francisco de Quito, Ecuador.

Mediante esta tesis se realizó un estudio para cuantificar económicamente el riesgo al que está expuesto el personal, el medio ambiente y los activos en las instalaciones de Petroamazonas con la finalidad de implementar una técnica de gestión basada en la estrategia de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM). Asimismo, se pudo concluir en la relevancia e importancia que tienen los equipos y/o activos críticos en una organización o planta de producción, toda vez que su correcta identificación permite analizar su criticidad e impacto en las operaciones. Dichos resultados deben definir los planes y programas de mantenimiento que permitan eliminar o minimizar los riesgos asociados a dichos equipos garantizando su disponibilidad y operatividad en toda la cadena productiva.

Esta tesis sirve como referencia para poder realizar un análisis de los equipos (activos) del reactor de investigación, a fin de determinar los activos críticos con los que se cuenta y la implicancia de estos dentro del proceso productivo de la organización. La información a obtener resultará fundamental para la actualización del programa de mantenimiento preventivo.

B. Araujo I. (2020), "Propuesta de un plan de mantenimiento basado en RCM de los activos críticos del área de mezclado de la empresa Continental Tire Andina S.A.". Tesis de posgrado. Universidad del Azuay, Ecuador.

A través de dicho estudio, se introdujo el uso de los modelos de gestión referidos a la filosofía de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), los mismos que permiten determinar los trabajos de mantenimiento a llevarse a cabo en los activos críticos del área de mezclado además de las frecuencias para su intervención. Por ello, mediante la implementación de las herramientas del RCM se logró contar con un programa de mantenimiento que, al ser ejecutado, permitiría aliviar los impactos de las paradas no deseadas y garantizaría la operatividad y disponibilidad de los equipos. Bajo este contexto, sería viable asegurar la confiabilidad de los activos críticos del área de mezclado y la manufactura de caucho – de forma permanente y oportuna – para las líneas de producción de la empresa Continental Tire Andina S.A. Asimismo, se identificó los problemas significativos que producen una baja eficiencia en el funcionamiento de los activos, entre se tenía, la ausencia de entrenamiento de los trabajadores, políticas de mantenimiento eficaces, la falta de un procedimiento estandarizado para el personal operativo y de mantenimiento.

De la investigación detallada, se tiene como referencia cómo el RCM que permite establecer los pasos y/o secuencia para el análisis del proceso permitiendo contar con un plan de mantenimiento conforme a la criticidad y estado situacional de los equipos y sistemas.

C. Griet M. (2016), "Sistema avanzado de alarmas para el reactor RA6". Tesis de posgrado. Universidad Nacional de Cuyo, Argentina.

Uno de los principales objetivos y resultados de la tesis citada fue desarrollar un Sistema Avanzado de Alarmas para el reactor argentino RA-6, teniendo en cuenta las innovaciones tecnológicas existentes para incluir todas las mejoras factibles en su sala de control; para ello, se utilizó un modelo de cálculo trabajado en el software Matlab/Simulink. Asimismo, el modelo propuesto incluyó la optimización de la distribución de alarmas en el panel principal de la sala de control con la finalidad de facilitar las labores de seguimiento, control y supervisión del personal operador del reactor; así como, la elaboración de la documentación back up por cada una de las alarmas generadas.

Después de haber comprobado la operatividad y funcionalidad del nuevo sistema de alarmas en una situación de pruebas compleja, se compararon los resultados alcanzados versus los datos del actual sistema. En el marco de esta contrastación, se pudo evidenciar que el nuevo sistema desarrollado cumple con una operatividad óptima acorde a los procesos del reactor, interfaz precisa en la comunicación de todo el software y presentación clara y precisa de la información.

Este trabajo contribuye como referencia en el área de instrumentación y control para optimizar el sistema de alarmas de un reactor nuclear de investigación y por ende mejorar el desempeño de las instalaciones con llevando a la actualización de sus planes y programas de mantenimiento.

D. Acuña G. (2017), "Modelización de los procesos de gestión del Reactor nuclear argentino 6". Tesis de posgrado. Universidad Nacional del Sur, Argentina.

Este estudio comprendió la evaluación y el diseño de modelos de gestión aplicables a los procesos del reactor nuclear de investigación RA-6, en el marco de los requisitos considerados en los documentos técnicos del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) y la normativa legal argentina. Por lo cual, se consideró el modelo de evaluación establecido por el ISO 9004 para determinar el nivel de madurez de la organización. Posteriormente, se determinó la brecha existente entre la norma ISO y las características encontradas en la empresa. En base a dichos resultados, se diseñó los modelos aplicables a los procesos de gestión del reactor RA-6 bajo los parámetros del BPM (Business Process Management). Los resultados obtenidos constituyen un aporte directo a suplir una necesidad del reactor en el proceso de profesionalización de su gestión. Asimismo, la implementación colabora en el sostenimiento del posicionamiento de la organización como referente en el campo nuclear, tanto en el ámbito académico como profesional, bregando por la satisfacción, de su comunidad de usuarios (comunidad científica) y sus grupos de interés.

La tesis citada constituye un ejemplo y referencia en el modelado de procesos en un reactor nuclear de investigación, lo que permite obtener una mirada mucha en relación a las implicancias e impacto de la gestión de mantenimiento en este tipo de industria, considerando todos los requisitos legales y normativos que confluyen para garantizar una operación seguras de las instalaciones nucleares.

E. Moscoso R. (2017), "Programa de control del mantenimiento proactivo y correctivo en equipos mecánicos del transporte de hidrocarburos en el Ecuador". Tesis de posgrado. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú.

La tesis citada tuvo como justificación el diseño e implementación de un moderno plan y programa de mantenimiento aplicables al equipamiento mecánico en la industria de estudio; siendo su objetivo el de elaborar un programa que incluya los trabajos por mantenimiento proactivo con la finalidad de reducir aquellas tareas del mantenimiento correctivo. Dentro de los instrumentos y herramientas utilizados se tiene la observación, además del juicio de expertos hacia la información obtenida como parte del estudio. Se presentó el problema basado en cuantificar la medida en la que un programa de mantenimiento proactivo contribuye a menguar los trabajos e intervenciones por mantenimiento correctivo en la industria ecuatoriana del transporte en el sector Oil & Gas, en base a lo cual se determinó conocer la relación entre los mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo.

De acuerdo a la información planteada en la tesis doctoral referenciada se tiene que el programa desarrollado es factible de ser implementado en diferentes industrias, incluida la que se encuentra en estudio en el presente trabajo. Por ello, sirve como ejemplo para la actualización del programa de mantenimiento a ejecutar como parte de los productos a elaborar dentro del presente trabajo, toda vez que brinda herramientas de interpretación a los resultados que se obtienen de la verificación e inspección de los equipos y sistemas, además de aportar los resultados e importancia de contar con un mantenimiento proactivo en una organización. Asimismo, con los programas a elaborar se procura mejorar la operación reduciendo los mantenimientos correctivos en la industria estudiada.

## **2.2. Modelos conceptuales de la condición interés – problema**

### **2.2.1. Medicina Nuclear.**

La medicina nuclear es uno de los campos más dinámicos en Medicina, es la especialidad médica clínica y de laboratorio que utiliza trazadores radiactivos estables para estudiar los cambios fisiológicos, procesos bioquímicos y celulares para el diagnóstico, la terapia y la investigación. Graham M. (2007) citado en (Pedrozo, Giménez, Velásquez, Galván, & Grossling, 2014, p.92)

De acuerdo al Organismo Internacional de Energía Atómica (2018), la Medicina Nuclear es un sector que se define por el uso de fuentes abiertas de radiación para ser empleados en aplicaciones de diagnóstico y terapia. En este sentido, la medicina nuclear, es la única área de radiodiagnóstico por imágenes que brinda las facilidades para estudios fisiológicos y morfológicos de diversos tejidos y órganos del cuerpo humano.

Por ello, la medicina nuclear requiere de especialistas multidisciplinarios con un personal altamente capacitado y especializado (médicos nucleares, tecnólogos médicos y físicos médicos; entre otros). Asimismo, necesita de infraestructura y equipamiento tecnológico, además de procedimientos estandarizados para garantizar prácticas seguras cumpliendo las normativas de protección radiológica y de radiofarmacia.

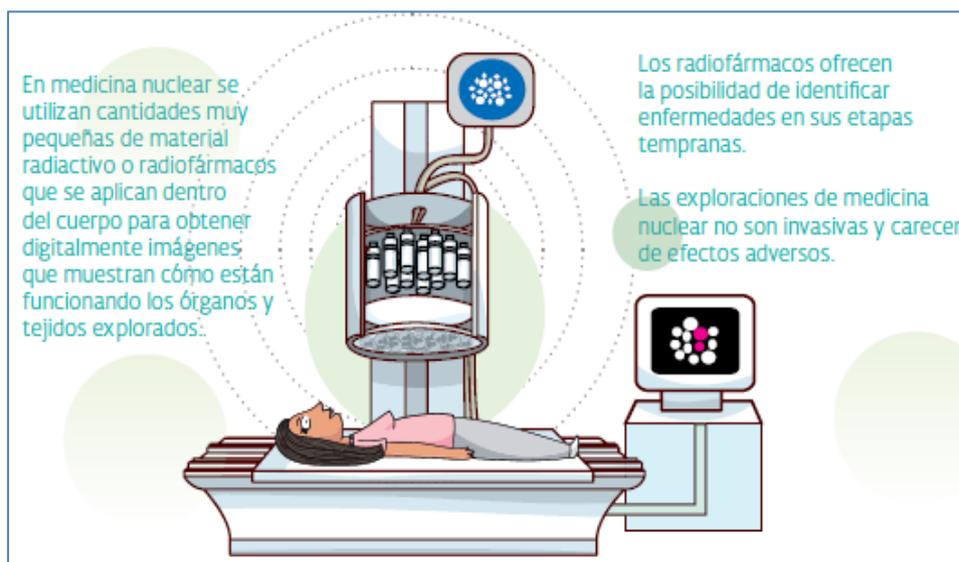
Los avances en la medicina involucran las actividades respecto a la medicina nuclear, lo cual ha permitido incorporar las aplicaciones pacíficas de la energía nuclear en beneficio de toda la población, a través del empleo de radiofármacos para el diagnóstico y tratamiento de las enfermedades oncológicas a nivel mundial. Es importante señalar, que la industria productiva relacionada a este tipo de productos (radiofármacos) necesita de personal especializado y del

cumplimiento de estrictos estándares con el fin de asegurar la inocuidad y calidad de los fármacos manufacturados.

### 2.2.2. Radiofármacos.

Un radiofármaco es toda sustancia que dentro de su estructura contiene un átomo radiactivo o radionúclido, y que puede ser administrado en seres humanos con fines diagnósticos o terapéuticos, por su forma farmacéutica, y su cantidad y calidad de radiación. (Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, 2015, p.2).

En la Figura 35 se muestra de forma didáctica y simplificada, el concepto de lo que es y representa un radiofármaco, además de su utilidad en la obtención de imágenes digitales de órganos y tejidos que pudiesen encontrarse afectados por alguna dolencia y/o padecimiento, coadyuvando a la obtención de un diagnóstico certero como parte de un procedimiento o tratamiento médico.



**Figura 35.** Descripción de un radiofármaco.

Fuente: Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, 2015.

Los radiofármacos son formulaciones que contienen radionúclidos y son utilizados en el diagnóstico de diferentes enfermedades comunes

y en el tratamiento de algunas, incluido el cáncer. Los de uso diagnóstico permiten registrar la función fisiológica y la actividad metabólica, brindando una información más específica sobre la función o disfunción del órgano o sistema, capacidad que se utiliza también en los procedimientos terapéuticos con radionúclidos. (Cruz, Taylor, & Morín, 2017, p.24)

Considerando el concepto previo, se puede concluir que los radiofármacos han significado un gran avance a través de la historia en cuanto a su aplicación en medicina nuclear, significando una certera ayuda a los profesionales médicos para el diagnóstico de sus pacientes, y de las terapias o tratamiento a seguir acorde a las características de la dolencia determinada.

Los radiofármacos son medicamentos que han adquirido gran importancia en la práctica clínica por su aplicación con fines diagnósticos y terapéuticos. Contienen una pequeña cantidad de principio activo, conocido como "trazador", que se marca con un radionúclido haciendo que emitan una dosis de radiación utilizada tanto con fines diagnósticos como terapéuticos. (Cortés-Blanco & Esteban Gómez, 2013, p.5)

Desde el punto de vista diagnóstico, la radiación emitida se utiliza para medir su distribución en un compartimento biológico, como indicador de una función fisiológica, o para obtener una imagen gammagráfica de la acumulación del radiofármaco en un órgano diana lo que permite determinar la morfología y/o función de dicho órgano. (Cortés-Blanco & Esteban Gómez, 2013, p.5)

Los radiofármacos son radiotrazadores utilizados en pequeñas cantidades para componer imágenes de las funciones orgánicas y diagnosticar enfermedades. La radiación que el paciente recibe a través de ellos es muy baja y no invasiva y se considera segura. Sus

emisiones pueden detectarse con precisión y producen imágenes útiles con fines de diagnóstico. (Dixit, 2014, p.20)

El Organismo Internacional de Energía Atómica (2008) menciona que los radiofármacos aportan de manera fundamental a mejorar la calidad de vida de la población. En los últimos tiempos, se ha evidenciado un incremento a nivel mundial de los requerimientos de procedimientos médicos que hacen uso de radiofármacos; además, de la necesidad de contar con nuevos isótopos para aplicaciones médicas.

De lo mencionado en los párrafos precedentes, el hecho de contar con un reactor de investigación en un determinado país brinda las facilidades necesarias para la producción de radiofármacos, los cuales son manufacturados en recintos o celdas (Ver Figura 36) que cumplen con los requisitos farmacéuticos y de protección radiológica requeridos, tanto para el personal operador como para el producto.



**Figura 36.** Producción de radiofármacos en Perú.

Fuente: Instituto Peruano de Energía Nuclear, 2019.

### **2.2.3. Gestión de Mantenimiento.**

#### **A. Función de Mantenimiento.**

En la actualidad el mantenimiento ha ido adquiriendo una importancia creciente; los adelantos tecnológicos han impuesto un mayor grado de mecanización y automatización de la producción, lo que exige un incremento constante de la calidad, por otro lado, la fuerte competencia comercial obliga a alcanzar un alto nivel de confiabilidad del sistema de producción o servicio, a fin de que este pueda responder adecuadamente a los requerimientos del mercado. (Borrego, 2010)

Como se puede apreciar en la cita anterior, el autor enfatiza la importancia de la gestión de mantenimiento dentro de una industria con estándares de calidad cada vez más exigentes, lo que genera que las empresas deban poseer niveles altos de confiabilidad y disponibilidad operativa de sus equipos a fin de brindar productos acordes a las necesidades actuales del mercado.

En la función mantenimiento, las problemáticas que se presentan incluyen la insuficiente proyección estratégica de la misma y la falta de objetivos pertinentes a las condiciones integrales en donde se desarrollan los procesos. Existen numerosas insuficiencias de organización y gestión que conspiran con el abnegado y estresante trabajo de los colectivos humanos que ejecutan esta actividad y no siempre se les reconoce la importancia y vigencia de la misma. La función mantenimiento es una necesidad que nadie niega, pero se evidencia una falta de estrategia propia e integrada con la gestión de los activos físicos de la entidad y que no están suficientemente determinados los procesos que la componen y las funciones de los mismos para permitir determinar los desempeños que se requieren y a su vez poderlos medir y

controlar para la mejora continua. (Sánchez - Rodríguez, 2010, p.74)

Del párrafo anterior, el autor destaca las problemáticas en la gestión de mantenimiento generadas a partir de una insuficiente proyección estratégica y debido a la ausencia de objetivos o indicadores que permitan efectuar el seguimiento y control de los procesos, lo que imposibilita contar con una estrategia integrada de mantenimiento con la gestión de los activos físicos.

De las definiciones anteriores, se concluye que tanto Borrego como Sánchez – Rodríguez, afirman que la función de mantenimiento es una necesidad dentro de todas las industrias, las cuales deben alcanzar un alto nivel de confiabilidad de sus activos para poder responder a los requerimientos del mercado y poder actuar frente a un mercado constantemente cambiante. Asimismo, la función de mantenimiento debe poseer una gestión establecida con objetivos estratégicos que permitan integrar dicha gestión en el planeamiento estratégico de la empresa con la finalidad de garantizar el suministro de los recursos necesarios para la ejecución de los trabajos e intervenciones de mantenimiento.

## B. Tipos de Mantenimiento.

### a. Mantenimiento Predictivo

Consiste en el conocimiento del estado de una máquina o equipo por medición periódica o continua de algún parámetro significativo. La intervención de mantenimiento se condiciona a la detección precoz de los síntomas de las averías. (Garavito, 2010, p.5)

La idea central del mantenimiento predictivo es que la mayoría de los componentes de las máquinas avisan de

alguna manera de su fallo antes de que éste ocurra. (Garavito, 2010, p.5)

El mantenimiento predictivo de averías es, por tanto, una metodología que tiene como objeto asegurar el correcto funcionamiento de los equipos a través de una vigilancia continuada de sus parámetros específicos de funcionamiento e indicadores de su "condición". Se ejecuta con el equipo funcionando sin necesidad de recurrir a desmontajes y revisiones periódicas. (Garavito, 2010, p.5) Las verificaciones periódicas o continuas permiten obtener los datos necesarios para que se pueda dictaminar, a la vista de ellos, sobre el tipo de anomalía que presenta y su alcance, y con ello diagnosticar sobre su normal o incorrecto servicio a fin de que en este último caso se recomiende la acción a tomar. (Garavito, 2010, p.5)

Las ventajas e inconvenientes que presenta el mantenimiento predictivo son:

### **Ventajas**

- Ser económicamente muy rentable. Permite detectar averías que pudieran ser de gran magnitud, sin necesidad de parar la máquina y por supuesto sin abrirla
- Reduce los costes de mano de obra y de repuestos.
- Facilita prever los repuestos que se van a necesitar en las reparaciones.
- En la mayoría de los casos permite programar la parada para realizar la reparación.
- Permite disponer de un completo historial de la máquina y de su comportamiento en operación.

- Evita que se produzcan averías graves y costosas, en ocasiones motivo de siniestros.
- Se puede hacer el seguimiento de la evolución del daño. El equipo es intervenido en el momento más adecuado.
- Permite hacer un control de la calidad de la reparación una vez efectuada.
- Requiere muy poco personal para la ejecución de los programas de verificación en marcha de los equipos. (Garavito, 2010, p.6)

### **Inconvenientes**

- Que la anomalía no se detecte en la verificación efectuada, bien por no captar el síntoma o por producirse durante el período comprendido entre dos inspecciones.
- Que siendo detectada la anomalía no se haga un diagnóstico correcto o no se perciba de la gravedad de la misma.
- Que estando todo controlado, no se permita, por motivos de producción, la reparación en el momento oportuno, dando así lugar a una evolución peligrosa del daño detectado. (Garavito, 2010, p.6)

Adicionalmente, requiere de lo siguiente:

- Es necesario hacer, previo a su implantación, un estudio serio del programa de inspecciones a efectuar.
- Se precisa disponer de un utillaje e instrumentación para poder acometer los trabajos, siendo por tanto necesaria la correspondiente inversión.

- El personal encargado de las distintas fases de los trabajos debe recibir una formación adecuada. (Garavito, 2010, p.6)

De los párrafos anteriores, se puede inferir que, de acuerdo a Garavito, el mantenimiento predictivo se centra en conocer el estado de los equipos a través de evaluaciones periódicas teniendo en consideración sus parámetros de funcionamiento a fin de detectar síntomas que podrían significar futuras fallas.

Reforzando lo indicado por Garavito, Cárcel (2014) indica que el mantenimiento preventivo es también llamado mantenimiento condicional, y que según la norma UNE-EN13306, se podría introducir dentro de la definición de la acción preventiva, y basado en la medición, seguimiento y monitoreo de parámetros y condiciones operativas de un equipo o instalación. A tal efecto, se definen y gestionan valores de pre-alarma y de actuación de todos aquellos parámetros que se considera necesario medir y gestionar (Veldman et al., 2011; Carnero, 2008, 2006, 2004). La información más importante que arroja este tipo de seguimiento de los equipos es la tendencia de los valores, ya que es la que permitirá calcular o prever, con cierto margen de error, cuando un equipo fallará; por ese motivo se denominan técnicas predictivas. (Cárcel, 2014, p.126)

Por ello, el mantenimiento predictivo consiste en determinar en todo instante la condición técnica (mecánica, eléctrica, etc.) real de la máquina o instalación examinada, mientras esta se encuentre en pleno funcionamiento, haciendo uso de un programa sistemático de mediciones de los parámetros más importantes del equipo. El sustento

tecnológico de este mantenimiento consiste en la aplicación de algoritmos matemáticos agregados a las operaciones de diagnóstico, que juntos pueden brindar información referente a las condiciones del equipo. (Cárcel, 2014, p.127)

De la definición anterior, se puede concluir que el mantenimiento predictivo consiste en conocer las condiciones técnicas de los equipos en pleno funcionamiento, identificando aquellos parámetros fundamentales y determinando valores de pre-alarma y de actuación de todos ellos.

El mantenimiento predictivo es el que persigue conocer e informar permanentemente del estado y operatividad de las instalaciones mediante el conocimiento de los valores de determinadas variables, representativas de tal estado y operatividad. Para aplicar este mantenimiento es necesario identificar variables físicas (temperatura, vibración, consumo de energía, etc.) cuya variación sea indicativa de problemas que puedan estar apareciendo en el equipo. Es el tipo de mantenimiento más tecnológico, pues requiere de medios técnicos avanzados, y de fuertes conocimientos matemáticos, físicos y técnicos. (García, 2003, p.17-18)

En el párrafo anterior, el autor señala que el mantenimiento predictivo es el mantenimiento más tecnológico, dado que requiere de equipos capaces de medir variables físicas de funcionamiento de los activos, a fin de identificar problemas que pudiesen estar apareciendo en el equipo.

De las definiciones anteriores, se puede concluir que el mantenimiento predictivo está basado en el monitoreo constante de los equipos, a través de la medición de

parámetros fundamentales con el equipo en funcionamiento. Asimismo, es necesario gestionar los datos obtenidos, determinando valores de pre-alarma que permitan actuar antes de presentarse una falla. Asimismo, para efectuar este mantenimiento, es necesario contar con la tecnología adecuada que permita realizar las mediciones requeridas como: temperatura, vibración, velocidad, etc.

b. Mantenimiento Preventivo

El mantenimiento preventivo es aquel que se ejecuta en base a un programa establecido, el mismo que incluye inspecciones, revisiones periódicas y reemplazo de componentes acorde a la naturaleza de los equipos y/o sistemas a ser intervenidos con la finalidad de garantizar su disponibilidad operativa durante toda su vida útil.

El Mantenimiento Preventivo se dirige a la prevención de averías y defectos. Las actividades diarias incluyen chequeos del equipo, controles de precisión, hacer una revisión total o parcial en momentos específicos, cambios de aceite, lubricación, etc. (Silva, 2005, p.11)

Como se puede observar en la definición anterior, el autor resalta que el mantenimiento preventivo tiene como fin, prevenir la aparición de averías y defectos a través del reemplazo de partes, lubricación, cambios de aceite y revisiones totales o parciales del equipo.

De esta forma, también se define el mantenimiento preventivo como "la realización de ciertas reparaciones y cambios de componentes o piezas, según intervalos de tiempo, o según determinados criterios preestablecidos, para tratar de reducir la posibilidad de avería o pérdida de

rendimiento de un equipo o instalación. Este tipo de mantenimiento está totalmente planificado, pudiendo basarse en períodos fijos de tiempo o en número de operaciones de un determinado componente. (Garavito, 2010, p.4)

Se implanta un programa de mantenimiento programado con el fin de reducir al mínimo posible el número de paradas imprevistas de los equipos o instalaciones. Por lo tanto, las revisiones se programan de acuerdo con las necesidades de fabricación y la periodicidad se establece dependiendo del tipo, importancia y antecedentes del equipo en particular. Las intervenciones sobre los equipos se realizan con la periodicidad establecida, aunque los equipos intervenidos presenten en ese momento un correcto funcionamiento. (Garavito, 2010, p.4)

El éxito de este tipo de mantenimiento se apoya en elegir bien el período de la inspección, de forma que no se lleguen a producir averías entre dichas inspecciones, teniendo en cuenta que los intervalos de tiempo no se deben acortar mucho, ya que esto lo encarecería considerablemente. Hay que buscar un equilibrio en el binomio costos-efectividad, para lograr este fin. (Garavito, 2010, p.4)

Hay que tener presente que las averías imprevistas serán máximas, así como el coste ocasionado por las mismas, cuando el mantenimiento preventivo es nulo, e irán disminuyendo según el grado de aplicación de éste. Por otra parte, al aumentar el mantenimiento preventivo, aumentará el coste del mismo. El coste total del mantenimiento será la suma de ambos, siendo la

intensidad de aplicación del mantenimiento preventivo óptima cuando el coste total sea mínimo. (Garavito, 2010, p.4)

Dicho óptimo si existe, pero su determinación resulta dificultosa y sólo al llevarlo a la práctica se podrá ir determinando y ajustando a fin de llegar a la situación idónea. (Garavito, 2010, p.4)

Las principales ventajas que ofrece este tipo de mantenimiento son:

- Planifica y programa los trabajos de forma racional.
  - Obtiene en general mayor calidad en las revisiones o reparaciones realizadas.
  - Tiende a reducir el número de: averías, emergencias y siniestros.
  - Mejora la producción y la calidad. consigue una mayor fiabilidad.
  - No existen urgencias en las reparaciones.
  - Permite una mejor organización y rentabilidad del personal disponible.
  - Reduce trabajos extraordinarios (turnos, horas extras,)
  - Mayor conocimiento v previsión de los gastos de mantenimiento
  - Permite un estricto control de los repuestos.
  - La vida de la máquina se alarga considerablemente.
- (Garavito, 2010, p.4)

Los inconvenientes que se presentan son:

- El principal problema gira fundamentalmente alrededor de los costes. Hay que tener presente que la mayoría de las veces se trata de revisar una

máquina que está funcionando correctamente, buscando alguna deficiencia que se desconoce y, por tanto, obliga a emplear mucho tiempo en revisiones y comprobaciones.

- Se efectúan reparaciones y sustituciones de elementos que están en condiciones de seguir operando, pero la idea es aprovechar la parada y apertura del equipo. Esto lleva consigo, que la vida útil de los órganos de las máquinas se reduzca sensiblemente.
- Para atender a estas revisiones se precisa una gran cantidad de repuestos, ya que se desconocen los que será necesario sustituir.
- En algunos casos la revisión resulta estéril, ya que no se encuentran anomalías. Por lo tanto, el único aporte es un poco de tranquilidad durante algunos días futuros.
- Se corre el riesgo de que, al revisar una máquina, que no presenta ninguna anomalía y su funcionamiento es correcto antes de su intervención, después de realizada ésta, el equipo presente problemas y se deje en peores condiciones de funcionamiento.  
(Garavito, 2010, p.5)

En general, se puede decir que no existen métodos rigurosos que permitan determinar la periodicidad con la que deben revisarse o repararse los equipos. (Garavito, 2010, p.5)

De los párrafos anteriores, se puede concluir que, para el autor, el mantenimiento preventivo representa un mantenimiento planificado, a través del cual se realizan ciertas reparaciones y/o reemplazos de piezas a fin de

evitar averías en los equipos, reduciendo al mínimo la posibilidad de paradas de producción. La periodicidad de las intervenciones se determina de acuerdo a las recomendaciones de fábrica o al tipo, importancia y antecedentes de un equipo en particular. Este mantenimiento se efectúa, así el equipo se encuentre operando correctamente.

Este mantenimiento también es denominado Mantenimiento Planificado o Sistemático, tiene lugar antes de que ocurra una falla o avería, se efectúa bajo condiciones controladas sin la existencia de algún error en el sistema (Nahas et Al., 2008; Crespo et al., 2006). Se realiza a razón de la experiencia y pericia del personal a cargo, los cuales son los encargados de determinar el momento necesario para llevar a cabo dicho procedimiento; el fabricante también puede estipular el momento adecuado a través de los manuales técnicos. (Cárcel, 2014, p.125)

Como se puede observar en la definición anterior, el autor confirma que el mantenimiento preventivo es un mantenimiento planificado, el cual se lleva a cabo sin la necesidad de la existencia de un error en el sistema. Asimismo, a diferencia de los otros autores, indica que la periodicidad de las intervenciones se define a razón de la experiencia y pericia del personal a cargo, pudiendo el fabricante indicar el momento idóneo de intervención.

De las definiciones anteriores, se puede concluir que el mantenimiento preventivo es aquel mantenimiento planificado donde se programa intervenir los equipos de acuerdo a diferentes factores: datos del fabricante,

experiencia del personal, tipo y/o función del equipo. Este mantenimiento se lleva a cabo, sin la necesidad de existir alguna falla en el equipo. Asimismo, los trabajos contemplados en este tipo de mantenimiento van desde lubricación, cambio de aceite, hasta el reemplazo de piezas o partes.

c. Mantenimiento Proactivo

El Mantenimiento Proactivo está enfocado en la localización y corrección de los factores iniciantes de cualquier tipo de falla en los equipos y sistemas. Por lo cual, se debe considerar que una vez que estos factores hayan sido detectados lo que continua es su eliminación; caso contrario, estos afectaran el desempeño de los equipos reduciendo su vida útil.

El Mantenimiento Proactivo utiliza técnicas especializadas para monitorear la condición de los equipos basándose fundamentalmente en el análisis para establecer el control de los parámetros de causa de falla. El Mantenimiento Proactivo, establece una técnica de detección temprana, monitoreando el cambio en la tendencia de los parámetros considerados como causa de falla, para tomar acciones que permitan al equipo regresar a las condiciones establecidas que le permitan desempeñarse adecuadamente por más tiempo. (Florez, 2015, p.1)

De los párrafos anteriores, se concluye que para el autor el mantenimiento proactivo se vale de técnicas especializadas para detectar y corregir las causas que generan el desgaste y que conducen a la falla de los equipos. Estas técnicas permiten monitorear las condiciones de funcionamiento de los equipos para su

respectivo control, pudiendo tomar las acciones respectivas que regresen al equipo a sus condiciones normales de trabajo.

El Mantenimiento Proactivo es la forma más simple de conseguir importantísimos ahorros, utilizando técnicas de mantenimiento convencionales. El Mantenimiento Proactivo se refiere a las acciones antes de una acción crítica, por lo tanto, ésta es una actividad de pre alerta obtenida antes de que ocurra algún problema. Este mantenimiento es una acción tomada para corregir situaciones que puedan llevar a la degradación del material debido a la propagación de la falla o problema. (Nieto, 2011)

Como podemos ver del párrafo anterior, el autor señala que el mantenimiento proactivo va más allá del mantenimiento predictivo, ya que emplea las técnicas predictivas no solo para saber el estado del equipo, sino para acrecentar significativamente la vida de los equipos. Este tipo de mantenimiento busca eliminar la causa raíz de la falla, no solo identificar los síntomas, de esta forma se evita la degradación del equipo por la propagación de la falla.

Es una metodología en la cual el diagnóstico y las tecnologías de orden predictivo son empleados para lograr aumentos significativos de la vida de los equipos y disminuir las tareas de mantenimiento, con el fin de erradicar o controlar las causas de fallas de las máquinas. Mediante este mantenimiento lo que se busca es la causa raíz de la falla, no sólo el síntoma (Goel et al., 2003; Mora, 2005), buscando un mayor rendimiento en el servicio

(Bourne et al., 2005; Oke, 2005) y una fiabilidad aceptable (Sun et al, 2007). Este mantenimiento tiene como fundamento los principios de solidaridad, colaboración, iniciativa propia, sensibilización, trabajo en equipo, de modo tal que todos los involucrados directa o indirectamente en la gestión del mantenimiento deben conocer la problemática del mantenimiento, es decir, que tanto técnicos, profesionales, ejecutivos, y directivos deben estar conscientes de las actividades que se realizan para desarrollar las labores de mantenimiento (Cuesta, 2010 citado por Cárcel, 2014, p.135).

De los párrafos anteriores, se puede inferir que para el autor el mantenimiento proactivo emplea las tecnologías de orden predictivo con el fin de eliminar las causas de fallas de los equipos. Adicionalmente, se puede concluir que los trabajos o intervenciones relacionados a este mantenimiento requieren bases y conceptos relacionados a la colaboración, iniciativa propia y trabajo en equipo.

Cada individuo desde su cargo o función dentro de la organización, actuará de acuerdo a este cargo, asumiendo un rol en las operaciones de mantenimiento, bajo la premisa de que se debe atender las prioridades del mantenimiento en forma oportuna y eficiente. El mantenimiento proactivo implica contar con una planificación de operaciones, la cual debe estar incluida en el plan estratégico de la organización. Este mantenimiento a su vez debe brindar indicadores (informes) hacia la gerencia, respecto del progreso de las actividades, los logros, aciertos, y también errores, y basado en tácticas tanto preventivas como predictivas. (Cárcel, 2014, p.135)

Como podemos observar en la definición anterior, el autor indica que el mantenimiento proactivo debe ser gestionado mediante una adecuada planificación, la misma que debe encontrarse alineada al plan estratégico de la compañía. Dicho mantenimiento debe mantener informado a la gerencia del avance de los trabajos mediante indicadores de gestión.

De los conceptos anteriores, se puede concluir que el mantenimiento proactivo se basa en utilizar las técnicas del mantenimiento predictivo a fin de hallar la causa raíz de alguna posible falla, a fin de poder tomar las acciones necesarias para que dicha falla no se propague ni afecte la operatividad del equipo, regresando al equipo a sus condiciones normales de trabajo.

d. **Mantenimiento Reactivo**

El Mantenimiento Reactivo es el tipo de mantenimiento en el que las acciones se toman tras una falla en el o los equipos, para corregir esa falla o avería, volviendo a dejar el equipo productivo. Más popular y habitualmente se le denomina Mantenimiento Correctivo. (¿Qué es el Mantenimiento Reactivo?, 2015, s/n)

Debido a los problemas que puede causar en ítems, máquinas, equipos, instalaciones, etc. al parar la actividad o producción de forma reiterada y durante periodos impredecibles, no es nada recomendable usarlo como estrategia de Mantenimiento en equipos o elementos críticos e indispensables de la empresa o instalación. (¿Qué es el Mantenimiento Reactivo?, 2015, s/n)

Aunque en la práctica siempre habrá un porcentaje de Mantenimiento Reactivo o Correctivo en la Gestión de Activos, se ha comprobado que disminuirá de forma automática cuando se comienzan a realizar las adecuadas tareas de los otros tipos de Mantenimiento. (¿Qué es el Mantenimiento Reactivo?, 2015, s/n)

De los párrafos anteriores, se señala que el mantenimiento reactivo corresponde a las acciones que se toman después de ocurrida una falla, volviendo al equipo a sus condiciones normales de trabajo. Asimismo, se ha verificado que el porcentaje de mantenimientos reactivos disminuye después de implementado un sistema de gestión de activos.

El mantenimiento reactivo tiene lugar después de que ocurre un fallo o avería, es decir, solo actuará cuando se presenta un error en el sistema. (Cárcel, 2014, p.124)

En este caso si no se produce ningún fallo, el mantenimiento será nulo, por lo que se tendrá que esperar hasta que se presente el desperfecto para en ese momento tomar medidas de corrección de errores. (Cárcel, 2014, p.124)

Como podemos observar en la definición anterior, el autor indica que el mantenimiento reactivo es aquel que toma lugar después de haberse producido una falla o avería en el sistema y/o equipo.

### **Ventajas**

- No se requiere una gran infraestructura técnica ni elevada capacidad de análisis.

- Máximo aprovechamiento de la vida útil de los equipos. (Cárcel, 2014, p.125)

### **Inconvenientes**

- Las averías se presentan de forma imprevista lo que origina trastornos a la producción.
- Riesgo de fallos de elementos difíciles de adquirir, lo que implica la necesidad de un “stock” de repuestos importante.
- Baja calidad del mantenimiento como consecuencia del poco tiempo disponible para reparar. (Cárcel, 2014, p.125)

De los párrafos anteriores, se puede concluir que, si bien el mantenimiento reactivo aprovecha al máximo la vida útil de los activos, esto conlleva a que las averías puedan presentarse intempestivamente, ocasionando gastos no planificados en mano de obra y repuestos.

La ausencia de este tipo de mantenimiento trae consigo las siguientes consecuencias:

- Paradas no previstas en el proceso productivo, disminuyendo las horas operativas.
- Afecta las cadenas productivas, es decir, que los ciclos productivos posteriores se verán parados a la espera de la corrección de la etapa anterior.
- Presenta costos por reparación y repuestos no presupuestados, por lo que se dará el caso que por falta de recursos económicos no se podrán comprar los repuestos en el momento deseado.

- La planificación del tiempo que estará el sistema fuera de operación no es predecible. (Conceptos Básicos del Mantenimiento, 2011, s/n)

Del párrafo anterior podemos observar que la falta de mantenimiento reactivo trae consigo paradas de producción no planificadas, costos no programados en repuestos, además de pérdidas económicas por afectar las cadenas de producción de la compañía.

De los conceptos anteriores, se puede concluir que el mantenimiento reactivo se encuentra comprendido por las acciones que se toman luego de ocurrida una falla o avería, a fin de regresar al equipo a sus condiciones normales de operación. El hecho de intervenir los equipos después de haber fallado, ocasiona gastos adicionales en repuestos y mano de obra. Adicionalmente, se ha comprobado que la cantidad de intervenciones por este tipo de mantenimiento tiende a disminuir conforme se implemente un sistema de gestión de activos.

Para la presente investigación, se toma en cuenta el modelo conceptual indicado en la Guía de Seguridad N° NS-G-4.2 "Maintenance, Periodic Testing and Inspection of Research Reactors" emitido por el Organismo Internacional de Energía Atómica (2006) donde se señalan los siguientes tipos de mantenimiento:

Existen varios enfoques posibles para el mantenimiento, que pueden dividirse, a grandes rasgos, en dos categorías: el mantenimiento preventivo (también denominado mantenimiento rutinario o programado) y el mantenimiento correctivo (o reparador) (p. 12)

La mayoría de las actividades de mantenimiento se realizan con el reactor parado. Sin embargo, el mantenimiento puede realizarse mientras el reactor está en funcionamiento, siempre que se mantengan los límites y condiciones operativas, incluidas las condiciones límite de funcionamiento (p.12).

➤ **Mantenimiento preventivo**

El mantenimiento preventivo debería consistir en inspecciones, pruebas, revisiones y actividades de sustitución. Su objetivo es aumentar la fiabilidad de los equipos, detectar y prevenir fallos incipientes y prevenir fallos incipientes, y asegurar la capacidad continua de las ESC del reactor para realizar las funciones previstas. (p. 12)

El mantenimiento preventivo debe realizarse en las ESC:

- Según lo especificado por los diseñadores o fabricantes;
- Según lo especificado por la ley y en los requisitos reglamentarios;
- Según lo determine la dirección del reactor sobre la base de las revisiones de seguridad y la experiencia operativa anterior o por otras razones, como el cumplimiento de las estipulaciones de los seguros. (p. 12)

Las instrucciones de los fabricantes sobre el mantenimiento preventivo pueden modificarse para reflejar la experiencia. Sin embargo, debe tenerse cuidado durante este proceso, y se debe consultar al fabricante cuando sea necesario. (p. 12)

El mantenimiento preventivo incluye las actividades de mantenimiento periódico, predictivo y planificado, como se indica a continuación:

- Las actividades de mantenimiento periódico deben realizarse de forma rutinaria de rutina y pueden incluir inspecciones, alineaciones o calibraciones, revisiones y la sustitución de las ESC.
- Las actividades de mantenimiento predictivo deben incluir la supervisión continua o periódica de mantenimiento predictivo deben incluir la supervisión continua o periódica, siempre que sea posible, para predecir los fallos de las ESC.
- Las actividades de mantenimiento planificadas deben realizarse antes de la degradación o fallo de las ESC y pueden iniciarse sobre la base de los resultados del mantenimiento predictivo o periódico. (p. 13)

Las ESC defectuosas identificadas durante el mantenimiento preventivo deben someterse a repararse o sustituirse de forma correcta, oportuna y adecuada. (p. 13)

Con el fin de predecir los fallos de las ESC, deberían recogerse y almacenarse los datos relativos a los fallos, incluidos las causas de los mismos. Estos datos, normalmente en forma de informes, deben ser analizados y utilizados como insumos para el programa desarrollado para mantenimiento preventivo. (p. 13).

➤ **Mantenimiento correctivo**

El mantenimiento correctivo (a veces denominado mantenimiento correctivo) mantenimiento correctivo) consiste en actividades de reparación y/o sustitución que no se producen en un programa regular. El programa de mantenimiento preventivo reducirá la necesidad de mantenimiento correctivo y puede dar lugar a una mayor disponibilidad de las ESC y una reducción de los costes. Sin embargo, la necesidad de acciones correctivas no puede ser totalmente eliminada. Deben asignarse recursos adecuados, como recursos humanos, piezas de repuesto y fondos, deberían asignarse al mantenimiento correctivo. (p. 13)

La organización operativa debería tomar las medidas adecuadas para tratar las necesidades urgentes de mantenimiento correctivo. Para una acción rápida, un sistema de personas cualificadas o de organizaciones de mantenimiento puede ser necesario de mantenimiento. (p. 13)

Después de las actividades de mantenimiento o reparación, las ESC pertinentes deben inspeccionarse y, en caso necesario, recalibrarse, probarse y aprobarse para funcionamiento por el personal responsable. (p. 14)

C. Costos de Mantenimiento.

Cuando se habla de coste en mantenimiento nos referimos a los que se van constatando en realidad, con la marcha de las instalaciones y del funcionamiento real del servicio. (Díaz, 2011, p.51)

En un entorno cada vez más competitivo, cada vez más adquiere más importancia el control de los costes de mantenimiento. Los costes directos o de mantenimiento están compuestos por la mano de obra y los materiales necesarios para realizar el mantenimiento. (Díaz, 2011, p.51-52)

Los costes indirectos o costes de avería son los derivados de la falta de disponibilidad o del deterioro de las funciones de los equipos. Estos no suelen ser objeto de una partida contable tal como se aplica a los costes directos, pero su volumen puede ser incluso superior a los directos. (Díaz, 2011, p.52)

De acuerdo a lo señalado por el autor, los costes de mantenimiento se encuentran referidos al costo real de las intervenciones, derivándose en costos directos e indirectos. Los costos directos son los relacionados a la mano de obra y a los materiales; y a su vez los costos indirectos son aquellos procedentes de la ausencia en la disponibilidad de los equipos.

Para determinar cuál es la inversión requerida para implantar un plan de mantenimiento, acorde con las necesidades de la instalación, deben realizarse previamente las siguientes averiguaciones:

- Lista total de averías reparadas, incluyendo los medios materiales y repuestos utilizados, medios de transporte, y recursos humanos.
- Detalle de los tiempos de reparación.
- Coste de cada una de las reparaciones, detallando los repuestos, materiales auxiliares, transportes y horas / hombre.
- Estimación de las pérdidas derivadas de la parada o disminución de la producción. (Gómez, 2008, p.35)

De acuerdo a Gómez, los costos de mantenimiento son los que intervienen para implementar un plan de mantenimiento, teniendo en cuenta las averías reparadas, los tiempos de reparación, los costos de reparación y la estimación de las pérdidas derivadas por paradas o disminución de la producción.

De las definiciones anteriores, se puede concluir que las definiciones de Díaz y Gómez se complementan, ya que se tiene que los costos de mantenimiento están conformados por costos directos (mano de obra y materiales) y costos indirectos (derivados de la falta de disponibilidad). Ambos costos conforman un plan de mantenimiento, el cual servirá para cumplir los requerimientos de la empresa.

#### **2.2.4. Gestión Pública.**

Las políticas de Estado que exigen los desafíos nacionales, regionales y globales implican un Estado fuerte, proactivo y participe con otros en su función económica, social y ambiental, capaz de formular e implementar estrategias de desarrollo para alcanzar metas económicas, sociales y ambientales. Ello debe ir de la mano con un modelo de gestión pública de calidad, orientado al desarrollo que incluya la entrega y provisión de bienes y servicios públicos de manera efectiva, eficiente y oportuna. (Comisión Económica para América Latina, 2022)

Por ello, y a fin de contar con los procesos requeridos que permitan administrar los recursos públicos de forma óptima con la finalidad de cumplir con los objetivos nacionales y cubrir las necesidades de los ciudadanos, se requiere de una óptima gestión pública basada, entre otros, por:

#### **2.2.4.1. Política Nacional de Modernización de la Gestión Pública.**

La modernización de la gestión pública es una política de Estado que alcanza a todas las entidades públicas que lo conforman, sin afectar los niveles de autonomía que les confiere la ley. Compromete al Poder Ejecutivo, organismos autónomos, gobiernos descentralizados, instituciones políticas y la sociedad civil. El objetivo de esta política es el de orientar, articular e impulsar en todas las entidades públicas, el proceso de modernización hacia una gestión pública para resultados que impacte positivamente en el bienestar del ciudadano y el desarrollo del país (Presidencia del Consejo de Ministros, 2013)

#### **2.2.4.2. Gestión por procesos en entidades públicas.**

Es una forma de planificar, organizar, dirigir y controlar las actividades de trabajo, de manera transversal y secuencial, a las diferentes unidades de organización de las entidades públicas, para satisfacer las necesidades y expectativas de los ciudadanos, así como cumplir los objetivos institucionales; es así que, las entidades se gestionan como un sistema definido por la red de procesos, creando un mejor entendimiento de lo que aporta valor a la entidad. (Plataforma digital única del Estado Peruano, 2022)

#### **2.2.4.3. Gestión de la Calidad de Servicios**

Esta gestión implica diseñarlos y desarrollarlos con conocimiento de las necesidades y expectativas de los ciudadanos, considerando para ello: canales de atención disponibles, estándares de calidad de servicio, uso de tecnologías de información y comunicación en la interacción con las personas o entre entidades públicas, y otros medios que aporten a mejorar la calidad del bien o servicio público. (Plataforma digital única del Estado Peruano, 2022)

## **Capítulo III**

### **Diagnóstico**

#### **3.1. Organización de la Institución a implementar la respuesta**

##### **3.1.1. De la Institución.**

El Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN) es un Organismo Público Ejecutor; es decir que, se encuentra subordinado a los lineamientos técnicos del Ministerio de Energía y Minas. Por ello, la planificación de sus objetivos y estrategias se desarrollan en coordinación con dicho ministerio.

Dirige sus actividades de promoción e investigación aplicada a través de Proyectos de interés socioeconómico, en armonía con las necesidades del país, incentivando la participación del sector privado, mediante la transferencia de tecnología. (Instituto Peruano de Energía Nuclear, 2019)

En el ámbito del control de la aplicación de las actividades relacionadas con radiaciones ionizantes, el IPEN actúa como Autoridad Nacional, velando fundamentalmente por el cumplimiento de las Normas, Reglamentos y Guías orientadas, para la operación segura de las instalaciones nucleares y radiactivas, basadas en la Ley 28028 Ley de Regulación del uso de Fuentes de Radiación Ionizante y su reglamento, así como en las recomendaciones del Organismo Internacional de la Energía Atómica - OIEA. (Instituto Peruano de Energía Nuclear, 2019)

Estas funciones son encargadas desde su creación, el 04 de febrero de 1975 mediante Decreto Ley N° 21094, Ley Orgánica del Sector Energía y Minas; también determinadas en su propia Ley Orgánica Decreto Ley N° 21875 del 5 de junio de 1977, sus modificatorias y por

su Reglamento de Organización y Funciones aprobado por Decreto Supremo N° 062-2005-EM de fecha 16 de diciembre de 2005. (Instituto Peruano de Energía Nuclear, 2019).

Adicionalmente al presupuesto anual de Tesoro Público para gastos corrientes y de inversión, el IPEN cuenta con el aporte de la Cooperación Técnica del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) y así el Plan de Desarrollo Nuclear recibe un significativo apoyo mediante la ejecución de proyectos que permiten la capacitación de personal en forma científico- técnica y la recepción de equipos, materiales y visita de expertos. (Instituto Peruano de Energía Nuclear, 2019)

### **3.1.2. Visión y misión.**

De acuerdo al Decreto Supremo N° 062-2005- EM, la visión y misión de la Institución quedan establecidos de la siguiente forma:

#### **Visión**

Institución de investigación y desarrollo reconocida internacionalmente por generar y transferir conocimiento científico y tecnológico que mejora la competitividad del país y el bienestar de la población, promueve el uso pacífico e intensivo de las aplicaciones nucleares y afines en los sectores productivos y de servicios. Regula y controla eficazmente el uso seguro de las radiaciones ionizantes.

#### **Misión**

Normar, promover, supervisar y desarrollar la investigación y las aplicaciones nucleares y afines para mejorar la competitividad del país y la calidad de vida de la nación.

### **3.1.3. Funciones.**

Las principales funciones de la Institución enmarcadas en el Decreto Supremo N° 062-2005- EM y que se encuentran ligadas al presente trabajo de investigación son:

- Planificar, promover y desarrollar la infraestructura científica y tecnología necesaria para la aplicación de la energía nuclear y las áreas afines.
- Planificar, organizar, dirigir, desarrollar y supervisar las investigaciones científicas, el desarrollo tecnológico y la innovación en el campo de la energía nuclear.
- Promover el uso y las aplicaciones de la tecnología nuclear y afines, en los sectores productivos y de servicios.
- Producir y comercializar bienes y servicios resultantes de las investigaciones y de las aplicaciones de la tecnología nuclear y las áreas afines.
- Promover, organizar y conducir programas de capacitación y de transferencia tecnológica.
- Promover y gestionar la cooperación técnica con el Organismo Internacional de Energía Atómica y otras fuentes de cooperación similares.

#### **3.1.4. Estructura.**

La estructura orgánica del IPEN, acorde a lo indicado en el Decreto Supremo N° 062-2005- EM, es la siguiente:

1. Alta Dirección - Órganos de Gobierno
  - 1.1 Presidencia
    - 1.1.1 Consejos Consultivos
  - 1.2 Dirección Ejecutiva
  - 1.3 Secretaría General
2. Órgano de Control Institucional
  - 2.1 Oficina de Control Institucional
3. Órganos de Asesoramiento
  - Oficina De Asesoría Jurídica
  - Oficina De Planeamiento y Presupuesto

- Unidad de Planeamiento
  - Unidad de Presupuesto
  - Unidad de Racionalización
4. Órgano de Apoyo
- 4.1 Oficina De Administración
    - 4.1.1 Unidad De Contabilidad
    - 4.1.2 Unidad De Tesorería
    - 4.1.3 Unidad De Logística
    - 4.1.4 Unidad De Recursos Humano
5. Órganos de Línea
- 5.1 Dirección de Investigación y Desarrollo
    - 5.1.1 Subdirección de Investigación Científica
    - 5.1.2 Subdirección de Desarrollo Tecnológico
  - 5.2 Dirección de Producción
    - 5.2.1 Subdirección de Operación de la Planta de Producción
    - 5.2.2 Subdirección de Operación de Reactores Nucleares
  - 5.3 Dirección de Servicios
    - 5.3.1 Subdirección de Seguridad Radiológica
    - 5.3.2 Subdirección de Servicios Tecnológicos
  - 5.4 Dirección de Transferencia Tecnológica
    - 5.4.1 Subdirección de Gestión del Conocimiento
    - 5.4.2 Subdirección de Gestión de la Tecnología
  - 5.5 Oficina Técnica de la Autoridad Nacional
    - 5.5.1 Departamento de Fiscalización
    - 5.5.2 Departamento de Autorizaciones

### 3.1.5. Marco Normativo.

**A. Ley N° 28028:** Ley de Regulación del Uso de Fuentes de Radiación Ionizante, promulgada el 14 de julio del 2003, representa el requisito legal que norma todas las prácticas o acciones que incluyan exposiciones o potenciales exposiciones a radiaciones ionizantes. La importancia fundamental de esta ley se enmarca en establecer el marco legal que permita prevenir y proteger a las personas, al medio ambiente y a la propiedad de cualquier efecto potencial nocivo subyacente al uso de las radiaciones ionizantes.

Asimismo, la Comisión Permanente del Congreso de la República (2003) señala en el artículo tercero de dicha ley que la autoridad competente para aplicar su contenido es el Instituto Peruano de Energía Nuclear, quedando a cargo como Autoridad Nacional; y enmarcando sus funciones en la regulación, autorización, control y fiscalización del uso de fuentes de radiación ionizante relativos a seguridad radiológica y nuclear, protección física y salvaguardias de los materiales nucleares en el territorio nacional.

Esta Ley permite contar con un glosario de términos claro y conciso; además de indicar el marco normativo para las autorizaciones de operación y control de importaciones de fuentes de radiaciones y material nuclear. Adicionalmente, establece las regulaciones de infracciones y sanciones.

**B. Reglamento de la Ley N° 28028:** Ley de Regulación del Uso de Fuentes de Radiación Ionizante, promulgado mediante el Decreto Supremo N° 039-2008-EM con fecha 19 de julio del 2008; con el fin de aclarar y delimitar los requisitos y procedimientos correspondientes a la obtención de las distintas autorizaciones que requieran las personas naturales o jurídicas,

que realicen prácticas con fuentes de radiación ionizante. (Ministerio de Energía y Minas, 2008)

Con este reglamento, se tiene el detalle para la obtención de la licencia de operación de las centrales y reactores nucleares; además de los requisitos para licenciar a los operadores de dichas instalaciones. Asimismo, establece las obligaciones o exigencias requeridas para el licenciamiento individual de mantenedores de instalaciones radiactivas.

**C. *Guía de seguridad NS-G-4.2 del Organismo Internacional de Energía Atómica “Maintenance, Periodic Testing and Inspection of Research Reactors***

Esta Guía de seguridad proporciona orientación práctica sobre cómo cumplir con los requisitos de seguridad de los reactores de investigación. Cubre una amplia gama de prácticas internacionales, que incluyen el mantenimiento preventivo y correctivo de estructuras, sistemas y componentes, pruebas periódicas para garantizar que las operaciones se mantengan dentro de los límites y condiciones de funcionamiento establecidos, y las inspecciones no rutinarias. Esta Guía de seguridad es aplicable a todos los tipos de reactores de investigación heterogéneos que tengan una potencia nominal de hasta varias decenas de megavatios.

**3.1.6. Áreas involucradas en la realidad problema.**

**El organigrama de la Entidad solo reconoce hasta el nivel de Sub Direcciones.**

El Departamento de Mantenimiento de la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares no se encuentra en el Reglamento de Organización y Funciones (ROF) de la Entidad. Por ello, las funciones de su personal tampoco se haya en el Manual de Organización y Funciones (MOF).

Todo lo relacionado a las responsabilidades y funciones del departamento de mantenimiento se encuentra en el informe de análisis de seguridad.

A. Dirección de Producción.

Acorde al Decreto Supremo N° 062-2005- EM, la Dirección de Producción es el órgano de línea encargado de promover, desarrollar y controlar las actividades relacionadas con la operación de las instalaciones radiactivas de producción de radioisótopos, radiofármacos y otros productos afines. Es responsable de la operación segura de las instalaciones nucleares de la Institución. La Dirección de Producción depende de la Dirección Ejecutiva.

Este órgano de línea está a cargo del Director de Producción y conformado por las siguientes Sub Direcciones:

- Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares.
- Sub Dirección de Operación de la Planta de Producción.

En base a lo estipulado en el Decreto Supremo N° 062-2005-EM, dentro de las funciones de esta dirección se encuentra:

- Planificar, organizar, dirigir, coordinar, ejecutar y controlar el desarrollo de las actividades de producción de radioisótopos, radiofármacos, agentes de radiodiagnóstico y otros productos afines, asegurando su disponibilidad y seguridad.
- Asegurar la buena calidad de la producción.
- Desarrollar nuevos productos en el ámbito de su competencia.
- Planificar, organizar, dirigir, coordinar y controlar la operación eficiente de las instalaciones nucleares y radiactivas a su cargo.

- Garantizar la seguridad nuclear, radiológica y física de las instalaciones nucleares y radiactivas a su cargo.
- Programar, ejecutar y supervisar las actividades de mantenimiento que aseguren la confiabilidad y disponibilidad de las instalaciones nucleares y radiactivas a su cargo.
- Programar y conducir la promoción de los bienes producidos para satisfacer la demanda nacional y la exportación, especial los de uso en la Medicina Nuclear.
- Participar en programas y proyectos de investigación y desarrollo tecnológico dentro de su competencia y áreas afines.

B. Sub Dirección de Operaciones de Reactores Nucleares

De acuerdo al Decreto Supremo N° 062-2005- EM, la Sub Dirección de Operaciones de Reactores Nucleares encargada de la programación, ejecución y supervisión de las actividades relacionadas con la operación en condiciones seguras de las instalaciones nucleares debiendo actuar de acuerdo con los procedimientos que garanticen la calidad, el control y la supervisión de las instalaciones nucleares dentro de los límites y condiciones establecidas en las licencias de operación, asimismo debe programar, ejecutar y supervisar las actividades de mantenimiento de las instalaciones nucleares también debe formular y conducir los planes de emergencias radiológicas correspondientes.

Esta Sub Dirección está conformada por la Jefatura del reactor nuclear de investigación RP-10, y cuenta con dos departamentos consultores y asesores:

- Departamento de Seguridad Radiológica.
- Departamento de Garantía de Calidad.

Según el Manual de Organización y Funciones (MOF) vigente de la Entidad, la Sub Dirección tiene las siguientes funciones:

- Programar y ejecutar la operación segura de los reactores, teniendo en cuenta los límites y condiciones establecidas en la licencia de uso.
- Formular, implementar y ejecutar el Plan de Emergencias nucleares y Radiológicas.
- Verificar y prever el suministro de requerimientos para el cumplimiento de las condiciones de Licencia de Operación de las instalaciones y licencias individuales de operadores y supervisores.
- Programar el uso de las facilidades de irradiación de los reactores.
- Mantener actualizados los costos de explotación de los reactores.
- Proponer y participar en estudios teóricos experimentales, que permitan el rendimiento más económico y seguro de los reactores.
- Programar y ejecutar labores de mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo de los reactores.

#### C. Jefatura del Reactor RP-10

La Jefatura del reactor nuclear de investigación se encuentra a cargo de un jefe y está conformado por los siguientes departamentos:

- Departamento de Cálculo, Análisis y Seguridad.
- Departamento de Operación.
- Departamento de Mantenimiento.

Dentro de las funciones de esta jefatura, acorde a lo estipulado en Manual de Organización y Funciones (MOF) vigente de la Entidad, se tiene las siguientes:

- Programar, dirigir y controlar las acciones necesarias para la producción de radioisótopos y prever servicios de irradiación a los usuarios internos y externos.
- Realizar las acciones necesarias para obtener y mantener vigentes la licencia de operación de sus instalaciones y de su personal, así como supervisar el cumplimiento de los límites y condiciones de la licencia.
- Desarrollar programas y ejecutar de acuerdo a los procedimientos para la correcta operación del RP10 y verificar su cumplimiento.
- Participar en la formulación y cumplimiento del programa de garantía de Calidad de la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares.
- Coordinar y ejecutar programas de trabajo con otras unidades orgánicas para optimizar el uso de los Reactores.
- Coordinar la elaboración, actualización e implementación de los planes de emergencia radiológica e industrial. Realizar periódicamente simulacros de emergencia.
- Realizar otras funciones que se le asignen, en el ámbito de su competencia.

#### D. Departamento de Mantenimiento

El Departamento de Mantenimiento de la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares está a cargo de un Responsable funcional y conformado por las siguientes tres áreas:

- Área de mecánica – eléctrica
- Área de Química de Reactores
- Área de Instrumentación y Control

Las funciones de este departamento se encuentran enmarcados en el Manual de Organización y Funciones (MOF) vigente de la Entidad, siendo las siguientes:

- Planificar, dirigir y supervisar la ejecución de los programas de mantenimiento preventivo y correctivo de los sistemas y componentes del reactor RP-10.
- Ordenar y supervisar la ejecución de toda tarea de mantenimiento de tipo correctivo de los sistemas y componentes del RP-10.
- Informar al Sub Director de Operación de Reactores Nucleares y Jefatura del reactor sobre el desarrollo de los trabajos de mantenimiento en el reactor.
- Registrar y archivar toda documentación relativa al mantenimiento correctivo realizado a los sistemas, componentes, equipos e instalaciones del reactor.
- Planificar y emitir los programas de mantenimiento preventivo de los equipos y sistemas del reactor.
- Aprobar modificaciones de ingeniería necesarias para el adecuado mantenimiento del reactor.
- Mantener informado al Sub Director de Operación de Reactores Nucleares, Jefatura del reactor y al especialista en protección radiológica, cuando se inicien, interrumpen o finalicen trabajos de mantenimiento sobre sistemas componentes o equipos que afecten la seguridad de operación o impliquen riesgo radiológico al personal.
- Establecer funciones y responsabilidades de los responsables de las áreas de mantenimiento, verificando el cumplimiento de los mismos y la calidad del trabajo realizado.
- Efectuar la revisión y actualización del manual de mantenimiento.
- Gestionar la adquisición y entrega de repuestos, consumibles, materiales, herramientas e instrumentos necesarios para mantener el stock y asistir los requerimientos de cada grupo a su cargo.

- Presentar las planillas de liberación de equipos y sistemas para las operaciones programadas del Reactor.
- Programar y dirigir la capacitación y entrenamiento del personal de mantenimiento.
- Elaborar y presentar informes trimestrales de avance de actividades.
- Cumplir y hacer cumplir las normas de protección radiológica y seguridad nuclear.
- Participar en turnos de operación del reactor.

Todas las áreas que conforman este departamento tienen las siguientes funciones:

- Conducir al personal a su cargo, ordenando sus tareas y responsabilidades.
- Supervisar la ejecución de toda tarea de mantenimiento, correspondiente a su área.
- Participar en reuniones con los responsables de otras áreas en el caso de una labor especial que requiera el trabajo en conjunto para lograr esa labor.
- Es el responsable de la calidad de todos los trabajos que se ejecute a su cargo.
- Redactar informe sobre fallas detectadas, situación operativa y/o trabajos efectuados de mantenimiento que requieran una explicación más explícita y detallada.
- Efectuar los requerimientos de bienes y servicios del campo de su competencia, de los diferentes sectores, indicando su prioridad.
- Proponer al Responsable Funcional del Departamento Mantenimiento la programación de las tareas de mantenimiento preventivo de su responsabilidad.
- Emitir las planillas de liberación de equipos previo a cada operación del reactor.

- Emitir las planillas de los trabajos de mantenimiento preventivo, de acuerdo al Programa de Mantenimiento Preventivo.
- Emitir las planillas de los trabajos de mantenimiento correctivo.
- Catalogar, mantener y controlar en forma permanente y actualizado, el stock de repuestos, elementos de consumo, herramientas e instrumentos a su cargo.
- Preparar y elevar al Responsable Funcional del Departamento de Mantenimiento los requerimientos de materiales de repuestos, consumibles, herramientas e instrumental necesario para reponer el stock que se debe mantener.
- Elevar al Responsable Funcional del Departamento de Mantenimiento los requerimientos de personal y materiales para mantener operativos los ESC de la planta.
- Es el responsable de mantener el stock de repuestos, elementos consumibles, herramientas e instrumentos necesarios a través de un almacén que tendrá como misión asistir a los requerimientos de cada área.
- Ordenar la adquisición y entrega de los materiales y repuestos que se adquieran o incorporen para mantenimiento.
- Es responsable de la utilización, conservación y archivo de toda la documentación relativa al registro de datos y mantenimiento realizado a todos los sistemas, componentes y equipos, concernientes a su respectiva área.
- Elaborar las especificaciones técnicas y términos de referencia y emitirlos a la Jefatura del Departamento Mantenimiento, para la atención de los requerimientos de cada una de sus áreas; a través del financiamiento por cuadro de necesidades y demanda adicional.

- Emitir un informe mensual, donde se indique los reportes de avance mensual del Programa de Mantenimiento Preventivo y los trabajos por mantenimiento correctivo efectuados mensualmente.
- Responsable de asegurar que los equipos e instrumentos que se emplean en los trabajos de mantenimiento cuenten con la calibración necesaria y vigente.

E. Área de mecánica – eléctrica.

El área de mecánica eléctrica se encuentra a cargo de un responsable funcional el cual dirige y lidera las actividades de esta especialidad.

Las funciones del área en mención son:

- Es el responsable del mantenimiento preventivo y correctivo de todos los sistemas, instalaciones y equipos mecánicos y eléctricos del reactor RP-10.
- Organizar a su personal en grupos a los que asignará las responsabilidades de los trabajos de mantenimiento.
- Orientar, asesorar y apoyar al personal bajo su cargo cuando las labores sean de mayor complejidad, desde un punto de vista ingenieril y conductual para su mejor desempeño laboral; implementando conjuntamente con el área de seguridad y salud en el trabajo las medidas de control para proteger al personal de los riesgos y/o procesos peligrosos a los que están expuestos.

F. Área de Química de reactores.

Responsable del mantenimiento de todos los sistemas y equipos de instrumentación y señalización nuclear y convencional, equipos electrónicos convencionales y sísmicos, sistema de TV, monitores de área, y todo sistema o equipo electrónico del Reactor RP-10, desde el sensor hasta el indicador.

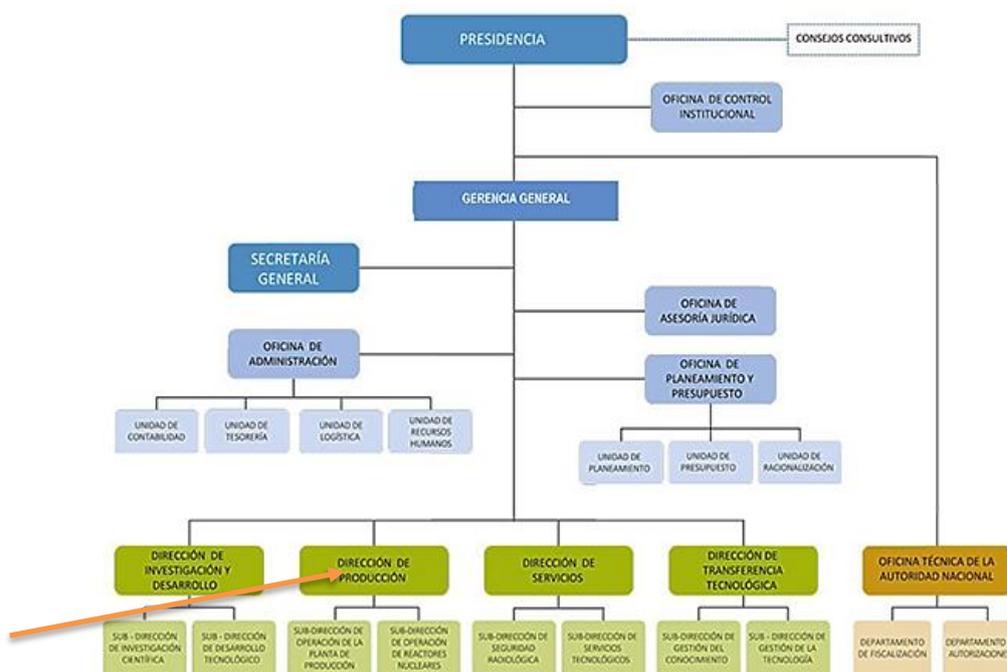
### G. Área de Instrumentación y Control.

El área de instrumentación y control del reactor nuclear RP-10 abarca la instrumentación nuclear y convencional de este reactor. Para la gestión y desarrollo de sus actividades cuenta con un responsable funcional.

Responsable de ejecutar los programas de mantenimiento preventivo y correctivo de los sistemas y equipos de tratamiento de aguas y efluentes activos del reactor RP-10.

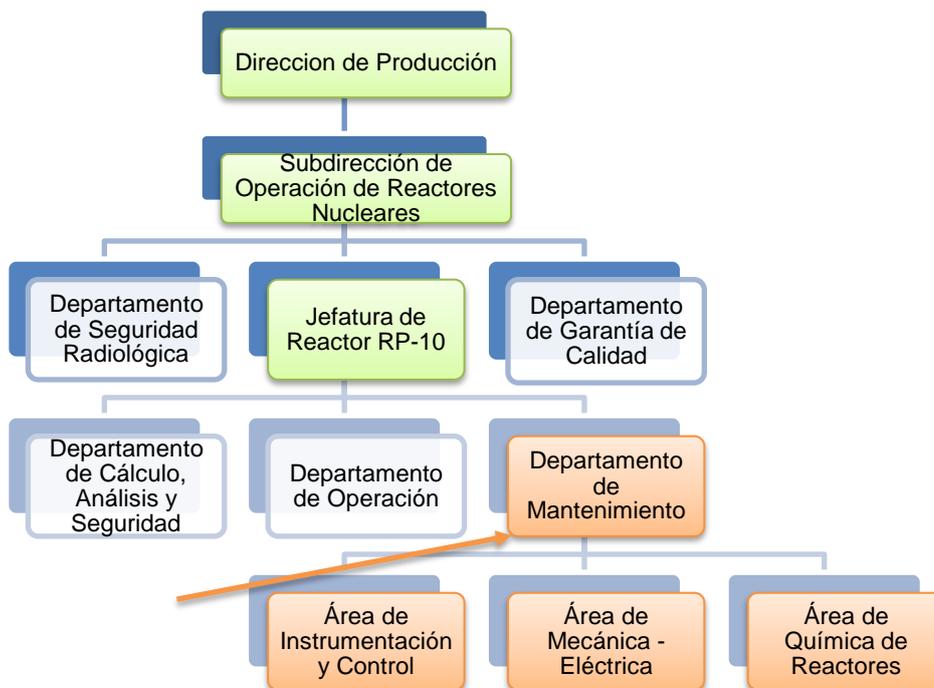
## 3.2. Estructura Organizacional

El IPEN presenta la siguiente estructura organizacional:



**Figura 37.** Organigrama del Instituto Peruano de Energía Nuclear.

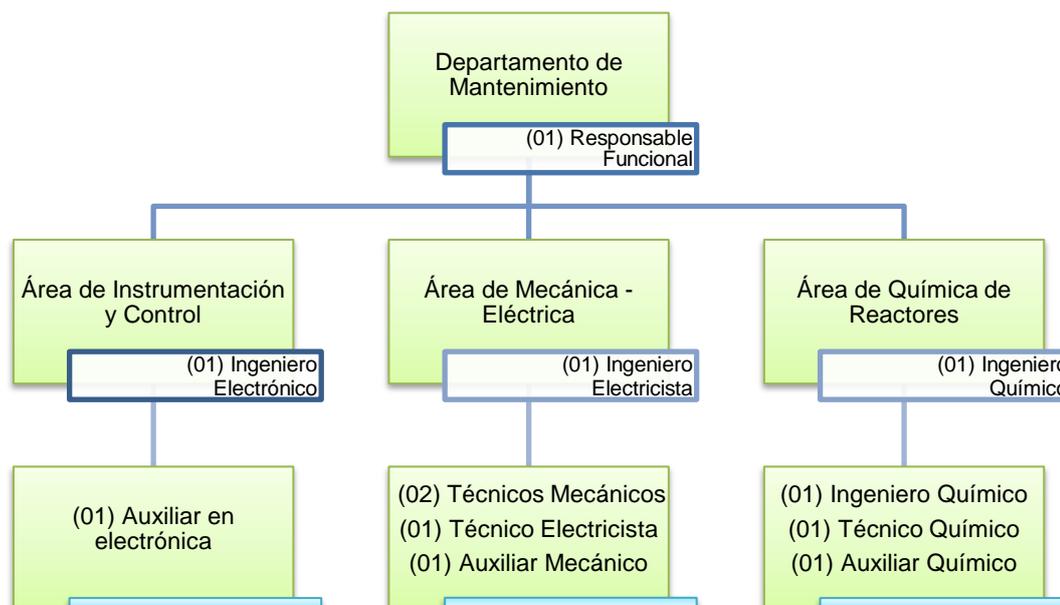
Fuente: Decreto Supremo N° 062-2005-EM



**Figura 38.** Organigrama de la Dirección de Producción.

Fuente: Elaboración propia

En el Departamento Mantenimiento se cuenta con el siguiente personal:



**Figura 39.** Organigrama del Departamento de Mantenimiento.

Fuente: Elaboración propia

### 3.3. Planteamiento del problema o condición de interés.

#### ❖ **Realidad del Instituto Peruano de Energía Nuclear.**

El Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN) viene produciendo y abasteciendo de radioisótopos y radiofármacos desde el año 1990, productos fabricados en los diferentes recintos de producción de la Planta de Producción de Radioisótopos, los cuales deben ser previamente irradiados en el reactor de investigación RP-10.

El reactor de investigación en mención, ubicado en el Centro Nuclear Oscar Miroquesada de la Guerra (RACSO), dentro de sus múltiples usos, se emplea para la producción de radioisótopos: I-131 y Tc 99m, el primero es utilizado en la terapia de cáncer diferenciado de tiroides, adenoma toxico, hipertiroidismos; mientras que el pertecnetato de Sodio (Tecnecio 99m) se aplica en la obtención de radiodiagnósticos médicos de diferentes órganos. Estos radioisótopos se comercializan a los principales hospitales de Lima y algunas provincias del país.

La producción de estos radiofármacos se origina con la irradiación de la materia prima en el reactor nuclear de investigación RP-10; el cual, en diciembre del año 2019 cumplió 30 años de operación. Por lo cual, contar con una adecuada gestión de mantenimiento resulta fundamental.

La gestión en el reactor nuclear de investigación RP-10 debe tener en las necesidades del principal cliente interno: Planta de producción de radioisótopos; de la cual se obtienen los diversos radiofármacos para atender los contratos que se tienen con hospitales y clínicas del país.

En base a ello, en la Tabla 2 se presentan los valores obtenidos en los años 2016 y 2017 en el indicador “Cantidad de curies de radiofármacos producidos”, correspondiente a la Actividad estratégica: AES III.4 Desarrollar, promover y aplicar la ciencia y tecnología nuclear en beneficio de la salud poblacional, relacionado

al objetivo estratégico III: Contribuir en el desarrollo humano y en las relaciones armoniosas de los actores del sector minero – energético; información plasmada en el Plan Estratégico Sectorial Multianual (PESEM) del Ministerio de Energía y Minas (Ministerio de Energía y Minas, 2016).

**Tabla 2**

*Indicadores PESEM.*

	2016	2017
Curies programados	850	900
Curies producidos	686	616

Fuentes: Ministerio de Energía y Minas, 2016; Ministerio de Energía y Minas, 2017.

Asimismo, en la Tabla 3 se puede visualizar la data recopilada en base al indicador: “Porcentaje de la demanda nacional de radioisótopos y radiofármacos no cubierta” correspondiente a la brecha en el Servicio de producción de radioisótopos y radiofármacos identificado por el Ministerio de Energía y Minas.

**Tabla 3**

*Indicador de cierre de brecha.*

	2016	2017
Porcentaje de la demanda nacional de radioisótopos y radiofármacos no cubierta	72%	66%

Fuente: Ministerio de Energía y Minas, 2019.

Para el indicador mencionado, Porcentaje de la demanda nacional de radioisótopos y radiofármacos no cubierta, en la Tabla 4 se muestra la proyección estimada de los próximos años.

**Tabla 4**

*Indicador proyectado de cierre de brecha.*

	2019	2020	2021	2022
Porcentaje de la demanda nacional de radioisótopos y radiofármacos no cubierta	60%	77%	74%	71%

Fuente: Ministerio de Energía y Minas, 2019.

Asimismo, en el Plan Estratégico Institucional (PEI) 2017-2019 del Instituto Peruano de Energía Nuclear (Instituto Peruano de Energía Nuclear, 2017) se consideró el Objetivo Estratégico Institucional OEI 5: Mejorar la gestión institucional del Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN), implicando la Actividad Estratégica Institucional AEI 5.2: Asegurar la operatividad de la infraestructura e instalaciones nucleares y radiactivas del IPEN.

❖ **Gestión en el Departamento Mantenimiento**

Alineado al Plan Estratégico Institucional (PEI) 2017-2019, anualmente en el Plan Operativo Institucional (POI) se tiene como actividad operativa “Ejecutar las actividades de mantenimiento preventivo de las estructuras, sistemas y componentes del reactor RP-10” (Instituto Peruano de Energía Nuclear, 2017), cuyo porcentaje de ejecución se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 5**

*Mantenimiento preventivo de instalaciones nucleares.*

		2017	2018
Total de intervenciones de mantenimiento preventivo	Programado	910	1054
	Ejecutado	650	939
	Porcentaje de ejecución	71.43 %	89.09 %

Fuente: Ministerio de Energía y Minas, 2019.

De la tabla mostrada, se puede evidenciar que el porcentaje de ejecución del mantenimiento preventivo efectuado a los componentes, equipos y sistemas del reactor nuclear de investigación RP-10 en el año 2017 fue de 71.43% ejecutándose 650 intervenciones de las 910 programadas para dicho año, lo que demuestra una baja eficiencia en la gestión de mantenimiento, en este escenario no se podría garantizar la disponibilidad operativa y la confiabilidad de los equipos y sistemas toda vez que existe un número

de ellos a los cuales no se les habría intervenido de forma oportuna o de acuerdo a la frecuencia establecida.

Asimismo, al finalizar el año 2018 se habían llevado a cabo 939 intervenciones por mantenimiento preventivo de las 1054 programadas para dicho año. Esta cantidad significó un porcentaje de ejecución de 89.09%, un valor por debajo del 90%, que de forma similar al año anterior evidencia la existencia de equipos con menor cantidad o nula intervención por mantenimiento preventivo en el reactor nuclear de investigación.

Para las instalaciones nucleares resulta crítico dar un cumplimiento eficiente a sus labores de mantenimiento programado con el objetivo de garantizar la disponibilidad y confiabilidad de sus sistemas para una operación segura de sus facilidades. Los valores obtenidos por las intervenciones de mantenimiento preventivo llevadas a cabo durante los años 2017 y 2018 muestran una débil gestión de mantenimiento en contradicción a lo indicado en la Guía de Seguridad NS-G-4.2 del Organismo Internacional de Energía Atómica “Maintenance, Periodic Testing and Inspection of Research Reactors” en cuyo numeral 2.3 se menciona lo siguiente:

El objetivo del sistema de gestión aplicado al mantenimiento (...) es garantizar que la instalación cumple los requisitos de seguridad derivados de:

- Los requisitos del organismo regulador;
- Los requisitos e hipótesis de diseño;
- Los informes de análisis de seguridad (IAS);
- Los límites y condiciones operacionales;
- Los requisitos administrativos de la dirección del reactor.(p. 5)

Por lo expuesto en los párrafos anteriores y de continuar en esta situación, no se podrá asegurar la disponibilidad del reactor nuclear

de investigación RP-10 para sus operaciones de irradiación en la obtención de los radiofármacos yoduro de sodio (I-131) y pertecnetato de sodio (Tc-99), fabricados en la Planta de Producción de Radioisótopos.

❖ **Programa de mantenimiento.**

El programa de mantenimiento preventivo correspondiente a los equipos, sistemas y componentes (ESC) del reactor nuclear de investigación RP 10 data del año 2015 habiendo perdido vigencia a través de los años, considerando que – a la fecha - no se incluyen los equipos y/o componentes nuevos adquiridos en este periodo de tiempo. Asimismo, no contempla el estado actual de los sistemas ni sus necesidades situacionales; por lo que, el programa no atendería las necesidades de la instalación.

De acuerdo a la Guía de Seguridad N° NS-G-4.2 “Maintenance, Periodic Testing and Inspection of Research Reactors” emitido por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), el mantenimiento preventivo debe realizarse en las ESC, de acuerdo a lo siguiente:

- Según lo especificado por los diseñadores o fabricantes;
- Según lo especificado por la ley y en los requisitos reglamentarios;
- Según lo determine la dirección del reactor sobre la base de las revisiones de seguridad y la experiencia operativa anterior o por otras razones, como el cumplimiento de las estipulaciones de los seguros.

Asimismo, el programa debe incluir requisitos para la revisión y verificación del mismo, incluido la revisión de los procedimientos, antes de su aplicación; por ello, documentos tales como los programas, procedimientos, especificaciones y planos del

mantenimiento, las pruebas periódicas deben ser revisados, actualizados, aprobados, emitidos, validados y archivados.

El contar con un programa de mantenimiento preventivo desfasado limita las actuaciones del personal del departamento mantenimiento, de los responsables de las áreas mecánica eléctrica, instrumentación y control, y química de reactores además del responsable funcional de este departamento, toda vez que el documento bajo el cual se programan los trabajos de manera diaria, semanal y mensual no abarcaría los equipos nuevos y/o reemplazados, además de no identificar aquellos que se encuentran obsoletos. Este escenario significa en algunos casos ejecutar un trabajo repetitivo o doble trabajo, y en otros cabría la posibilidad de omitir llevar a cabo actividades o intervenciones en equipos críticos para la operación del reactor.

El Programa de mantenimiento desactualizado en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares no permite tener una adecuada gestión en el Departamento Mantenimiento de la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares del Instituto Peruano de Energía Nuclear al no contar con una herramienta de planificación en las intervenciones a realizar en los equipos, sistemas y componentes del reactor nuclear de investigación RP-10.

En base a ello, y considerando la finalidad del programa de mantenimiento este debe ser revisado o actualizado – según corresponda – a fin de garantizar cumpla con su finalidad de garantizar la disponibilidad operativa de los ESC para la operación segura del reactor nuclear RP-10.

#### ❖ **Procedimiento de liberación**

Como parte del proceso de irradiación en el reactor nuclear RP-10 se requiere asegurar la disponibilidad operativa de cada uno de sus

equipos y sistemas a fin de mitigar cualquier riesgo que pudiese presentarse. Por ello, a la fecha, se cuenta con formularios de “Liberación de componentes, equipos y sistemas” por cada una de las especialidades con las que cuenta con el reactor y acorde a las áreas de mantenimiento: mecánica, electricidad, instrumentación y control, y tratamiento de aguas. Estos formularios son planillas o checklist donde se listan los equipos y se selecciona cuales se encuentran disponibles o fuera de servicio.

De acuerdo a la Guía de Seguridad N° NS-G-4.2 “Maintenance, Periodic Testing and Inspection of Research Reactors” emitido por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), debe establecerse un sistema de gestión de mantenimiento, incluyendo pruebas periódicas e inspección.

Las pruebas periódicas y la inspección tienen como objetivo garantizar que la instalación cumple con todos los requisitos de seguridad derivados de:

- Los requisitos del organismo regulador;
- Los requisitos e hipótesis de diseño;
- El informe de análisis de seguridad (IAS);
- Los límites y condiciones operacionales.

Actualmente no se cuenta con el procedimiento de liberación mencionado teniendo información limitada en los actuales formularios de liberación de componentes, equipos y sistemas. Se presenta la ausencia de un procedimiento de liberación de estructuras, componentes y sistemas para la operación del reactor nuclear de investigación RP-10 que establezca los pasos a seguir para efectuar el proceso de liberación de las ESC, además de las responsabilidades dentro de la Sub Dirección.

La inexistencia de procedimiento de liberación de estructuras, componentes y sistemas para la operación del reactor nuclear de investigación RP-10 no permite una adecuada gestión en el Departamento Mantenimiento de la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares del Instituto Peruano de Energía Nuclear considerando a la vez que no garantiza el cumplimiento de la liberación de las ESC y por ende el Departamento de Mantenimiento se ve limitado en cumplir su función de asegurar la correcta operación del reactor nuclear RP-10.

Por lo expuesto, los formularios de “Liberación de componentes, equipos y sistemas” deben ser complementados por un procedimiento de liberación que asegure que se llevan a cabo las actividades de pruebas periódicas e inspección a cada uno de los equipos y sistemas del reactor con el objetivo de dar cumplimiento a brindar condiciones operativas seguras a los servicios de irradiación del reactor.

❖ **Manual de Mantenimiento**

El manual de mantenimiento debe estar basado en la gestión del mantenimiento de las estructuras, sistemas y componentes del reactor RP-10 con el objetivo de brindar los medios que permitan planificar y distribuir el tiempo, ejecutar y controlar en forma efectiva el mantenimiento; siendo el documento que contiene y regula todas las cuestiones inherentes a los trabajos de mantenimiento destinados a mantener o restaurar la confiabilidad operativa de las Estructuras, Sistemas y Componentes (ESC) que integran las instalaciones del Reactor.

El actual manual data del año 2015; por lo que, la información vertida en este documento no refleja los actuales recursos con los que cuenta el Departamento Mantenimiento ni esta alineado al Sistema de Gestión de la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares, por ejemplo al recurso humano con el que se cuenta a la fecha

además de la transversalidad del Departamento frente a otras áreas de la Institución como la Unidad Logística considerando que los procedimientos y/o normativas aplicables a las compras y/o adquisiciones públicas también se han visto actualizadas en el tiempo.

Adicionalmente, en los años transcurridos se han dado modificaciones en la organización de la Dirección de Producción que no figuran en el manual vigente. Asimismo, dicho manual contiene el programa de mantenimiento preventivo además de todos los procedimientos del departamento; lo que significa, que para actualizar y/o revisar alguno de tales documentos se requeriría actualizar todos al mismo tiempo resultando administrativamente inviable. Por ello, lo más óptimo resulta ser la independización de dichos documentos.

En base a lo cual, este documento debería ser revisado y actualizado acorde al estado situacional de la instalación y su sistema de gestión vigente.

#### ❖ **Recursos humanos capacitados y licenciados**

Los recursos humanos con los que cuenta el departamento de mantenimiento no son poseedores del licenciamiento individual otorgado por la autoridad regulatoria competente para ejercer las actividades de mantenedores dentro de instalaciones nucleares como es el caso del reactor, lo que limita su actuación al tener que contar siempre con el acompañamiento de un operador licenciado estando supeditado el desarrollo de sus trabajos a la disponibilidad de estos últimos.

De acuerdo a la Guía de Seguridad N° NS-G-4.2 “Maintenance, Periodic Testing and Inspection of Research Reactors” emitido por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), las personas que realizan el mantenimiento, pruebas periódicas e inspecciones de

los sistemas de instrumentación y control, sistemas de seguridad, sistemas de parada y sistemas de protección requieren autorización o licencia por parte de una autoridad competente.

El no contar con recursos humanos capacitados y licenciados que aseguren la continuidad del mantenimiento en la operación del reactor de investigación causa inadecuada gestión en el Departamento Mantenimiento de la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares del Instituto Peruano de Energía Nuclear debido a que el personal limita su actuación al tener que contar siempre con el acompañamiento de un operador licenciado estando supeditado el desarrollo de sus trabajos a la disponibilidad de estos últimos.

Por lo expuesto, se requiere de un programa de capacitación para el licenciamiento individual del personal mantenedor a fin de lograr su independización en la ejecución de sus tareas en el marco de sus funciones asignadas.

#### ❖ **Problemas identificados**

##### **Problema General**

Inadecuada gestión en el Departamento Mantenimiento de la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares del Instituto Peruano de Energía Nuclear.

##### **Problemas Específicos**

- a) Programa de mantenimiento desactualizado en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares.
- b) Inexistencia de procedimientos de liberación de estructuras, componentes y sistemas para la operación del reactor nuclear de investigación RP-10.
- c) Manual de mantenimiento desactualizado en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares.

- d) No se cuenta con recursos humanos capacitados y licenciados que aseguren la continuidad del mantenimiento en la operación del reactor de investigación.

### 3.4. Árbol del problema o condición de interés

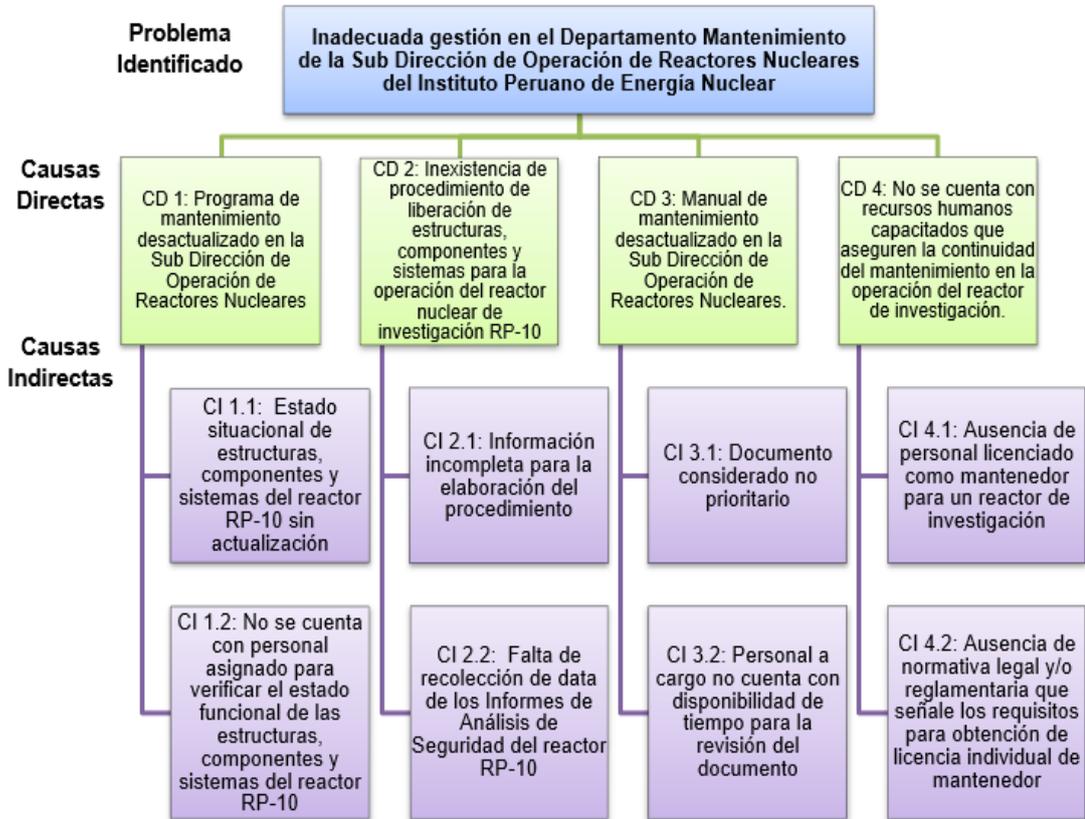


Figura 40. Árbol de problemas.

Fuente: Elaboración propia

### 3.5. Sustento de evidencias de los factores causales

**Tabla 6**

*Evidencias de la Causa Directa 1: Programa de mantenimiento desactualizado en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares.*

Descripción de la causa	No se cuenta con un programa de mantenimiento actualizado que abarque las intervenciones a realizar en los equipos, sistemas y componentes del reactor nuclear de investigación RP-10, toda vez que no se incluyen los equipos y/o componentes nuevos adquiridos en este periodo de tiempo. Asimismo, no contempla el estado actual de los sistemas ni sus necesidades situacionales; por lo que, el programa no atendería las necesidades de la instalación.
Describa la vinculación entre la causa directa y el problema específico	El Programa de mantenimiento desactualizado en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares causa Inadecuada gestión en el Departamento Mantenimiento de la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares del Instituto Peruano de Energía Nuclear porque no permite contar con una herramienta de planificación en las intervenciones a realizar en los equipos, sistemas y componentes del reactor nuclear de investigación RP-10.
Magnitud de la causa (datos cuantitativos)	Programa no actualizado de forma anual, última actualización del año 2015.
Atributos de la causa (datos cuantitativos)	Desactualizado en cuanto no incluye equipamiento adquirido ni responde al estado situacional de las instalaciones.
Evidencia que justifique la relación de causalidad respectiva (*)	Repositorio de la Dirección de Producción / Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares / Garantía de Calidad, año 2022. Uso institucional interno.

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 7**

*Evidencias de la Causa Directa 2: Inexistencia de procedimiento de liberación de estructuras, componentes y sistemas para la operación del reactor nuclear de investigación RP-10.*

Descripción de la causa	Ausencia de un procedimiento de liberación de estructuras, componentes y sistemas para la operación del reactor nuclear de investigación RP-10 que establezca los pasos a seguir para efectuar el proceso de liberación de las ESC, además de las responsabilidades dentro de la Sub Dirección.
Describa la vinculación entre la causa directa y el problema específico	La inexistencia de procedimiento de liberación de estructuras, componentes y sistemas para la operación del reactor nuclear de investigación RP-10 causa Inadecuada gestión en el Departamento Mantenimiento de la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares del Instituto Peruano de Energía Nuclear considerando que no permite garantizar el cumplimiento de la liberación de las ESC y por ende el Departamento de Mantenimiento se ve limitado en cumplir su función de asegurar la correcta operación del reactor nuclear RP-10.
Magnitud de la causa (datos cuantitativos)	Inexistencia del procedimiento de liberación.

Atributos de la causa (datos cuantitativos)	No se tiene el procedimiento de liberación, solo se cuenta con formularios o planillas o checklist donde se listan los equipos y se selecciona cuales se encuentran disponibles o fuera de servicio, sin precisar las pruebas periódicas y/o inspecciones necesarias para garantizar la operación segura del reactor.
Evidencia que justifique la relación de causalidad respectiva (*)	Repositorio de la Dirección de Producción / Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares / Garantía de Calidad, año 2022. Uso institucional interno.

Fuente: Elaboración propia

## Tabla 8

### *Evidencias de la Causa Directa 3: Manual de mantenimiento desactualizado en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares.*

Descripción de la causa	El manual de mantenimiento no ha sido actualizado encontrando desfasado frente al estado situacional actual del Departamento. no refleja los actuales recursos con los que cuenta el Departamento Mantenimiento ni está alineado al Sistema de Gestión de la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares, por ejemplo al recurso humano con el que se cuenta a la fecha además de la transversalidad del Departamento frente a otras áreas de la Institución como la Unidad Logística considerando que los procedimientos y/o normativas aplicables a las compras y/o adquisiciones públicas también se han visto actualizadas en el tiempo.
Describa la vinculación entre la causa directa y el problema específico	El Manual de mantenimiento desactualizado en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares causa Inadecuada gestión en el Departamento Mantenimiento de la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares del Instituto Peruano de Energía Nuclear porque no se cuenta con la herramienta de gestión que enmarque las actividades y el desempeño de los procesos concernientes al Departamento Mantenimiento.
Magnitud de la causa (datos cuantitativos)	No incluye actual organigrama de la Dirección de Producción. Incluye programa de mantenimiento desactualizado.
Atributos de la causa (datos cuantitativos)	Desactualizado en cuanto no incluye los recursos actuales del Departamento ni se encuentra alienado al sistema de gestión existente. Adicionalmente, en los años transcurridos se han dado modificaciones en la organización de la Dirección de Producción que no figuran en el manual vigente. Asimismo, dicho manual contiene el programa de mantenimiento preventivo además de todos los procedimientos del departamento; lo que significa, que para actualizar y/o revisar alguno de tales documentos se requeriría actualizar todos al mismo tiempo resultando administrativamente inviable. Por ello, lo más óptimo resulta ser la independización de dichos documentos.
Evidencia que justifique la relación de causalidad respectiva (*)	Repositorio de la Dirección de Producción / Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares / Garantía de Calidad, año 2022. Uso institucional interno.

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 9**

*Evidencias de la Causa Directa 4. No se cuenta con recursos humanos capacitados y licenciados que aseguren la continuidad del mantenimiento en la operación del reactor de investigación.*

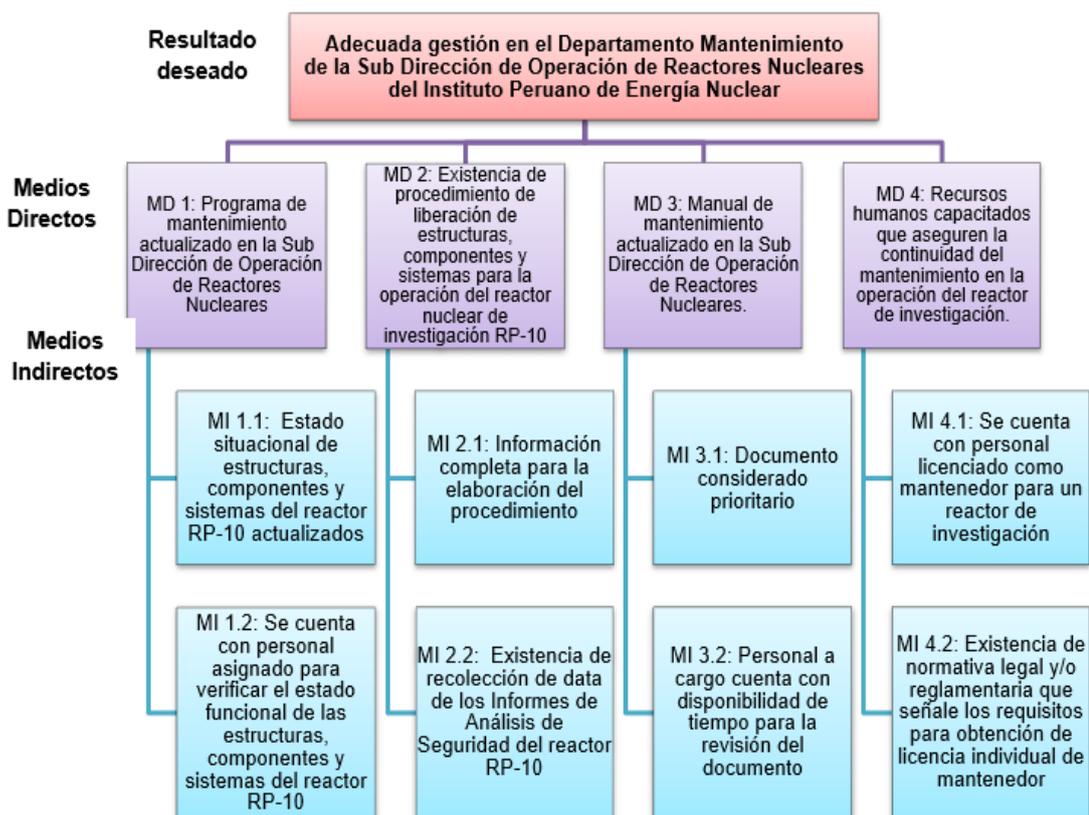
Descripción de la causa	Los recursos humanos del Departamento de Mantenimiento no cuentan con una capacitación y licenciamiento en relación a la ejecución de sus actividades en instalaciones nucleares
Describa la vinculación entre la causa directa y el problema específico	El no contar con recursos humanos capacitados y licenciados que aseguren la continuidad del mantenimiento en la operación del reactor de investigación causa inadecuada gestión en el Departamento Mantenimiento de la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares del Instituto Peruano de Energía Nuclear debido a que el personal limita su actuación al tener que contar siempre con el acompañamiento de un operador licenciado estando supeditado el desarrollo de sus trabajos a la disponibilidad de estos últimos.
Magnitud de la causa (datos cuantitativos)	Cero mantenedores licenciados. Cero capacitaciones en Seguridad nuclear.
Atributos de la causa (datos cuantitativos)	La autoridad regulatoria no establece los requisitos para el licenciamiento individual de mantenedores en instalaciones nucleares.
Evidencia que justifique la relación de causalidad respectiva (*)	Listado de personal licenciado en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares, ubicado en Repositorio de la Dirección de Producción / Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares, año 2022. Uso institucional interno.

Fuente: Elaboración propia

## Capítulo IV Formulación

### 4.1. Planteamiento de Resultados

Los resultados que se espera alcanzar se muestran en el siguiente árbol de medios



**Figura 41.** Árbol de causas.

Fuente: Elaboración propia

## 4.2. Análisis de alternativas intervención para lograr la solución

**Tabla 10**

*Alternativas de intervención Medio Directo 1: Programa de mantenimiento preventivo actualizado en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares.*

Descripción del medio	Para tener un Programa de mantenimiento actualizado en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares se requiere realizar las siguientes alternativas.
Altern. de intervención 1	Actualizar el estado situacional de las estructuras, componentes y sistemas del reactor nuclear de investigación RP-10
Altern. de intervención 2	Revisión de las fichas del historial de equipos identificando las intervenciones realizadas y fallas ocurridas

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 11**

*Alternativas de intervención Medio Directo 2: Existencia de procedimiento de liberación de estructuras, componentes y sistemas para la operación del reactor nuclear de investigación RP-10.*

Descripción del medio	Para lograr la existencia de un procedimiento de liberación de estructuras, componentes y sistemas para la operación del reactor nuclear de investigación RP-10 se requiere realizar las siguientes alternativas
Altern. de intervención 1	Contratación de un locador y/o empresa que se encargue de la recolección de data de los Informes de Análisis de Seguridad del reactor RP-10
Altern. de intervención 2	Conformación de equipo de trabajo, un comité, en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares para la elaboración y revisión del procedimiento de liberación de estructuras, componentes y sistemas para la operación del reactor nuclear de investigación RP-10

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 12**

*Alternativas de intervención Medio Directo 3: Manual de mantenimiento actualizado en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares.*

Descripción del medio	Para disponer de un Manual de mantenimiento actualizado en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares se requiere realizar las siguientes alternativas
Altern. de intervención 1	Identificación de los objetivos, políticas internas y normatividad vigente competente a la gestión de mantenimiento en instalaciones nucleares
Altern. de intervención 2	Conformación de un equipo de trabajo para la actualización del Manual de mantenimiento

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 13**

*Alternativas de intervención Medio Directo 4: Recursos humanos capacitados que aseguren la continuidad del mantenimiento en la operación del reactor de investigación.*

Descripción del medio	Para contar con recursos humanos capacitados que aseguren la continuidad del mantenimiento en la operación del reactor de investigación se requiere implementar las siguientes alternativas
Altern. de intervención 1	Elaboración de programa de desarrollo personal aplicable al licenciamiento individual del personal de mantenimiento
Altern. de intervención 2	Elaboración de propuesta de temario para la Oficina Técnica de la Autoridad Nacional en el marco del otorgamiento de la licencia individual del personal de mantenimiento para instalaciones nucleares en el país.

Fuente: Elaboración propia

#### 4.3. Sustento de evidencias de alternativas de intervención

**Tabla 14**

*Análisis de alternativa de intervención 1 del Medio Directo 1: Programa de mantenimiento actualizado en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares.*

Alternativa de intervención identificada	Actualizar el estado situacional de las estructuras, componentes y sistemas del reactor nuclear de investigación RP-10
Descripción breve de la alternativa de intervención	Actualizar el estado situacional de las estructuras, componentes y sistemas del reactor nuclear de investigación RP-10 identificando aquellos equipos que se encuentren fuera de servicio, o que requieran de un mantenimiento correctivo y/o reemplazo. Además, contempla la inclusión de los equipos adquiridos e instalados en los diversos sistemas del reactor.
Identifique si esta intervención ya viene siendo ejecutada	No
Evidencia que justifique la efectividad de la alternativa de intervención	El programa de mantenimiento debe contener los requisitos que permitan su revisión y verificación, además del seguimiento y control de su oportuno cumplimiento. Asimismo, debe incluir las revisiones previas de los procedimientos establecidos. En este marco, resulta fundamental que todos los documentos concernientes a la gestión de mantenimiento como los programas, procedimientos, instructivos, formularios sean periódicamente revisados y actualizados.

Fuente: Guía de Seguridad N° NS-G-4.2 "Maintenance, Periodic Testing and Inspection of Research Reactors" emitido por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA).

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 15**

*Análisis de alternativas de intervención 2 del Medio Directo 1: Programa de mantenimiento actualizado en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares.*

Alternativa de intervención identificada	Revisión de las fichas del historial de equipos identificando las intervenciones realizadas y fallas ocurridas
Descripción breve de la alternativa de intervención Identifique si esta intervención ya viene siendo ejecutada	Levantamiento de información de los equipos mediante la revisión de las fichas de su historial identificando las intervenciones realizadas y fallas ocurridas, además de la información registrada en las órdenes de trabajo de mantenimiento preventivo y correctivo.
Evidencia que justifique la efectividad de la alternativa de intervención	No  Es necesario efectuar la identificación de las causas-raíz por cada uno de las fallas ocurridas o por ocurrir en cada uno de los equipos y sistemas a fin de garantizar su óptimo funcionamiento. Por ello, se requiere, contar con un proceso metódico y ordenado para la caracterización de estas fallas, además de los trabajos o intervenciones a realizar; de forma tal, que se reduzcan o empleen los recursos de forma eficiente contribuyendo a la rentabilidad de la empresa.  Fuente: Elaboración y optimización de un plan de mantenimiento preventivo (Rey, F.; 2014). <a href="https://www.tecnicaindustrial.es/wp-content/uploads/Numeros/98/3064/a3064.pdf">https://www.tecnicaindustrial.es/wp-content/uploads/Numeros/98/3064/a3064.pdf</a>

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 16**

*Análisis de alternativas de intervención 1 del Medio Directo 2: Existencia de procedimiento de liberación de estructuras, componentes y sistemas para la operación del reactor nuclear de investigación RP-10*

Alternativa de intervención	Contratación de un locador y/o empresa que se encargue de la recolección de data de los Informes de Análisis de Seguridad del reactor RP-10
Descripción breve de la alternativa de intervención Identifique si esta intervención ya viene siendo ejecutada	Contar con un locador y/o empresa especializada que recopile y filtre la data contenida en los Informes de Análisis de Seguridad del reactor RP-10 como marco de información para la elaboración del procedimiento de liberación.
Evidencia que justifique la efectividad de la alternativa	No  La revisión documental es una pieza clave en cualquier investigación y necesaria para el desarrollo de soluciones frente a los problemas que pudiesen identificarse. A través de este tipo de revisiones se puede obtener data e información sustancial acerca de eventos diarios u

de intervención	ordinarios; así como, de sucesos que escapen a los parámetros normales de operación o funcionamiento permitiendo identificar aquellos factores intervinientes que se encuentren afectando o modificando el proceso.
	Fuente: Técnicas e instrumentos de recolección de información Sánchez Bracho, M., Fernández, M., & Díaz, J. (2021). <a href="https://revista.uisrael.edu.ec/index.php/rcui/article/view/400/197">https://revista.uisrael.edu.ec/index.php/rcui/article/view/400/197</a>
Fuente: Elaboración propia	

**Tabla 17**

*Análisis de alternativas de intervención 2 del Medio Directo 2: Existencia de procedimiento de liberación de estructuras, componentes y sistemas para la operación del reactor nuclear de investigación RP-10*

Alternativa de intervención identificada	Conformación de equipo de trabajo en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares para la elaboración y revisión de los procedimientos de liberación de estructuras, componentes y sistemas para la operación del reactor nuclear de investigación RP-10
Descripción breve de la alternativa de intervención	Asignar a un profesional de cada área del departamento de Mantenimiento: Mecánica – Eléctrica, Instrumentación y Control, y Química de Reactores a fin de conformar un equipo de trabajo que elabore el procedimiento de liberación, para posterior revisión del Jefe del Reactor RP-10 y del Sub Director de Operación de Reactores Nucleares.
Identifique si esta intervención ya viene siendo ejecutada	No. A la fecha, solo se cuenta con formularios para la liberación de estructuras, componentes y sistemas para la operación del reactor nuclear de investigación RP-10.
Evidencia que justifique la efectividad de la alternativa de intervención	Debe establecerse una coordinación efectiva: (a) Entre las diferentes secciones del grupo de mantenimiento (mecánica, eléctrica, de instrumentación y control, y de ingeniería civil); (b) Entre los grupos de operaciones, protección radiológica y mantenimiento, pruebas e inspecciones periódicas; (...) El comité de seguridad debe revisar y asesorar a la organización operativa y al director del reactor sobre (...) (b) Los programas de mantenimiento, pruebas periódicas e inspección; (c) Los procedimientos de mantenimiento, pruebas periódicas e inspección; (d) Los resultados y las conclusiones del mantenimiento, las pruebas periódicas y la inspección.
	Fuente: Guía de Seguridad N° NS-G-4.2 “Maintenance, Periodic Testing and Inspection of Research Reactors” emitido por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA).
Fuente: Elaboración propia	

**Tabla 18**

*Análisis de alternativas de intervención 1 del Medio Directo 3: Manual de mantenimiento actualizado en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares.*

Alternativa de intervención identificada	Identificación de los objetivos, políticas internas y normatividad vigente competente a la gestión de mantenimiento en instalaciones nucleares
Descripción breve de la alternativa de intervención	Recopilación de los objetivos, políticas internas y normatividad vigente relacionada a la gestión de mantenimiento en instalaciones nucleares como el reactor nuclear de investigación RP-10, incluyendo documentación relacionada de otras instalaciones similares.
Identifique si esta intervención ya viene siendo ejecutada	No
Evidencia que justifique la efectividad de la alternativa de intervención	El documento que guía la gestión de mantenimiento y que incluye la política, la organización de los recursos existentes además de las responsabilidades de su personal es el manual de mantenimiento; por lo cual, este instrumento resulta fundamental en cualquier tipo de industria en el objetivo de asegurar la disponibilidad operativa de sus equipos y sistemas.
	Fuente: Elaboración de un manual de mantenimiento Álvarez S. (2011)

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 19**

*Análisis de alternativas de intervención 2 del Medio Directo 3: Manual de mantenimiento actualizado en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares.*

Alternativa de intervención identificada	Conformación de un equipo de trabajo para la actualización del Manual de mantenimiento
Descripción breve de la alternativa de intervención	Conformación de un equipo de trabajo en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares integrado por un profesional de cada área del departamento de Mantenimiento: Mecánica – Eléctrica, Instrumentación y Control, y Química de Reactores además del responsable funcional de dicho departamento con la finalidad de actualizar el manual del Departamento de Mantenimiento para posterior revisión del Responsable Funcional del Departamento de Garantía de Calidad y del Sub Director de Operación de Reactores Nucleares.
Identifique si esta intervención ya viene siendo ejecutada	No
Evidencia que justifique la efectividad de la	La actualización de los documentos de gestión, como es el caso del manual de mantenimiento, debe ser llevada a cabo por un equipo multidisciplinario con la participación de las diversas áreas de la organización, considerando una revisión por parte de los usuarios

alternativa de intervención	a fin de que el producto elaborado sea pertinente y acorde a las necesidades de la empresa. Este escenario responde a que el mantenimiento es un proceso transversal a todas las áreas y departamentos que conforman una compañía. <i>Fuente: Elaboración de un manual de mantenimiento Álvarez S. (2011)</i>
-----------------------------	--

Fuente: Elaboración propia

## Tabla 20

*Análisis de alternativas de intervención 1 del Medio Directo 4: Recursos humanos capacitados que aseguren la continuidad del mantenimiento en la operación del reactor de investigación.*

Alternativa de intervención identificada	Elaboración de programa de desarrollo personal aplicable al licenciamiento individual del personal de mantenimiento
Descripción breve de la alternativa de intervención	Elaboración de PdP que contemple la capacitación relacionada al licenciamiento del personal de mantenimiento.
Identifique si esta intervención ya viene siendo ejecutada	No
Evidencia que justifique la efectividad de la alternativa de intervención	Adicionalmente a las habilidades de su profesión, todo el personal de mantenimiento debe recibir formación, el mismo que debe encontrarse alineado a las funciones asignadas a cada uno de ellos. Por ello, es importante que el personal haya alcanzado la competencia requerida antes de poder trabajar de forma independiente.  Asimismo, el personal de mantenimiento debería tener la oportunidad de profundizar los conocimientos específicos necesarios para el desempeño de sus funciones, acorde al sector en el que se desempeñan.  Fuente: Guía de Seguridad N° NS-G-4.2 "Maintenance, Periodic Testing and Inspection of Research Reactors" emitido por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA).

Fuente: Elaboración propia

## Tabla 21

*Análisis de alternativas de intervención 2 del Medio Directo 4: Recursos humanos capacitados que aseguren la continuidad del mantenimiento en la operación del reactor de investigación.*

Alternativa de intervención identificada	Elaboración de propuesta de temario para la Oficina Técnica de la Autoridad Nacional en el marco del otorgamiento de la licencia individual del personal de mantenimiento para instalaciones nucleares en el país.
Descripción breve de la alternativa de intervención	Diseño y elaboración de temario referencial para la Oficina Técnica de la Autoridad Nacional (OTAN) a fin que pueda ser considerado y aprobado dentro de los requisitos de licenciamiento individual del personal de mantenimiento para instalaciones nucleares en el país.

---

Identifique si esta intervención ya viene siendo ejecutada	No
Evidencia que justifique la efectividad de la alternativa de intervención	<p>Las personas que efectúan los trabajos e intervenciones de mantenimiento, pruebas periódicas e inspecciones de los sistemas de instrumentación y control, sistemas de seguridad, sistemas de parada y sistemas de protección requieren autorización o licencia por parte de una autoridad competente. Por esta razón, estas personas deben ser seleccionadas por su capacidad de ser autorizadas o licenciadas por el órgano regulador competente en cada país.</p> <p>Fuente: Guía de Seguridad N° NS-G-4.2 "Maintenance, Periodic Testing and Inspection of Research Reactors" emitido por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA).</p>

---

Fuente: Elaboración propia

## **Capítulo V**

### **Propuesta de Implementación**

#### **5.1. Objetivo General**

Optimizar el sistema de gestión en el Departamento Mantenimiento de la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares del Instituto Peruano de Energía Nuclear.

#### **5.2. Objetivos Específicos**

##### **5.2.1. Objetivo Especifico 1.**

Actualizar el Programa de mantenimiento en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares.

##### **5.2.2. Objetivo Especifico 2.**

Establecer un procedimiento de liberación de estructuras, componentes y sistemas para la operación del reactor nuclear de investigación RP-10.

##### **5.2.3. Objetivo Especifico 3.**

Actualizar el Manual de mantenimiento en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares.

##### **5.2.4. Objetivo Especifico 3.**

Disponer de recursos humanos capacitados y licenciados que aseguren la continuidad del mantenimiento en la operación del reactor de investigación.

### **5.3. Productos Propuestos por cada producto específico**

#### **5.3.1. Producto 1: Programa actualizado de mantenimiento en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares**

El programa de mantenimiento es el documento que incluye y refleja la programación de las intervenciones por mantenimientos preventivos a ejecutar en los sistemas del Reactor Nuclear de investigación RP-10, teniendo como objetivo principal el de prevenir los principales fallos que pueda presentar dicha instalación.

Dicho documento presenta la frecuencia de intervención a cada estructura, sistema y componente del reactor nuclear de investigación RP-10 sirviendo como base para la ejecución de las tareas planificadas, además de permitir el seguimiento y control de su cumplimiento.

Asimismo, el Plan Operativo Institucional (POI) incluye como actividad operativa la “Ejecución del mantenimiento a los Equipos, Componentes y Sistemas del Reactor RP-10” a fin de asegurar la operatividad de la infraestructura e instalaciones nucleares de la Entidad; por lo que, se debe efectuar y registrar su seguimiento indefectible de forma mensual, como mínimo.

Dentro de los requisitos de la guía de seguridad NS-G-4.2 del Organismo Internacional de Energía Atómica “Maintenance, Periodic Testing and Inspection of Research Reactors y de la licencia de operación del reactor, emitida por la Oficina Técnica de la Autoridad Regulatoria (OTAN), se requiere contar con un programa de mantenimiento actualizado.

Este producto resuelve el problema específico 1: programa de mantenimiento desactualizado en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares.

Para la actualización del programa de mantenimiento se planteó poder efectuar la revisión de las fichas del historial de equipos identificando las intervenciones realizadas y fallas ocurridas; sin embargo, al contar con un programa inicial de mantenimiento que data de años anteriores, esta información tampoco se encuentra actualizada y no reflejaría características y necesidades reales del sistema conllevando a efectuar un doble trabajo u omitir requisitos relevantes a considerar en el programa a elaborar.

Por ello, se optó por actualizar el estado situacional de las estructuras, componentes y sistemas del reactor nuclear de investigación RP-10 identificando aquellos equipos que se encuentren fuera de servicio, o que requieran de un mantenimiento correctivo y/o reemplazo. Además, contemplando la inclusión de los equipos adquiridos e instalados en los diversos sistemas del reactor. Esto permite contar con información real y pertinente para la actualización del programa.

Como parte de la actualización el programa, primero se independizó dicho documento del manual el cual lo contenía; lo que significaba, que para actualizar y/o revisar alguno de ellos se requeriría actualizar ambos al mismo tiempo resultando administrativamente inviable. Por ello, lo más óptimo resultó ser la independización de dichos documentos. Asimismo, para su actualización se consideró las formas y los formatos establecidos en el actual sistema de gestión de la Sub Dirección, modificando la caratula e incluyendo los acápite de objetivo, alcance, referencias, definiciones y abreviaturas, desarrollo y responsabilidades. Adicionalmente, se incluyeron aquellos equipos y/o sistemas que no figuraban en el programa inicial y que resultan esencial para garantizar la operación segura del reactor.

El Programa de mantenimiento en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares se encuentra en el Anexo 3.

### **5.3.2. Producto 2: Procedimiento de liberación de estructuras, componentes y sistemas para la operación del reactor nuclear de investigación RP-10.**

El procedimiento de liberación de estructuras, componentes y sistemas para la operación del reactor nuclear de investigación RP-10 es el documento que establece las pautas y acciones para la consideración que equipos y sistemas involucrados en la operación del Reactor Nuclear RP-10, se encuentran aptos y disponibles para dicho fin.

Asimismo, la elaboración del producto propuesto da cumplimiento a lo establecido en los requisitos de la guía de seguridad NS-G-4.2 del Organismo Internacional de Energía Atómica "Maintenance, Periodic Testing and Inspection of Research Reactors, mediante la cual se requiere contar con inspecciones y ensayos para la liberación de las estructuras, componentes y sistemas.

Este producto resuelve el problema específico 2: inexistencia de procedimiento de liberación de estructuras, componentes y sistemas para la operación del reactor nuclear de investigación RP-10.

Se propuso contar con un locador y/o empresa especializada que recopile y filtre la data contenida en los Informes de Análisis de Seguridad del reactor RP-10 como marco documental para la elaboración del procedimiento de liberación. Respecto a ello, se debe precisar que al optar porque el producto sea elaborado por una empresa tercera, se presenta el riesgo que los factores establecidos como filtro de la documentación no sean pertinentes o idóneos para el objetivo planteado considerando que la única instalación nuclear del país se encuentra en la institución; por lo que, no habría empresas con experiencia previa en este tipo de trabajos.

Por lo cual, y a fin de garantizar que se cumpla de forma oportuna con la elaboración del producto se conforma un equipo de trabajo, considerando a un profesional de cada área del departamento de Mantenimiento: Mecánica – Eléctrica, Instrumentación y Control, y Química de Reactores que participen de la elaboración del procedimiento de liberación, para posterior revisión del Jefe del Reactor RP-10 y del Sub Director de Operación de Reactores Nucleares. Al ser el documento elaborado por personal propio permite asegurar que cuentan con un *background* en relación al sistema de gestión existente y las actividades que se desarrollan en la instalación.

La inexistencia de este documento conlleva a originar y elaborar uno desde cero; para cuyo contenido se tuvo como referencia la guía de seguridad NS-G-4.2 del Organismo Internacional de Energía Atómica “Maintenance, Periodic Testing and Inspection of Research Reactors”; para su estructura se consideraron los formatos establecidos en el actual sistema de gestión de la Sub Dirección.

El procedimiento de liberación de estructuras, componentes y sistemas para la operación del reactor nuclear de investigación RP-10 se encuentra en el Anexo 4.

### **5.3.3. Producto 3: Manual de mantenimiento actualizado en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares,**

El manual de mantenimiento es el documento de referencia al personal acerca del cumplimiento de las tareas de mantenimiento en forma segura y eficiente, contemplando dentro de su estructura los principios de funcionamiento de las estructuras, sistemas, componentes (ESC), así como su ubicación dentro de los procesos del reactor RP-10. Asimismo, define las tareas y responsabilidades que involucran la gestión del Departamento de Mantenimiento de la Subdirección de Operación de Reactores Nucleares (RENU) para

maximizar en el tiempo la disponibilidad de las maquinarias y equipos de manera que siempre estén operativos al menor costo posible y preservando el valor de las instalaciones, optimizando su uso y minimizando el deterioro.

Asimismo, este Manual sirve de soporte en el desarrollo y aplicación de la cultura de seguridad, desde los aspectos de mantenimiento, pruebas periódicas e inspección de las estructuras, sistemas y componentes (ESC) que integran las instalaciones del reactor nuclear RP-10.

Este producto resuelve el problema específico 3, manual de mantenimiento desactualizado en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares.

Dentro de los requisitos de la guía de seguridad NS-G-4.2 del Organismo Internacional de Energía Atómica "Maintenance, Periodic Testing and Inspection of Research Reactors y de la licencia de operación del reactor, emitida por la Oficina Técnica de la Autoridad Regulatoria (OTAN), se requiere contar con un manual de mantenimiento actualizado.

Para la actualización de este documento se consideró efectuar la identificación de los objetivos, políticas internas y normatividad vigente competente a la gestión de mantenimiento en instalaciones nucleares. Si bien estos documentos aportan información necesaria para contar con el producto propuesto, no contemplan ni abarcan todos los acápite incluidos en el manual de mantenimiento; por lo que, cabe la posibilidad que solo se tenga una actualización parcial del documento.

Por lo expuesto, en la línea de incluir todos los aspectos de gestión requeridos para el manual de mantenimiento, se conforma un equipo

de trabajo en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares integrado por un profesional de cada área del departamento de Mantenimiento: Mecánica – Eléctrica, Instrumentación y Control, y Química de Reactores además del responsable funcional de dicho departamento con la finalidad de actualizar el manual del Departamento de Mantenimiento para posterior revisión del Responsable Funcional del Departamento de Garantía de Calidad y del Sub Director de Operación de Reactores Nucleares.

Como parte de la actualización de este documento, se efectuó su independización respecto a los otros documentos que inicialmente incluía como el programa de mantenimiento preventivo y otros procedimientos; lo que significaba, que para actualizar y/o revisar alguno de ellos se requeriría actualizar todos al mismo tiempo resultando administrativamente inviable.

Asimismo, para su actualización se consideró los formatos establecidos en el actual sistema de gestión de la Sub Dirección, modificando la carátula e incluyendo el acápite de objetivo, además de actualizar las referencias y/o bibliografía considerada en el documento.

Adicionalmente, se establecieron pautas para la gestión del mantenimiento, estableciendo niveles de atención por cada requerimiento; así como, sus prioridades para la planificación de trabajos. Se incluyó el seguimiento y control a través de indicadores de gestión y el manejo de la información y documentación que maneja el departamento.

Se optimizó la redacción de las funciones asignadas a cada responsable funcional por área del departamento, incluyendo nuevas funciones acorde a las actuales necesidades de la instalación.

Se indicó los riesgos inherentes a las actividades de mantenimiento, además de actualizar el organigrama del departamento acorde a los actuales recursos humanos con los que cuenta.

A fin de facilitar la comprensión del manual; así como, su ejecución, se elaboran y presentan como anexos de este documento los siguientes flujogramas: Atención por mantenimiento, Planificación y ejecución de trabajos, Contratación de servicios y Adquisición de materiales.

El manual de mantenimiento en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares se encuentra en el Anexo 5.

#### **5.3.4. Producto 4: Programa de capacitación para el personal del departamento de mantenimiento**

El programa de capacitación es el documento por cuya implementación se busca que el personal del departamento de mantenimiento, de manera sistemática y organizada, obtenga conocimientos acorde a las labores que desempeñan.

El contar con recursos humanos capacitados y licenciados permitirá otorgar libertad en su actuación al no tener que contar siempre con el acompañamiento de un operador licenciado ni estando supeditado el desarrollo de sus trabajos a la disponibilidad de estos últimos. Por ello, se podrá ejecutar las labores planificadas asegurando la continuidad en la operación del reactor.

Este producto resuelve el problema específico 4, no se cuenta con recursos humanos capacitados y licenciados que aseguren la continuidad del mantenimiento en la operación del reactor de investigación.

Dicho programa se encuentra enmarcado en la guía de seguridad NS-G-4.2 del Organismo Internacional de Energía Atómica “Maintenance, Periodic Testing and Inspection of Research Reactors”, en cuyo acápite 7.3 señala que:

Además de las habilidades del oficio, todo el personal de mantenimiento debe recibir formación en:

- (a) Principios físicos relacionados con los reactores nucleares;
- (b) Protección contra la radiación;
- (c) Principios de los sistemas importantes para la seguridad;
- (d) Conocimientos específicos de los sistemas y equipos relevantes para sus funciones;
- (e) Seguridad nuclear e industrial;
- (f) Requisitos del sistema de gestión aplicables a sus funciones;
- (g) Procedimientos de emergencia;
- (h) Procedimientos de mantenimiento;
- (i) Procedimientos de pruebas periódicas;
- (j) Procedimientos de inspección;
- (k) Los requisitos reglamentarios. (p. 33-34)

Por lo cual, el programa de capacitación contempla dichos temas en su estructura considerando la existencia de especialistas de la Entidad con amplia experiencia en los tópicos relacionados a física nuclear, protección radiológica, entre otros. Asimismo, se coordina para que este programa este certificado por el Centro Superior de Estudios Nucleares (CSEN), área académica perteneciente a la institución.

El Programa de capacitación se encuentra en el Anexo 6.

#### **5.4. Estimación de costos de cada producto propuesto**

El costo de los productos propuestos se detalla en la siguiente tabla:

**Tabla 22**

*Costo de Productos propuestos..*

Producto 1	Descripción del costo
<p>La actualización del Programa de mantenimiento en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares será realizado por:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Responsable funcional del Departamento de Mantenimiento.</li> <li>- Responsable funcional del Departamento de Garantía de Calidad.</li> <li>- Responsable funcional del área de mecánica – eléctrica.</li> <li>- Responsable funcional del área de instrumentación y control.</li> <li>- Responsable funcional del área de química de reactores.</li> <li>- Técnico mecánico</li> <li>- Técnico químico</li> <li>- Técnico electricista</li> <li>- Técnico electrónico</li> </ul> <p>Además de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Útiles de escritorio</li> <li>- Sillas ergonómicas</li> <li>- Estante para archivadores</li> <li>- Archivadores</li> <li>- Herramientas básicas</li> </ul>	<p>Se necesita un presupuesto anual de S/45,000.00.</p>
Producto 2	Descripción del costo
<p>Procedimiento de liberación de estructuras, componentes y sistemas para la operación del reactor nuclear de investigación RP-10 se necesitará de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sub Director de Operación de Reactores Nucleares</li> <li>- Jefe del Reactor RP-10</li> <li>- Responsable funcional del Departamento de Mantenimiento.</li> <li>- Responsable funcional del Departamento de Garantía de Calidad.</li> <li>- Responsable funcional del área de mecánica – eléctrica.</li> <li>- Responsable funcional del área de instrumentación y control.</li> <li>- Responsable funcional del área de química de reactores.</li> </ul> <p>Además de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Útiles de escritorio</li> <li>- Sillas ergonómicas</li> </ul>	<p>Se necesita un presupuesto de S/ 20,400.00 por única vez.</p>
Producto 3	Descripción del costo
<p>Para la actualización del Manual de mantenimiento se necesitará de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sub Director de Operación de Reactores Nucleares</li> <li>- Jefe del Reactor RP-10</li> <li>- Responsable funcional del Departamento de Mantenimiento.</li> </ul>	<p>Se necesita un presupuesto de S/ 35,700.00 por única vez.</p>

- 
- Responsable funcional del Departamento de Garantía de Calidad.
  - Responsable funcional del área de mecánica – eléctrica.
  - Responsable funcional del área de instrumentación y control.

Además de:

- Útiles de escritorio
- Sillas ergonómicas

Producto 4

Descripción del costo

Para el programa de desarrollo personal se necesitará de:

- |  |   |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sub Director de Operación de Reactores Nucleares</li> <li>- Responsable funcional del Departamento de Mantenimiento.</li> <li>- Jefe del Reactor RP-10</li> </ul> | <p>Se necesita un presupuesto anual de S/ 20,000.00; solicitando su incorporación para el presupuesto a partir del segundo año.</p> |
|--|---|

Además de:

- Útiles de escritorio
- Sillas ergonómicas

---

Fuente: Elaboración propia

En el Anexo 7 se indica la estructura de costos estimados por los productos propuestos.

## **Capítulo VI**

### **Análisis de Viabilidad**

#### **6.1. Viabilidad Política**

A continuación se indica la viabilidad política por cada uno de los productos que se plantea desarrollar como parte del presente trabajo de investigación; por lo cual, se señalan los principales actores políticos y su respectiva incidencia o relevancia acorde a la implementación de estos. Asimismo, se incluye la posición que presentan estos actores, pudiendo ser favorable o desfavorable, en relación a cada producto a elaborar.

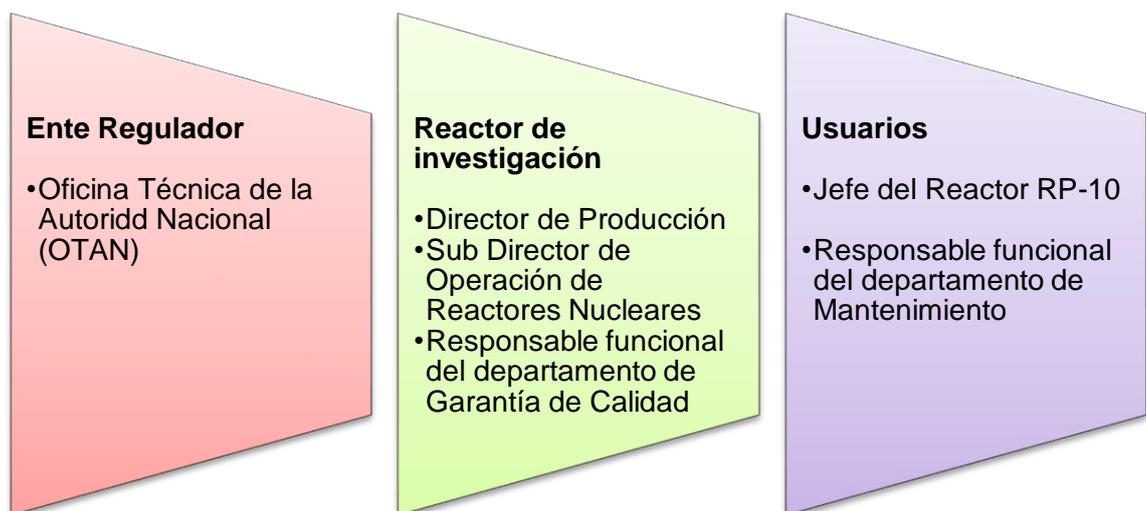
- A. Con el Producto N° 1, “Programa de mantenimiento”, el Departamento Mantenimiento de la de la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares contará con un programa de mantenimiento actualizado.
  
- B. Con el Producto N° 2, “Procedimiento de liberación de estructuras, componentes y sistemas para la operación del reactor nuclear de investigación RP-10”, el Departamento Mantenimiento de la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares contará con un procedimiento que le permita efectuar la liberación de estructuras, componentes y sistemas para la operación del reactor nuclear de investigación RP-10.
  
- C. Con el Producto N° 3, “Manual de mantenimiento”, el Departamento Mantenimiento de la de la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares contará con un manual actualizado que sirve como guía para sus acciones.
  
- D. Para el Producto N° 4, “Programa de capacitación para el personal del departamento de mantenimiento”, el Departamento Mantenimiento de la de la Sub Dirección de Operación de Reactores

Nucleares contará con las capacidades necesarias para asegurar la continuidad de la operación del reactor RP-10.

E. Por ende, no se tienen recursos críticos en la incidencia de stakeholders.

De acuerdo al Organismo Internacional de Energía Atómica (2017), los stakeholders son las personas e instituciones que presentan un interés directo y/o indirecto, o tienen una implicancia en el funcionamiento del reactor. Como parte de la metodología empleada, se identifica las existentes y potenciales interesados, los cuales pueden ser internos y externos considerando el tipo de organización.

En la Figura 42 que se muestra a continuación, se ilustra la identificación de las partes interesadas.



**Figura 42.** Árbol Identificación de Partes Interesadas.

Fuente: Elaboración propia

Las matrices utilizadas son:

**Tabla 23**

*Relación de stakeholders.*

Actor	Descripción del cargo	Funciones según el MOF
Director de Producción	Responsable de la operación segura de las instalaciones nucleares de la Institución.	Programar, ejecutar y supervisar las actividades de mantenimiento que aseguren la confiabilidad y disponibilidad de las instalaciones nucleares y radiactivas a su cargo.
Sub Director de Operación de Reactores Nucleares	Encargado de la planificación, programación, ejecución y supervisión de las actividades relacionadas con la operación en condiciones seguras de las instalaciones nucleares	Programar y ejecutar labores de mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo de los reactores
Jefe del Reactor RP-10	Responsable de establecer las directivas para una operación segura del reactor.	Programar las operaciones y la optimización de los procesos de producción.
Responsable funcional del departamento de Mantenimiento	Profesional a cargo Del departamento de Mantenimiento	Planificar, dirigir y supervisar la ejecución de los programas de mantenimiento preventivo y correctivo de los sistemas y componentes del reactor RP10.
Responsable funcional del departamento de Garantía de Calidad	Profesional a cargo del sistema de gestión en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares	Revisar los documentos que se generen en la actualización del sistema de garantía de calidad del reactor: Procedimientos, Manuales, Instrucciones, Registros y otros. Es el órgano de asesoramiento responsable de asesorar y emitir opinión sobre los asuntos de carácter jurídico a la VI Macro Región Policial Junín, asimismo sobre los proyectos de convenios que las instituciones públicas y/o privadas propongan celebrar.
OTAN	Oficina Técnica de la Autoridad Nacional	Dirige la recopilación sistemática de las normas que rigen a la Policía Nacional del Perú.

Fuente: Manual de Organizaciones y Funciones – IPEN, 2009.

**Tabla 24**

*Incidencias de Stakeholders.*

Productos	Incidencias		
	Alta	Mediana	Baja
P1 Programa de mantenimiento.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Director de Producción</li> <li>- Sub Director de Operación de Reactores Nucleares</li> <li>- Responsable funcional del</li> </ul>	- OTAN	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Responsable funcional del departamento de Garantía de Calidad</li> </ul>

P2 Procedimiento de liberación de estructuras, componentes y sistemas para la operación del reactor nuclear de investigación RP-10.	-	departamento de Mantenimiento		
	-	Jefe del Reactor RP10		
	-	Sub Director de Operación de Reactores Nucleares	- Director de Producción	- Responsable funcional del departamento de Garantía de Calidad
	-	Responsable funcional del departamento de Mantenimiento	- OTAN	
P3 Manual de mantenimiento	-	Jefe del Reactor RP10	- Director de Producción	
	-	Sub Director de Operación de Reactores Nucleares	- Responsable funcional del departamento de Garantía de Calidad	- OTAN
	-	Responsable funcional del departamento de Mantenimiento		
	-	Jefe del Reactor RP10		
P4 Programa de capacitación para el personal del departamento de mantenimiento	-	Director de Producción		
	-	OTAN		
	-	Sub Director de Operación de Reactores Nucleares		- Responsable funcional del departamento de Garantía de Calidad
	-	Responsable funcional del departamento de Mantenimiento		
	-	Jefe del Reactor RP10		

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 25**

*Viabilidad Política de stakeholders según productos.*

Actores				
Nombres	PI	P2	P3	P4
Director de Producción	+	+	+	+
Sub Director de Operación de Reactores Nucleares	+	+	+	+
Jefe del Reactor RP10	+	+	+	+
Responsable funcional del departamento de Mantenimiento	+	+	+	+
Responsable funcional del departamento de Garantía de Calidad	+	+	+	+
OTAN	+	+	+	+

Fuente: Elaboración propia

Escenarios:

Respecto de la viabilidad Política de los productos se aprecia el siguiente escenario. Con relación al Producto 1 Programa de mantenimiento; los actores que tendrían un alta, mediana y baja incidencia en su implementación muestran una actitud favorable a su desarrollo considerando que aquellos con alta incidencia tienen responsabilidad directa sobre la gestión de mantenimiento en las instalaciones nucleares de la Entidad.

Con relación al Producto 2 Procedimiento de liberación de estructuras, componentes y sistemas para la operación del reactor nuclear de investigación RP-10; los actores que tendrían un alta, mediana y baja incidencia en su implementación muestran una actitud favorable a su desarrollo, teniendo en consideración que el procedimiento de liberación de estructuras, componentes y sistemas para la operación del reactor nuclear de investigación RP-10 está ligado a las funciones y responsabilidades de los actores con alta y mediana incidencia.

Con relación al Producto 3 Manual de mantenimiento; los actores que tendrían un alta, mediana y baja incidencia en su implementación muestran una actitud favorable a su desarrollo debido a que la actualización del manual de mantenimiento está directamente relacionada a cumplir con los requisitos de la gestión de mantenimiento, la misma que se encuentra a cargo de los actores con incidencia alta.

Con relación al Producto 4 Programa de capacitación para el personal del departamento de mantenimiento; los actores que tendrían una alta y baja incidencia en su implementación muestran una actitud favorable a su desarrollo, teniendo en cuenta que mediante este programa se garantiza la continuidad de las operaciones de las instalaciones nucleares que se encuentran a su cargo.

## **6.2. Viabilidad Técnica**

La viabilidad técnica de los diferentes productos propuestos como parte del presente trabajo de investigación aplicada necesita que el desarrollo de estos se encuentre alineado a la normativa existente; así como, se evidencia la

existencia de personal con las competencias requeridas para su ejecución e implementación.

**Tabla 26**

*Desde el punto de vista normativo.*

Producto	Normativa
P1 Programa de mantenimiento.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Ley N° 28028: Ley de regulación del uso de fuentes de radiación ionizante.</li> <li>– Decreto Supremo N° 039-2008-EM: Reglamento de la Ley N° 28028, Ley de Regulación del Uso de Fuentes de Radiación Ionizante.</li> <li>– Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), Guía de Seguridad N° NS-G-4.2 “Maintenance, Periodic Testing and Inspection of Research Reactors”.</li> <li>– Límites y Condiciones Operacionales del reactor nuclear de investigación RP10, correspondiente a la Licencia de Operación N° 3284.</li> <li>– Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), Guía de Seguridad N° 75 “Implementation of a Management System for Operating Organizations of Research Reactors”.</li> <li>– Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), Guía de Seguridad N° SSG-10 “Ageing Management for Research Reactors”.</li> <li>– Ley N° 28028: Ley de regulación del uso de fuentes de radiación ionizante.</li> <li>– Decreto Supremo N° 039-2008-EM: Reglamento de la Ley N° 28028, Ley de Regulación del Uso de Fuentes de Radiación Ionizante.</li> </ul>
P2 Procedimiento de liberación de estructuras, componentes y sistemas para la operación del reactor nuclear de investigación RP-10.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), Guía de Seguridad N° NS-G-4.2 “Maintenance, Periodic Testing and Inspection of Research Reactors”.</li> <li>– Límites y Condiciones Operacionales del reactor nuclear de investigación RP10, correspondiente a la Licencia de Operación N° 3284.</li> <li>– Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), Guía de Seguridad N° 75 “Implementation of a Management System for Operating Organizations of Research Reactors”.</li> <li>– Ley N° 28028: Ley de regulación del uso de fuentes de radiación ionizante.</li> <li>– Decreto Supremo N° 039-2008-EM: Reglamento de la Ley N° 28028, Ley de Regulación del Uso de Fuentes de Radiación Ionizante.</li> </ul>
P3 Manual de mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), Guía de Seguridad N° NS-G-4.2 “Maintenance, Periodic Testing and Inspection of Research Reactors”.</li> <li>– Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), Guía de Seguridad N° NG-T-3.16 “Strategic Planning for Research Reactors”.</li> </ul>

Producto	Normativa
P4 Programa de capacitación para el personal del departamento de mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), Guía de Seguridad N° 75 “Implementation of a Management System for Operating Organizations of Research Reactors”.</li> <li>– Ley N° 28028: Ley de regulación del uso de fuentes de radiación ionizante.</li> <li>– Decreto Supremo N° 039-2008-EM: Reglamento de la Ley N° 28028, Ley de Regulación del Uso de Fuentes de Radiación Ionizante.</li> <li>– Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), Guía de Seguridad N° NS-G-4.2 “Maintenance, Periodic Testing and Inspection of Research Reactors”.</li> <li>– Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), Guía de Seguridad N° NS-G-4.5 “The Operating Organization and the Recruitment, Training and Qualification of Personnel for Research Reactors”.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia

#### Escenario:

Respecto a la viabilidad técnica de los productos se aprecia que con relación a los P1, P2, P3 y P4, el escenario es favorable para cada uno de ellos. No hay norma legal que impida su realización, por el contrario, la promueven.

Para el caso del producto 1, se cuenta con personal calificado para actualizar el estado situacional de las estructuras, componentes y sistemas del reactor nuclear de investigación RP-10, y con dicha forma poder actualizar el programa de mantenimiento.

En el producto 2, en la Entidad se tiene personal calificado para la elaboración y redacción del procedimiento de liberación de estructuras, componentes y sistemas para la operación del reactor nuclear de investigación RP-10.

Para el producto 3, la actualización del manual de mantenimiento se realiza mediante la conformación de un equipo de trabajo en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares integrado por un profesional de cada área del departamento de Mantenimiento: Mecánica – Eléctrica, Instrumentación y Control, y Química de Reactores además del responsable funcional de dicho departamento con la finalidad de actualizar el manual del Departamento de

Mantenimiento para posterior revisión del Responsable Funcional del Departamento de Garantía de Calidad y del Sub Director de Operación de Reactores Nucleares, contando con personal calificado para tal fin.

En relación al producto 4, se debe tener en cuenta la existencia de especialistas de la Entidad con amplia experiencia en los tópicos relacionados a física nuclear, protección radiológica, entre otros. Asimismo, se coordina para que este programa este certificado por el Centro Superior de Estudios Nucleares (CSEN), área académica perteneciente a la institución.

### 6.3. Viabilidad Social

La viabilidad social de los productos propuestos para su desarrollo e implementación como parte de este trabajo de investigación aplicada necesita que los servicios sociales permitan su ejecución, además que se evidencie contar con el capital humano capacitado para llevar a cabo dichas tareas.

**Tabla 27**

*Matriz de actores sociales.*

Actor Social	Descripción	Actitud ante el producto
Sindicato de trabajadores de la Entidad	Contribuir a la capacitación constante del personal garantizando su calificación y re entrenamiento para el desarrollo de sus funciones.	Positiva
	El desarrollo de los productos propuestos contribuye a garantizar las condiciones de seguridad durante la ejecución de las actividades de mantenimiento en la instalación nuclear de la Entidad.	

Fuente: Elaboración propia

Los trabajadores de la Entidad están representados por el Sindicato de Empleados de Energía Nuclear – SEIPEN, inscrito en el Registro Sindical del Ministerio de Trabajo de fecha 18 de diciembre de 1985, de conformidad con el Texto Único Ordenado de la Ley de Relaciones Colectivas de Trabajo, aprobado por el Decreto Supremo N° 010-2003-TR.

El SEIPEN tiene más de 35 años de conformación, siendo el único sindicato existente que afilia y reúne al personal de la institución. Debido a su antigüedad y amplia representación a nivel laboral, el SEIPEN personifica al actor social relacionado al presente trabajo de investigación, considerando que tiene como uno de sus principales propósitos asegurar la sostenibilidad en las actividades de capacitación del personal, además de garantizar las condiciones de seguridad durante la ejecución de las actividades laborales en la instalación nuclear de la Entidad.

Escenario:

Respecto a la viabilidad social de los productos se aprecia que con relación a los P1; P2, P3 y P4, el escenario es favorable para cada uno de ellos.

Considerando que para el producto 1, teniendo un programa actualizado de mantenimiento se garantiza las condiciones de seguridad para el personal mantenedor que ejecuta trabajos en las instalaciones nucleares de la entidad; así como, para el personal operador del reactor.

Para el caso del producto 2, de similar forma al punto anterior, contar con un procedimiento de liberación de equipos y sistemas en el reactor nuclear de investigación RP-10, permite garantizar operaciones seguras para todo el personal que labora dentro y fuera de sus instalaciones, además del personal ubicado en el centro nuclear.

En relación al producto 3, la actualización del manual de mantenimiento permite que los trabajadores asociados a este proceso cuenten con información clara acerca de sus funciones específicas además de las instalaciones que se encuentran a su cargo.

Finalmente para el producto 4, se tendrá personal capacitado en relación a sus funciones desempeñadas sobre todo considerando que no han recibido cursos y/o inducciones específicas previas.

#### **6.4. Viabilidad Presupuestal**

Con relación a la Viabilidad Presupuestal, el costo del Producto 1: la actualización del Programa de mantenimiento en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares es de 45,000.00 soles. El costo por las horas hombre del personal asignado se encuentra incluido dentro del presupuesto anual de la Entidad, toda vez que es financiado a través del pago de remuneraciones mensual. En cuanto a las herramientas básicas están se encuentran incluidas en el Cuadro de Necesidades de la meta presupuestal asignada al Departamento de Mantenimiento a ser atendida mediante recursos directamente recaudados.

Con relación a la Viabilidad Presupuestal, el costo del Producto 2: Procedimiento de liberación de estructuras, componentes y sistemas para la operación del reactor nuclear de investigación RP-10, el costo de este producto es de S/ 20,4000.00 soles referenciados – principalmente – al personal que conforma el equipo de trabajo. El costo por las horas hombre a emplear como parte de la elaboración del producto en mención se encuentra incluido dentro del presupuesto anual de la Entidad.

Con relación a la Viabilidad Presupuestal, el costo del Producto 3: Manual de Mantenimiento de S/ 35,700 soles, referenciados – principalmente – al personal que conforma el equipo de trabajo. El costo por las horas hombre del personal asignado para la actualización del documento está considerando dentro del presupuesto anual de la Entidad.

Con relación a la Viabilidad Presupuestal, el costo del Producto 4: Programa de Desarrollo de Personal de 20,000 soles; los temas y/o cursos incluidos como tópicos en la capacitación propuesta serán efectuados en su mayoría por especialistas de la Entidad toda vez que se cuenta con personal de amplia experiencia en los temas relacionados a física nuclear, protección radiológica, entre otros. Adicionalmente, se gestionará ante el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) la asistencia de un experto para el tópico de seguridad nuclear considerando que el organismo ofrece este tipo

de capacitaciones a sus estados miembros como el Perú. Asimismo, se solicitará su incorporación en el presupuesto anual a partir del segundo año a fin de que quede establecido como un requerimiento regular.

#### **6.5. Valor Público de la Propuesta**

El presente trabajo se desarrolla en el Instituto Peruano de Energía Nuclear cuya misión es normar, promover, supervisar y desarrollar la investigación y las aplicaciones nucleares y afines para mejorar la competitividad del país y la calidad de vida de la nación.

En este sentido, esta investigación aporta al logro de la misión institucional indicada a través del aseguramiento de las operaciones del reactor nuclear de investigación y sus actividades de irradiación del reactor para la fabricación de radiofármacos.

Por ende, la finalidad pública recae en la manufactura y distribución de los radiofármacos, los cuales son enviados a clínicas y hospitales para el diagnóstico y tratamiento de enfermedades oncológicas, contribuyendo a mejorar la salud pública, teniendo un impacto positivo en la calidad de vida de los ciudadanos.

## Capítulo VII

### Seguimiento

Para el seguimiento respecto del avance de la implementación de la propuesta incorporada en el presente trabajo de investigación aplicada, se sugiere el uso de indicadores, los cuales se presentan a continuación:

Con relación al producto 1:

**Tabla 28**

*Indicador del P1: Programa actualizado de mantenimiento en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares.*

Nombre del Indicador: Porcentaje de ejecución del programa de mantenimiento																			
Definición	<p>De acuerdo a la Guía de Seguridad N° NS-G-4.2 "Maintenance, Periodic Testing and Inspection of Research Reactors" emitido por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), el mantenimiento preventivo debe realizarse en las estructuras, sistemas y componentes; de acuerdo a lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Según lo especificado por los diseñadores o fabricantes;</li> <li>- Según lo especificado por la ley y en los requisitos reglamentarios;</li> <li>- Según lo determine la dirección del reactor sobre la base de las revisiones de seguridad y la experiencia operativa anterior o por otras razones, como el cumplimiento de las estipulaciones de los seguros.</li> </ul> <p>Asimismo, el programa de mantenimiento debe incluir requisitos para la revisión y verificación del mismo.</p>																		
Dimensión de desempeño	Indicador de Eficacia																		
Valor del Indicador	<p>Se busca alcanzar que el programa de mantenimiento preventivo cuente con una ejecución mayor al 90% de lo planificado, en un año. Se tiene como línea base el porcentaje de ejecución de los mantenimientos preventivos llevados a cabo durante al año 2020, el cual fue de un estimado de 77%.</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th></th> <th>Línea Base</th> <th colspan="3">Proyectado</th> </tr> <tr> <th>Año</th> <th>2020</th> <th>2022</th> <th>2023</th> <th>2024</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Porcentaje</td> <td>77%</td> <td>90%</td> <td>95%</td> <td>100%</td> </tr> </tbody> </table>					Línea Base	Proyectado			Año	2020	2022	2023	2024	Porcentaje	77%	90%	95%	100%
	Línea Base	Proyectado																	
Año	2020	2022	2023	2024															
Porcentaje	77%	90%	95%	100%															
Justificación	<p>El indicador permitirá efectuar el seguimiento y control del programa de mantenimiento preventivo en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares en su Departamento de Mantenimiento. Realizar esta evaluación es indispensable para garantizar la oportuna ejecución de las tareas e</p>																		

	intervenciones planificadas con el objetivo de asegurar la disponibilidad operativa de las instalaciones nucleares.
Limitaciones y supuestos empleados	Supuestos: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Órdenes de trabajo se encuentren actualizadas y archivadas de forma correcta y ordenada.</li> <li>- Información indicada en el POI es acorde a los datos reales.</li> </ul>
Precisiones Técnicas	Para el cálculo del indicador se requiere que para considerar las órdenes de mantenimiento como efectuadas, éstas se encuentren cerradas y/o finalizadas.
Método de Cálculo	$\frac{\text{N}^\circ \text{ órdenes de trabajo de mantenimiento preventivo efectuados}}{\text{N}^\circ \text{ órdenes de trabajo de mantenimiento preventivo programados}} \times 100\%$
Periodicidad de las mediciones	Las mediciones se realizarán mensualmente.
Fuente de datos	Plan Operativo Institucional, Actividad Estratégica Institucional 5.2 Asegurar la operatividad de la infraestructura e instalaciones nucleares y radiactivas del IPEN.  Files de documentación del Departamento de Mantenimiento.
Base de datos	Plan Operativo Institucional, Actividad Estratégica Institucional: Asegurar la operatividad de la infraestructura e instalaciones nucleares y radiactivas del IPEN.
Instrumento de recolección de información	Revisión de documentación mediante el uso de hojas de verificación y registros.

Fuente: Elaboración propia

Con relación al producto 2

## Tabla 29

*Indicador del P2: Procedimiento de liberación de estructuras, componentes y sistemas para la operación del reactor nuclear de investigación RP-10.*

Nombre del Indicador: Uso de formularios del procedimiento de liberación de estructuras, componentes y sistemas previo a la operación semanal del reactor.	
Definición	De acuerdo a la Guía de Seguridad N° NS-G-4.2 "Maintenance, Periodic Testing and Inspection of Research Reactors" emitido por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), debe establecerse un sistema de gestión de mantenimiento, incluyendo pruebas periódicas e inspección.  Las pruebas periódicas y la inspección tienen como objetivo garantizar que la instalación cumple con todos los requisitos de seguridad derivados de: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Los requisitos del organismo regulador;</li> <li>- Los requisitos e hipótesis de diseño;</li> </ul>

---

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El informe de análisis de seguridad (IAS);</li> <li>- Los límite y condiciones operacionales.</li> </ul>															
Dimensión de desempeño	Indicador de Eficacia															
Valor del Indicador	<p>Se tiene 0% de línea de base y se busca alcanzar el uso al 100% de formularios del procedimiento de liberación de estructuras, componentes y sistemas previo a la operación semanal del reactor.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Línea Base</th> <th colspan="3">Proyectado</th> </tr> <tr> <th>Año</th> <th>2020</th> <th>2022</th> <th>2023</th> <th>2024</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Porcentaje</td> <td>0%</td> <td>100%</td> <td>100%</td> <td>100%</td> </tr> </tbody> </table>		Línea Base	Proyectado			Año	2020	2022	2023	2024	Porcentaje	0%	100%	100%	100%
	Línea Base	Proyectado														
Año	2020	2022	2023	2024												
Porcentaje	0%	100%	100%	100%												
Justificación	<p>El indicador permite conocer el uso adecuado y oportuno de los formularios considerados en el Procedimiento de liberación de estructuras, componentes y sistemas, previo a la operación semanal del reactor nuclear de investigación RP-10. Esta acción permite garantizar la implementación y ejecución de lo plasmado en el procedimiento elaborado.</p>															
Limitaciones y supuestos empleados	<p>Supuestos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Formularios empleados se encuentren actualizados y archivados de forma correcta y ordenada.</li> <li>- Personal de mantenimiento realiza la entrega de forma oportuna de los formularios a la persona responsable de la Sala de Control del reactor RP-10.</li> </ul>															
Precisiones Técnicas	<p>Para el cálculo del indicador, para considerar los formularios como empleados, éstos deben contar con las firmas respectivas de manera completa.</p>															
Método de Cálculo	$\frac{\text{N}^\circ \text{ formularios empleados}}{\text{N}^\circ \text{ formularios incluidos en el procedimiento}} \times 100\%$															
Periodicidad de las mediciones	Las mediciones se realizarán mensualmente.															
Fuente de datos	Files de documentación de los Departamentos de Mantenimiento y Operación.															
Base de datos	Repositorio físico de la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares.															
Instrumento de recolección de información	Revisión de documentación de archivadores ubicados en la Sala de Control del Reactor, mediante el uso de hojas de verificación y registros.															

---

Fuente: Elaboración propia

Con relación al producto 3.

**Tabla 30**

*Indicador del P3: Manual de mantenimiento actualizado en la Sub  
Dirección de Operación de Reactores Nucleares*

Nombre del Indicador: Atención de las órdenes de trabajo de mantenimiento correctivo.																
Definición	De acuerdo a la Guía de Seguridad N° NS-G-4.2 “Maintenance, Periodic Testing and Inspection of Research Reactors” emitido por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) indica que el mantenimiento, incluido el mantenimiento correctivo (la reparación y restauración de los elementos defectuosos), se lleva a cabo normalmente mediante un sistema de control del trabajo; debiendo establecerse medidas de evaluación que incluyan – entre otros – el seguimiento de la adecuación y puntualidad de las acciones correctivas.															
Dimensión de desempeño	Indicador de Eficacia															
Valor del Indicador	Se busca alcanzar que la atención de las órdenes de trabajo por mantenimiento correctivo cuente con una ejecución mayor al 95%.  Se tiene un 88% de línea de base y se busca alcanzar el uso al 100% de formularios del procedimiento de liberación de estructuras, componentes y sistemas previo a la operación semanal del reactor.															
	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Línea Base</th> <th colspan="3">Proyectado</th> </tr> <tr> <th>Año</th> <th>2020</th> <th>2022</th> <th>2023</th> <th>2024</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Porcentaje</td> <td>88 %</td> <td>95%</td> <td>100%</td> <td>100%</td> </tr> </tbody> </table>		Línea Base	Proyectado			Año	2020	2022	2023	2024	Porcentaje	88 %	95%	100%	100%
	Línea Base	Proyectado														
Año	2020	2022	2023	2024												
Porcentaje	88 %	95%	100%	100%												
Justificación	El indicador permitirá efectuar el seguimiento y control de la atención a las solicitudes por mantenimiento correctivo generadas por las áreas usuarias de la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares en su Departamento de Mantenimiento, permitiendo evaluar la efectividad de las acciones plasmadas en el manual de mantenimiento.															
Limitaciones y supuestos empleados	Supuestos: - Órdenes de trabajo se encuentren actualizadas y archivadas de forma correcta y ordenada. - Información indicada en el POI es acorde a los datos reales.															
Precisiones Técnicas	Para el cálculo del indicador se requiere que para considerar las órdenes de mantenimiento como efectuadas, éstas se encuentren cerradas y/o finalizadas.															
Método de Cálculo	$\frac{\text{N° órdenes de trabajo de mantenimiento correctivo efectuados}}{\text{N° órdenes de trabajo por mantenimiento correctivo solicitados}} \times 100\%$															
Periodicidad de las mediciones	Las mediciones se realizarán mensualmente.															
Fuente de datos	Plan Operativo Institucional, Actividad Estratégica Institucional 5.2 Asegurar la operatividad de la infraestructura e instalaciones nucleares y radiactivas del IPEN.  Files de documentación del Departamento de Mantenimiento.															

Base de datos	Plan Operativo Institucional, Actividad Estratégica Institucional: Asegurar la operatividad de la infraestructura e instalaciones nucleares y radiactivas del IPEN.
Instrumento de recolección de información	Revisión de documentación, mediante el uso de hojas de verificación y registros.

Fuente: Elaboración propia

Con relación al producto 4

**Tabla 31**

*Indicador del P4: Programa de capacitación para el personal del departamento de mantenimiento*

Nombre del Indicador: Porcentaje del personal participante que obtiene una nota mayor a 14/20.	
Definición	Muestra la relación entre la cantidad del personal participante del departamento de mantenimiento y el personal que obtiene una nota igual o mayor a 14 en una evaluación en escala vigesimal.
Dimensión de desempeño	Indicador de Eficacia
Valor del Indicador	Se busca alcanzar que el porcentaje del personal asistente que obtiene una nota mayor a 14/20 sea mayor al 90%.
Justificación	El indicador permite conocer que el personal participante del programa de capacitación logre la adquisición de conocimientos y calificación requerida para el desempeño de sus funciones.
Limitaciones y supuestos empleados	Personal de mantenimiento asiste acorde a su disposición de tiempo, priorizando su labor en campo. Expertos de la Entidad aceptan formar parte como docentes del programa de capacitación.
Precisiones Técnicas	Para el cálculo del indicador se considera como nota aprobatoria a partir de 14.00 en una escala de evaluación vigesimal.
Método de Cálculo	$\frac{\text{Nº personas con nota igual o mayor a 14}}{\text{Nº personas participantes}} \times 100\%$
Periodicidad de las mediciones	La medición se realizará al culminar el programa de capacitación.
Fuente de datos	Registro de notas.
Base de datos	No aplica.
Instrumento de recolección de información	Revisión documental mediante el uso de hojas de verificación y registros.

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 32**

*Indicador global: Optimización del sistema de gestión en el Departamento Mantenimiento de la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares del Instituto Peruano de Energía Nuclear.*

Nombre del Indicador: Disponibilidad operativa mayor al 95% de los sistemas del reactor nuclear de investigación RP-10.													
Definición	La NC-ISO/IEC 2382-14: 2010 define la disponibilidad como “La habilidad de una unidad funcional para estar en un estado para realizar una función requerida bajo las condiciones dadas en un instante dado de tiempo o sobre un espacio de tiempo dado, asumiendo que los recursos externos requeridos son provistos”.												
Dimensión de desempeño	Indicador de Eficacia												
Valor del Indicador	Se busca alcanzar una disponibilidad operativa mayor al 95% de los sistemas del reactor nuclear de investigación RP-10.												
	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th colspan="3">Proyectado</th> </tr> <tr> <th>Año</th> <th>2021</th> <th>2022</th> <th>2023</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Porcentaje</td> <td>95%</td> <td>98%</td> <td>100%</td> </tr> </tbody> </table>		Proyectado			Año	2021	2022	2023	Porcentaje	95%	98%	100%
	Proyectado												
Año	2021	2022	2023										
Porcentaje	95%	98%	100%										
Justificación	El indicador permitirá conocer la disponibilidad operativa de los sistemas del reactor nuclear de investigación RP-10, brindando información acerca de su operatividad y de la sostenibilidad que brindan para una operación segura del reactor.												
Limitaciones y supuestos empleados	Supuesto: - Los sistemas han sido encendidos y verificados.												
Precisiones Técnicas	Para el cálculo del indicador se requiere verificar, previamente, que no se tengan sistemas en proceso de intervención mediante un mantenimiento general y/o integral programado previamente.												
Método de Cálculo	$\frac{\text{N}^\circ \text{ sistemas disponibles}}{\text{N}^\circ \text{ sistemas totales}} \times 100\%$												
Periodicidad de las mediciones	Las mediciones se realizarán mensualmente.												
Fuente de datos	Plan Operativo Institucional, Actividad Estratégica Institucional 5.2 Asegurar la operatividad de la infraestructura e instalaciones nucleares y radiactivas del IPEN.  Files de documentación de los Departamentos de Mantenimiento y Operación.												
Base de datos	Plan Operativo Institucional, Actividad Estratégica Institucional: Asegurar la operatividad de la infraestructura e instalaciones nucleares y radiactivas del IPEN.												
Instrumento de recolección de información	Revisión de documentación mediante el uso de hojas de verificación y registros.												

Fuente: Elaboración propia

## Conclusiones

1. La gestión de mantenimiento resulta esencial en cualquier tipo de industria; dado que, permite reducir costos, ganar confiabilidad y mejorar de manera continua la productividad. Por ello, esta gestión es de vital importancia en las instituciones públicas, en especial en aquellas que brindan servicios directos a los ciudadanos considerando que el mantenimiento constituye uno de los principales procesos soporte de todo proceso misional. Una adecuada gestión de mantenimiento permite garantizar la continuidad operativa y segura de las actividades de las instituciones.
2. Se visualizó un problema en el Instituto Peruano de Energía Nuclear, identificado relacionado a la gestión en el Departamento Mantenimiento de la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares del Instituto Peruano de Energía Nuclear; planteándose para ello, elaborar un programa de mantenimiento actualizado en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares, un procedimiento de liberación de estructuras, componentes y sistemas para la operación del reactor nuclear de investigación RP-10, el manual de mantenimiento actualizado en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares y proponer una capacitación con miras al licenciamiento individual de los recursos humanos para asegurar la continuidad del mantenimiento en la operación del reactor de investigación.
3. Se identificó que el programa de mantenimiento de la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares se encontraba desactualizado; por ello, se elaboró un programa de mantenimiento en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares atendiendo el OE1: “Actualizar el Programa de mantenimiento en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares”, el cual ha permitido contar con la información necesaria para efectuar las labores de mantenimiento en cada uno de los equipos, componentes y sistemas del reactor nuclear de investigación RP-10. Bajo este marco, dicho

programa resulta conforme y pertinente para contar con una adecuada gestión de mantenimiento.

4. Debido a la inexistencia de un procedimiento de liberación de estructuras, componentes y sistemas para la operación del reactor nuclear de investigación RP-10, se elaboró dicho procedimiento de liberación de estructuras, componentes y sistemas para la operación del reactor nuclear de investigación RP-10. Por ello, la atención del OE 2: Elaboración de procedimiento de liberación de estructuras, componentes y sistemas para la operación del reactor nuclear de investigación RP-10 garantiza la disponibilidad y confiabilidad de cada uno de los equipos, componentes y sistemas del reactor nuclear de investigación RP-10 que permite asegurar la continuidad de sus operaciones de irradiación para la producción de radiofármacos destinados a la medicina nuclear. Por lo expuesto, el lineamiento propuesto es adecuado y óptimo para resolver el problema indicado.
  
5. Debido a que el Manual de mantenimiento se hallaba desactualizado en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares, bajo el OE 3: Actualizar el Manual de mantenimiento en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares se elaboró el manual de mantenimiento actualizado en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares que permitió mapear las actividades que conforman la gestión de mantenimiento en la unidad organizacional indicada, lo que resulta en un producto pertinente e idóneo para brindar solución a la problemática descrita.
  
6. Dado que no se contaba con recursos humanos capacitados con el licenciamiento individual de los mantenedores que aseguren la continuidad del mantenimiento en la operación del reactor de investigación, se atendió el OE 4: Disponer de recursos humanos capacitados y licenciados que aseguren la continuidad del mantenimiento en la operación del reactor de investigación a fin de contar con recursos humanos para asegurar la continuidad del mantenimiento en la operación del reactor de investigación,

siendo oportuno y conveniente para contribuir con una adecuada gestión de mantenimiento en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares.

## **Recomendaciones**

1. Se recomienda mejorar la gestión en el Departamento Mantenimiento de la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares del Instituto Peruano de Energía Nuclear en base al presente trabajo de investigación, considerando que ello brindará sostenibilidad a las operaciones del reactor de investigación, contribuyendo al cumplimiento de la misión de la institución, y su finalidad pública.
2. Se recomienda implementar el programa de mantenimiento actualizado en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares, a través del cual se podrá fiar la disponibilidad de los equipos, sistemas y componentes del reactor nuclear RP-10.
3. Debido a la inexistencia de procedimientos de liberación de estructuras, componentes y sistemas para la operación del reactor nuclear de investigación RP-10, se recomienda implementar cada uno de los procedimientos de liberación de estructuras, componentes y sistemas para la operación del reactor nuclear de investigación RP-10 que permita cumplir con las operaciones del reactor, y por ende con las actividades consideradas en el Plan Operativo Institucional.
4. Se sugiere implementar las actividades señaladas en el manual de mantenimiento actualizado en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares con el fin de contar con una herramienta de gestión necesaria para el desempeño óptimo del Departamento Mantenimiento, maximizando su contribución a los procesos misionales de la institución.
5. A fin de contar con recursos humanos capacitados que aseguren la continuidad del mantenimiento en la operación del reactor de investigación, se recomienda llevar a cabo el programa de capacitación planteado

garantizando el principal recurso de la institución y la continuidad de sus operaciones.

## Referencias Bibliográficas

- Acuña, G. (2017). *Modelización de los procesos de gestión del Reactor nuclear Argentino 6*. Bahía Blanca: Universidad Nacional del Sur.
- Anaya, O. (2002). Operación y usos del reactor RP-10. *ALICIA*, 1.
- ANSTO. (2022). Obtenido de What is Mo-99?: <https://www.ansto.gov.au/products-services/health/facilities/mo-99-manufacturing-facility>
- ANSTO. (2022). *Nuclear medicine facilities*. Obtenido de <https://www.ansto.gov.au/products-services/nuclear-medicine/facilities>
- Araujo, I. (2020). *Propuesta de un plan de mantenimiento basado en RCM de los activos críticos del área*. Cuenca: Universidad del Azuay.
- Borrego, M. (2010). *Administración y Técnicas de Mantenimiento*.
- Candelario, J. (2013). *Diseño e implementación*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Cárcel, J. (2014). La gestión del conocimiento en la ingeniería del mantenimiento industrial: Investigación sobre la incidencia en sus actividades estratégicas.
- Castro, J., Barrios, E., Cerna, C., & Uribe, G. (2021). *Un modelo de investigación en gerencia pública a nivel de posgrado: Innovación y valor público en la investigación 2020* (ISBN Electrónico 978-612-4443-38-1 ed.). Huancayo: Universidad Continental - Fondo Editorial.
- Centro de Isótopos - Centis. (2019). *Centro de Investigación Médica*. Obtenido de <https://www.facebook.com/centiscuba/>
- Chau, J. (2010). *Gestión del Mantenimiento de Equipos en Proyectos de Movimiento de Tierras*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería .
- Chavez, M. (2015). *Análisis y diagnóstico de gestión de activos para empresas de producción petrolera en el Ecuador basados en los niveles de madurez del estándar pas 55:2008*. Quito: Universidad Politécnica Salesiana.

- Comisión Chilena de Energía Nuclear . (2019). *Comisión Chilena de Energía Nuclear*. Obtenido de [http://www.cchen.cl/?page\\_id=1649](http://www.cchen.cl/?page_id=1649)
- Comisión Económica para América Latina. (2022). *CEPAL*. Obtenido de Naciones Unidas: <https://www.cepal.org/es/temas/gestion-publica/acerca-gestion-publica>
- Comisión Nacional de Energía Atómica. (2019). *Comisión Nacional de Energía Atómica*. Obtenido de <https://www.argentina.gob.ar/cnea/Tecnologia-nuclear/reactores-de-investigacion/ra-3>
- Comisión Nacional de Energía Atómica. (2019). *Comisión Nacional de Energía Atómica*. Obtenido de <https://www.argentina.gob.ar/cnea/Tecnologia-nuclear/reactores-de-investigacion/ra-6>
- Comisión Nacional de Energía Atómica. (s.f.). *Aplicaciones en el área de la salud*. Obtenido de <https://www.argentina.gob.ar/cnea/medicina-nuclear/produccion-de-radioisotopos/aplicaciones-en-el-area-de-la-salud>
- Comisión Nacional de Energía Atómica. (s.f.). *Catálogo de radioisótopos*. Obtenido de <https://www.argentina.gob.ar/cnea/medicina-nuclear/produccion-de-radioisotopos/catalogo-de-radioisotopos>
- Comisión Nacional de Energía Atómica. (s.f.). *Producción de radioisótopos*. Obtenido de <https://www.argentina.gob.ar/cnea/medicina-nuclear/proyecto-isotopos-radiactivos>
- Comisión Permanente del Congreso de la República. (2003). *Ley de Regulación del Uso de Fuentes de Radiación Ionizante*. Perú.
- Comunicaciones CCHEN. (2020). *Comisión Chilena de Energía Nuclear*. Obtenido de Instituto de Salud Pública renueva autorización a la CCHEN para operar como laboratorio farmacéutico: <https://www.cchen.cl/?p=5223>
- Conceptos Básicos del Mantenimiento*. (2011). Obtenido de <http://fundabasidelmtto.blogspot.pe/2011/04/conceptos-basicos-del-mantenimiento.html>

- Cortés-Blanco, A., & Esteban Gómez, J. (2013). Radiofármacos de uso humano: marco legal e indicaciones clínicas autorizadas en España. *Seguridad Nuclear*, 5-15.
- Cruz, J. (2012). Buenas Prácticas en la producción de radiofármacos. *Nucleus No 52*, 9 - 12.
- Cruz, J. (2014). La producción de radiofármacos. *Nucleus No 56*, 27 - 30.
- Cruz, J., Taylor, T., & Morín, J. (2017). Posibilidades del mercado de radiofármacos. Escenario cubano.
- Depool, T. (2015). *Mejora de la Gestión de Activos Físicos Según PAS 55 – ISO 55000 evaluando el desempeño de los roles del Marco de Competencias del IAM*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Díaz, J. (2011). *Técnicas de Mantenimiento Industrial*. Cadiz: Instituto de Tecnología.
- Dirección General de Medicamentos, I. y.-D. (2018). *Manual de buenas prácticas de manufactura de productos farmacéuticos*. Perú.
- Dixit, A. (2014). Radifármacos para el manejo eficaz del cáncer. *Boletín del OIEA*, 20.
- Florez, P. (2015). *Mantenimiento Proactivo*. Obtenido de [diapositivas de PowerPoint]: <https://prezi.com/3qlpqymfqewb/mantenimiento-proactivo>
- Foro Iberoamericano de Organismos Reguladores. (2011). *Foro Iberoamericano de Organismos Reguladores Radiológicos y Nucleares*. Obtenido de [https://www.foroiberam.org/actualidad/noticias/detalle/-/journal\\_content/56\\_INSTANCE\\_nv1RaYs0sOj/193375/199437](https://www.foroiberam.org/actualidad/noticias/detalle/-/journal_content/56_INSTANCE_nv1RaYs0sOj/193375/199437)
- Foro Nuclear. (s.f.). *Foro de la Industria Nuclear Española*. Obtenido de <https://www.foronuclear.org/descubre-la-energia-nuclear/glosario-de-terminos/reactor-nuclear/>
- Fuesmen. (2022). Obtenido de Producción de radiofármaco en las propias instalaciones de Fuesmen: <https://www.fuesmen.edu.ar/destacado/produccion-de-radiofarmaco-en-las->

propias-instalaciones-de-fuesmen-gracias-a-los-servicios-de-ciclotron-y-radiofarmacia/

Galindo, A. (2021). *¿Qué es la energía nuclear? La ciencia de la energía nucleoelectrica*. Viena: Organismo Internacional de Energía Atómica.

Garavito, E. (2010). *Mantenimiento y Conservación Industrial*.

García, S. (2003). *Organización y Gestión Integral de Mantenimiento*.

Gardella, M. (2010). *Mejora de metodología RCM a partir del AMFEC e implantación de mantenimiento preventivo y predictivo en plantas de procesos*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.

Gómez, F. (2008). *Tecnología del Mantenimiento Industrial*. Murcia: Universidad de Murcia.

Griet, M. (2016). *Sistema avanzado de alarmas para el reactor RA6*. San Carlos de Bariloche: Universidad Nacional de Cuyo.

Hilal, R. (2012). *Análisis determinista de seguridad de reactores nucleares de investigación*. Bariloche: Universidad Nacional de Cuyo.

Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas. (2017). *Datos Epidemiológicos*. Obtenido de <https://portal.inen.sld.pe/indicadores-anuales-de-gestion-produccion-hospitalaria/>

Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares . (2019). *Instalaciones del reactor TRIGA Mark III. Contacto Nuclear, 22*.

Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares. (2015). *Radiofármacos y diagnóstico temprano de cáncer. Apps Nucleares, 2-3*.

Instituto Peruano de Energía Nuclear. (2017). *Plan Estratégico Institucional 2017-2019*. Perú.

Instituto Peruano de Energía Nuclear. (2017). *Plan Operativo Institucional 2017*. Perú.

Instituto Peruano de Energía Nuclear. (2019). Obtenido de Instituto Peruano de Energía Nuclear: <http://www.ipen.gob.pe/index.php/productos/radioisotopos-y-radiofarmacos>

Instituto Peruano de Energía Nuclear. (2019). *Presentación*. Obtenido de Instituto Peruano de Energía Nuclear: <http://www.ipen.gob.pe/index.php/ipen/presentacion>

Instituto Peruano de Energía Nuclear. (2019). *Radioisótopos y Radiofármacos*. Obtenido de <http://www.ipen.gob.pe/index.php/productos/radioisotopos-y-radiofarmacos>

International Agency for Research on Cancer. (2020). Obtenido de Globocan.

International Agency for Research on Cancer. (2020). *Estimated age-standardized incidence rates (World) in 2020, all cancers, both sexes, all ages*. Obtenido de Globocan: [https://gco.iarc.fr/today/online-analysis-multi-bars?v=2020&mode=population&mode\\_population=countries&population=900&populations=900&key=asr&sex=0&cancer=39&type=0&statistic=5&prevalence=0&population\\_group=2&ages\\_group%5B%5D=0&ages\\_group%5B%5D=17&nb\\_items](https://gco.iarc.fr/today/online-analysis-multi-bars?v=2020&mode=population&mode_population=countries&population=900&populations=900&key=asr&sex=0&cancer=39&type=0&statistic=5&prevalence=0&population_group=2&ages_group%5B%5D=0&ages_group%5B%5D=17&nb_items)

International Agency for Research on Cancer. (2020). *Estimated number of incident cases all cancers, both sexes, all ages*. Obtenido de Globocan: [https://gco.iarc.fr/today/online-analysis-multi-bars?v=2020&mode=population&mode\\_population=countries&population=900&populations=900&key=total&sex=0&cancer=39&type=0&statistic=5&prevalence=0&population\\_group=0&ages\\_group%5B%5D=0&ages\\_group%5B%5D=17&nb\\_ite](https://gco.iarc.fr/today/online-analysis-multi-bars?v=2020&mode=population&mode_population=countries&population=900&populations=900&key=total&sex=0&cancer=39&type=0&statistic=5&prevalence=0&population_group=0&ages_group%5B%5D=0&ages_group%5B%5D=17&nb_ite)

International Agency for Research on Cancer. (2020). *Estimated number of incident cases all cancers, both sexes, all ages*. Obtenido de Globocan: [https://gco.iarc.fr/today/online-analysis-multi-bars?v=2020&mode=population&mode\\_population=countries&population=900&populations=900&key=total&sex=0&cancer=39&type=0&statistic=5&prevalence=0&population\\_group=2&ages\\_group%5B%5D=0&ages\\_group%5B%5D=17&nb\\_ite](https://gco.iarc.fr/today/online-analysis-multi-bars?v=2020&mode=population&mode_population=countries&population=900&populations=900&key=total&sex=0&cancer=39&type=0&statistic=5&prevalence=0&population_group=2&ages_group%5B%5D=0&ages_group%5B%5D=17&nb_ite)

- International Agency for Research on Cancer. (2020). *Estimated number of new cases in 2020, worldwide, both sexes, all ages*. Obtenido de Globocan: [https://gco.iarc.fr/today/online-analysis-pie?v=2020&mode=cancer&mode\\_population=continents&population=900&populations=900&key=total&sex=0&cancer=39&type=0&statistic=5&prevalence=0&population\\_group=0&ages\\_group%5B%5D=0&ages\\_group%5B%5D=17&nb\\_items=7&group](https://gco.iarc.fr/today/online-analysis-pie?v=2020&mode=cancer&mode_population=continents&population=900&populations=900&key=total&sex=0&cancer=39&type=0&statistic=5&prevalence=0&population_group=0&ages_group%5B%5D=0&ages_group%5B%5D=17&nb_items=7&group)
- International Atomic Energy Agency. (2008). *Perfil Estratégico Regional para América Latina y El Caribe (PER) 2007-2013. Salud Humana en América Latina y el Caribe a la luz del PER*.
- INVAP. (2011). Obtenido de Finaliza exitosamente la puesta en marcha de la planta de producción de radioisótopos de Egipto: <https://www.invap.com.ar/finaliza-exitosamente-la-puesta-en-marcha-de-la-planta-de-produccion-de-radioisotopos-de-egipto/>
- INVAP. (2015). Obtenido de Ciencia y Tecnología en Argentina: <http://cienciaytecnologiaenargentina.blogspot.com/2015/09/egipto-inauguro-una-planta-de.html>
- INVAP. (2019). Recuperado el 30 de Julio de 2019, de RP-10 de Perú: <http://www.invap.com.ar/es/area-nuclear-de-invap/proyectos/reactor-rp10-de-peru.html>
- INVAP. (s.f.). *Reactor ETRR-2 de Egipto*. Obtenido de <https://www.invap.com.ar/areas/nuclear/reactor-etrr-2-de-egipto/>
- Isotope - Regional Alliance, Joint Stock Company. (2022). *About the Company*. Obtenido de <http://www.isotop.ru/en/about/>
- Isotope - Regional Alliance, Joint Stock Company. (2022). *Isotope product supplies to domestic and foreign markets*. Obtenido de <http://www.isotop.ru/en/about/activity/deliveries-isotope-products/>
- Isotope - Regional Alliance, Joint Stock Company. (s.f.). *Medical isotopes and products*. Obtenido de <http://www.isotop.ru/en/production/medical/>

- Jaureguiberry, M. (2004). *¿Qué es la Capacitación?*
- Jiménez, G. (2012). *Análisis Integrado de Seguridad de un accidente de SGTR en un reactor nuclear tipo PWR*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Juárez, R. (2020). *¿Qué es la Gestión de Mantenimiento?*
- Luiz da Paz, A. (2016). *La Historia de la Producción de Radio fármacos en IPEN. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares*.
- Mantenimiento Blogspot. (2015). *¿Qué es el Mantenimiento Reactivo?* Obtenido de <http://solomantenimiento.blogspot.pe/2015/03/que-es-el-mantenimiento-reactivo.html>
- Martón, I. (2015). *Gestión de la operación, vigilancia y mantenimiento de equipos de seguridad de centrales nucleares a corto y largo plazo*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Menéndez, F., Fernandez, F., Llana, F., Vásquez, I., Rodríguez, J., & Espeso, M. (2009). *Formación superior en prevención de riesgos laborales*. España: Lex Nova.
- Ministerio de Energía y Minas. (2008). *Reglamento de la Ley N° 28028: Ley de Regulación del Uso de Fuentes de Radiación Ionizante*. Perú.
- Ministerio de Energía y Minas. (2016). *Plan Estratégico Sectorial Multianual PESEM 2016-2021, Evaluación al II Semestre 2016*. Perú.
- Ministerio de Energía y Minas. (2016). *Plan Estratégico Sectorial Multianual - PESEM 2016-2012*. Perú.
- Ministerio de Energía y Minas. (2017). *Plan Estratégico Sectorial Multianual PESEM 2016-2021, Evaluación al II Semestre 2017*. Ministerio de Energía y Minas, Perú.
- Ministerio de Energía y Minas. (2019). *Diagnóstico de brechas del sector energía y minas*. Perú.

- Moscoso, R. (2017). *Programa de control del mantenimiento proactivo y correctivo en equipos mecánicos del transporte de hidrocarburos en el Ecuador*. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Mosquera, G. (2015). *Optimización de proyectos de mantenimiento de redes de distribución eléctrica basado en el riesgo de la ocurrencia de fallas de sus equipos*. Cuenca: Institucional Universidad de Cuenca.
- Neffa, J. C. (2015). *Los riesgos Psicosociales en el Trabajo* (Primera ed., Vol. I). Buenos Aires, Argentina: Ceil Conicet. Recuperado el 20 de Julio de 2021, de <http://www.cyted.org/sites/default/files/Los%20riesgos%20psicosociales%20en%20el%20trabajo.pdf>
- Nieto, H. (2011). *Modelo de optimización para el mantenimiento proactivo de los equipos críticos de un tren de laminación en frío basado en RCM*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- Novillo, A. (2013). *Análisis de las especificaciones PAS-55:2008 como aporte a la gestión de activos físicos en las ensambladoras automotrices del Ecuador*. Quito: Universidad Politécnica Salesiana.
- NTP Radioisotopes SOC. (2018). *Integrated production, processing and distribution of radiochemicals & radiopharmaceuticals*. Obtenido de <https://www.ntp.co.za/ntp-facilities/>
- NTP Radioisotopes SOC. (2018). *Radiopharmaceuticals*. Obtenido de <https://www.ntp.co.za/radiopharmaceuticals/>
- Organismo Internacional de Energía Atómica . (2017). Jamaica. *Research Reactors in Latin America and the Caribbean*, 25 - 26.
- Organismo Internacional de Energía Atómica. (2006). *Guía de Seguridad N° NS-G-4.2 "Maintenance, Periodic Testing and Inspection of Research Reactors"*. Viena.
- Organismo Internacional de Energía Atómica. (20120). *Research Reactor Database*. Obtenido de <https://nucleus.iaea.org/rrdb/#/home>

- Organismo Internacional de Energía Atómica. (2017). Brazil. *Research Reactors in Latin America and the Caribbean*, 19 - 20.
- Organismo Internacional de Energía Atómica. (2017). *Strategic Planning for Research Reactors*.
- Organismo Internacional de Energía Atómica. (2018). *Glosario de Seguridad del OIEA: Terminología empleada en seguridad nuclear*. Viena.
- Organismo Internacional de Energía Atómica. (2018). *Reactores de Investigación*.  
Obtenido de <https://www.iaea.org/es/temas/reactores-de-investigacion>
- Organismo Internacional de Energía Atómica. (2020). Algeria. *Research Reactors*, 3 - 4.
- Organismo Internacional de Energía Atómica. (2020). Egipto. *Research Reactors in Africa*, 7 - 8.
- Organismo Internacional de Energía Atómica. (2020). Ghana. *Research Reactors in Africa*, 9 - 10.
- Organismo Internacional de Energía Atómica. (2020). Nigeria. *Research Reactors in Africa*, 15 -16.
- Organismo Internacional de Energía Atómica. (2020). Sudáfrica. *Research Reactors in Africa*, 18 - 19.
- PALLAS. (2022). Obtenido de <https://www.pallasreactor.com/en/en-pallas-van-levensbelang-voor-miljoenen/>
- PALLAS. (2022). Obtenido de Trends and developments:  
<https://www.pallasreactor.com/en/medical-isotopes/trends-and-developments/>
- Pedrozo, M., Giménez, G., Velásquez, G., Galván, P., & Grossling, B. (2014). Medicina Nuclear en el Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Salud, Universidad Nacional de Asunción (IICS–UNA): Estado actual y proyecciones. 91 - 103.

- Pérez, A., & Carrasquilla, E. (2013). *Costeo del Ciclo de Vida de un Activo: Proyecto Unidad Constructiva*. Medellín: Universidad EAFIT.
- Plataforma digital única del Estado Peruano. (2022). Obtenido de <https://www.gob.pe/22194-gestion-por-procesos-en-entidades-publicas>
- Plataforma digital única del Estado Peruano. (2022). Obtenido de <https://www.gob.pe/23110-gestion-de-la-calidad-de-servicios>
- Presidencia del Consejo de Ministros. (2013). *Política Nacional de Modernización de la Gestión Pública*. Lima.
- Rojas, R. (2010). *Plan para la Implementación del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) para Plantas de Concreto en Proyectos del ICE (Instituto Costarricense de Electricidad)*. San José: Universidad para la Cooperación Internacional.
- Salas. (2020). El desarrollo de los radiofármacos en Chile. *La Tercera*, pág. 6.
- Sánchez - Rodríguez, Á. (2010). La gestión de los activos físicos en la función mantenimiento. *Ingeniería Mecánica*.
- Silva, J. (2005). Implantación del TPM en la zona de enderezadoras de Aceros Arequipa.
- Sipowicz, J. (2015). *Proceso de generación de información para la gestión del mantenimiento mecánico*. Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba.
- Tielens, T., Van der Lugt, H., Rood, A., & Geldermans, A. (2020). Towards a robust supply chain for medical radioisotopes. *International Atomic Energy Agency (IAEA)*.
- Tillería, L. (2019). *Estudio de criticidad cuantitativa de los activos en Eden-Yuturi production facilities EPF Petroamazonas*. Quito: Universidad San Francisco de Quito.
- Tuarez, C. (2013). *Diseño de un sistema de mejora continua en una embotelladora y comercializadora de bebidas gaseosas de la ciudad de Guayaquil por medio de la aplicación del TPM (Mantenimiento Productivo Total)*. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral.

Villanueva, J. (2011). *Optimización Evolutiva y Multiobjetivo en base a criterios RAMS+C para Centrales Nucleares*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.

Zaparolli, D. (2021). Radiofármacos en peligro. *Revista Pesquisa*. Obtenido de <https://revistapesquisa.fapesp.br/es/radiofarmacos-en-peligro/>

## Anexos

### Anexo 1: Matriz de consistencia

Problemas	Objetivos	Producto	Conclusiones	Recomendaciones
<p>PG: Inadecuada gestión en el Departamento Mantenimiento de la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares del Instituto Peruano de Energía Nuclear.</p>	<p>OG: Optimizar la gestión en el Departamento Mantenimiento de la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares del Instituto Peruano de Energía Nuclear.</p>		<p>La gestión de mantenimiento resulta esencial en cualquier tipo de industria; dado que, permite reducir costos, ganar confiabilidad y mejorar de manera continua la productividad. Por ello, esta gestión es de vital importancia en las instituciones públicas, en especial en aquellas que brindan servicios directos a los ciudadanos considerando que el mantenimiento constituye uno de los principales procesos soporte de todo proceso misional. Una adecuada gestión de mantenimiento permite garantizar la continuidad operativa y segura de las actividades de las instituciones.</p> <p>Se visualizó un problema de larga data en el Instituto Peruano de Energía Nuclear, identificado en una inadecuada gestión en el Departamento Mantenimiento de la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares del Instituto Peruano de Energía Nuclear; planteándose para ello, elaborar un programa de mantenimiento actualizado en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares, procedimientos de</p>	<p>Se recomienda optimizar la gestión en el Departamento Mantenimiento de la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares del Instituto Peruano de Energía Nuclear en base al presente trabajo de investigación, considerando que ello brindará sostenibilidad a las operaciones del reactor de investigación, contribuyendo al cumplimiento de la misión de la institución, y su finalidad pública.</p>

Problemas	Objetivos	Producto	Conclusiones	Recomendaciones
			<p>liberación de estructuras, componentes y sistemas para la operación del reactor nuclear de investigación RP-10, el manual de mantenimiento actualizado en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares y capacitar a los recursos humanos para asegurar la continuidad del mantenimiento en la operación del reactor de investigación.</p>	
<p>PE 1: Programa de mantenimiento desactualizado en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares.</p>	<p>OE 1: Actualizar el Programa de mantenimiento en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares.</p>	<p><b>PRODUCTO Nº 1: Programa de mantenimiento actualizado en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares</b></p>	<p>Se identificó que el programa de mantenimiento de la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares se encontraba desactualizado; por ello, se elaboró un programa de mantenimiento actualizado en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares el mismo que ha permitido contar con la información necesaria para efectuar las labores de mantenimiento en cada uno de los equipos, componentes y sistemas del reactor nuclear de investigación RP-10.</p>	<p>Se recomienda implementar el programa de mantenimiento actualizado en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares, a través del cual se podrá fiar la disponibilidad de los equipos, sistemas y componentes del reactor nuclear RP-10</p>
<p>PE 2: Inexistencia de procedimiento de liberación de estructuras, componentes y sistemas para la operación del reactor nuclear de investigación RP-10.</p>	<p>OE 2: Elaboración de procedimiento de liberación de estructuras, componentes y sistemas para la operación del reactor nuclear de investigación RP-10.</p>	<p><b>PRODUCTO Nº 2: Procedimiento de liberación de estructuras, componentes y sistemas para la operación del reactor nuclear de investigación RP-10.</b></p>	<p>Debido a la inexistencia de procedimiento de liberación de estructuras, componentes y sistemas para la operación del reactor nuclear de investigación RP-10, se elaboró procedimientos de liberación de estructuras, componentes y sistemas para la operación del reactor nuclear de</p>	<p>Debido a la inexistencia de procedimientos de liberación de estructuras, componentes y sistemas para la operación del reactor nuclear de investigación RP-10, se recomienda implementar cada uno de los procedimientos de liberación de estructuras, componentes y sistemas para la operación del reactor nuclear</p>

<b>Problemas</b>	<b>Objetivos</b>	<b>Producto</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>Recomendaciones</b>
			investigación RP-10. Con ello, se garantiza la disponibilidad y confiabilidad de cada uno de los equipos, componentes y sistemas del reactor nuclear de investigación RP-10 que permite asegurar la continuidad de sus operaciones de irradiación para la producción de radiofármacos destinados a la medicina nuclear.	de investigación RP-10 que permita cumplir con las operaciones del reactor, y por ende con las actividades consideradas en el Plan Operativo Institucional.
PE 3: Manual de mantenimiento desactualizado en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares.	OE 3: Actualizar el Manual de mantenimiento d en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares.	<b>PRODUCTO N° 3: Manual de mantenimiento actualizado en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares</b>	Debido a que el Manual de mantenimiento desactualizado en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares, se elaboró el manual de mantenimiento actualizado en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares que permitió mapear las actividades que conforman la gestión de mantenimiento en la unidad organiza indicada.	Se sugiere implementar las actividades señaladas en el manual de mantenimiento actualizado en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares con el fin de contar con una herramienta de gestión necesaria para el desempeño óptimo del Departamento Mantenimiento, maximizando su contribución a los procesos misionales de la institución.
PE 4: No se cuenta con recursos humanos capacitados y licenciados que aseguren la continuidad del mantenimiento en la operación del reactor de investigación.	OE 4: Disponer de recursos humanos capacitados y licenciados que aseguren la continuidad del mantenimiento en la operación del reactor de investigación.	<b>Producto N° 4: Programa de capacitación para el personal del departamento de mantenimiento</b>	Dado que no se contaba con recursos humanos capacitados que aseguren la continuidad del mantenimiento en la operación del reactor de investigación, se capacitó a los recursos humanos para asegurar la continuidad del mantenimiento en la operación del reactor de investigación	A fin de contar con recursos humanos capacitados y licenciados que aseguren la continuidad del mantenimiento en la operación del reactor de investigación, se recomienda llevar a cabo el programa de capacitación planteado garantizando el principal recurso de la institución y la continuidad de sus operaciones

## Anexo 2: Glosario de Términos

### 1. **Cáncer.**

El cáncer empieza en las células cuando se reproducen descontroladamente sin que el cuerpo las necesite y las células viejas no mueren, formando masas de tejido conocidas como tumores. (Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, 2015)

### 2. **Capacitación.**

Proceso que posibilita al capacitando la apropiación de ciertos conocimientos, capaces de modificar los comportamientos propios de las personas y de la organización a la que pertenecen. La capacitación es una herramienta que posibilita el aprendizaje y por esto contribuye a la corrección de actitudes del personal en el puesto de trabajo. (Jaureguiberry, 2004)

### 3. **Curie.**

Representa una intensidad de actividad radiactiva correspondiente a  $3.7 \times 10^{10}$  desintegraciones por segundo (o también la actividad de un gramo de radio). (Menéndez, y otros, 2009)

### 4. **Dosis radiactiva.**

Actividad de un radiofármaco expresada en Becquerel (Bq) o Curie (Ci) para realizar un estudio diagnóstico o producir un efecto terapéutico. (Dirección General de Medicamentos, 2018).

### 5. **Energía Nuclear.**

Energía que se libera desde el núcleo o parte central de los átomos, que consta de protones y neutrones. Esta fuente de energía puede producirse de dos maneras: mediante fisión (cuando los núcleos de los átomos se dividen en varias partes) o mediante fusión (cuando estos se fusionan). (Galindo, 2021)

## **6. Estructuras, sistemas y componentes (ESC)**

Término general que abarca todos los elementos de una instalación. Las estructuras son los elementos pasivos: edificios, vasijas, blindajes, etc. Un sistema comprende varios componentes o estructuras, montados de tal manera que desempeñen una función específica. (Organismo Internacional de Energía Atómica, 2018)

## **7. Gestión del Mantenimiento.**

La gestión del mantenimiento está asociada a la dirección y organización de diversos recursos para controlar la disponibilidad y el rendimiento de la unidad industrial a un nivel determinado. Las actividades de mantenimiento están relacionadas con la reparación, sustitución y mantenimiento de componentes o de algún grupo identificable de activos en una planta, de modo que pueda seguir funcionando con una «disponibilidad» específica durante un período determinado. (Juárez, 2020)

## **8. Inspección.**

Un examen, observación, medición o ensayo realizado para evaluar estructuras, sistemas y componentes y materiales, así como las actividades operativas, los procesos técnicos, los procesos organizativos procedimientos y competencia del personal. (Organismo Internacional de Energía Atómica, 2006)

## **9. Límites y condiciones operacionales.**

Un conjunto de normas que establecen los límites de los parámetros, la capacidad funcional y los niveles de rendimiento de los equipos y personal aprobados por el organismo regulador para el funcionamiento seguro de una instalación autorizada. (Organismo Internacional de Energía Atómica, 2006)

## **10. Mantenimiento.**

La actividad organizada, tanto administrativa como técnica, de mantener las estructuras, sistemas y componentes en buen estado de funcionamiento,

incluyendo los aspectos preventivos y correctivos (o de reparación). (Organismo Internacional de Energía Atómica, 2006)

#### **11. Operación.**

Todas las actividades realizadas para lograr el propósito para el que se construyó una instalación autorizada. (Para un reactor de investigación, esto incluye el mantenimiento, la recarga de combustible y otras actividades asociadas). (Organismo Internacional de Energía Atómica, 2006)

#### **12. Procedimiento de liberación de estructuras, sistemas y componentes.**

Documento que tiene por finalidad establecer las pautas para la liberación de los equipos y sistemas para la operación, incluyendo inspecciones y pruebas periódicas.

#### **13. Pruebas periódicas.**

Inspecciones, comprobaciones de operatividad y calibraciones realizadas en valores de los parámetros, estructuras, sistemas y componentes para verificar el cumplimiento de los límites y condiciones operativas y para garantizar la adecuación del estado de seguridad del reactor. (Organismo Internacional de Energía Atómica, 2006)

#### **14. Reactor nuclear.**

Instalación capaz de iniciar, mantener y controlar las reacciones nucleares de fisión en cadena que tienen lugar en el núcleo del reactor. Está formado por el combustible, el refrigerante, los elementos de control, materiales estructurales y moderador (en el caso de los reactores “térmicos”). (Foro Nuclear, s.f.)

#### **15. Reactor Nuclear de Investigación.**

Un reactor nuclear utilizado principalmente para la generación y de neutrones y radiación ionizante para la investigación y otros fines. (Organismo Internacional de Energía Atómica, 2006)

**Anexo 3: Producto N° 1: Programa de mantenimiento actualizado en la Sub  
Dirección de Operación de Reactores Nucleares**

**PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DEL  
REACTOR NUCLEAR RP-10  
AÑO 2022**

	<b>Cargo o Función</b>	<b>Nombre</b>	<b>Firma</b>	<b>Fecha</b>
<b>Aprobado por:</b>	Sub director de RENU			
<b>Revisado por GCAL:</b>	Responsable Funcional de GCAL			
<b>Revisado por Dpto.:</b>	Responsable Funcional de MARE			
<b>Elaborado por:</b>	Especialista en Mantenimiento			

**1. OBJETIVO**

El programa de mantenimiento preventivo es la programación de mantenimientos a ejecutar en los sistemas del Reactor Nuclear de Investigación RP-10, teniendo como objetivo principal el de prevenir los principales fallos que puede tener el Reactor RP-10.

**2. ALCANCE**

El programa de mantenimiento preventivo es aplicable a todos los sistemas que están involucrados en la operación del reactor.

**3. REFERENCIAS**

- [1] International Atomic Energy Agency, Maintenance, Periodic Testing and Inspection of Research Reactors, IAEA Safety Standards Series N° NS-G-4.2, IAEA, Vienna, 2006.
- [2] Instituto Peruano de Energía Nuclear, Informe de Análisis de Seguridad del “RP-10”, Capítulo 1: “Introducción y Descripción General de la Instalación”. Código: DRN-CAS-AS-101-1. Lima, octubre 2018.
- [3] Instituto Peruano de Energía Nuclear, Dirección de Producción, Departamento de Mantenimiento, “Manual de Mantenimiento del Reactor RP-10”, Lima - Perú, 2015.
- [4] International Atomic Energy Agency, Good Practices for Water Quality Management in Research Reactors and Spent Fuel Storage Facilities, IAEA Series N° NP T 52, IAEA, Vienna, 2011.
- [5] Gestión del mantenimiento, Sexto L., Radical Management – Mobius Institute, 2020.

#### 4. DEFINICIONES Y ABREVIATURAS

- **Componente/Equipo:** es el sub conjunto funcional de menor nivel, superior al de la parte o pieza, ubicado dentro de un equipo o en montaje común, capaz de operar independientemente.
- **Dosis radiactiva:** Actividad de un radiofármaco expresada en Becquerel (Bq) o Curie (Ci) para realizar un estudio diagnóstico o producir un efecto terapéutico.
- **Estructuras, sistemas y componentes (ESC):** Término general que abarca todos los elementos de una instalación. Las estructuras son los elementos pasivos: edificios, vasijas, blindajes, etc. Un sistema comprende varios componentes o estructuras, montados de tal manera que desempeñen una función específica.
- **Inspección:** Un examen, observación, medición o ensayo realizado para evaluar estructuras, sistemas y componentes y materiales, así como las actividades operativas, los procesos técnicos, los procesos organizativos procedimientos y competencia del personal.
- **Mantenimiento:** La actividad organizada, tanto administrativa como técnica, de mantener las estructuras, sistemas y componentes en buen estado de funcionamiento, incluyendo los aspectos preventivos y correctivos (o de reparación).
- **Operación:** Todas las actividades realizadas para lograr el propósito para el que se construyó una instalación autorizada. (Para un reactor de investigación, esto incluye el mantenimiento, la recarga de combustible y otras actividades asociadas).
- **Sistema:** Es la mayor división funcional de una planta, integrada por subsistemas, componentes, conjuntos y partes o piezas que tienen una relación directa entre sí, necesarias para realizar una o más funciones específicas.

#### 5. DESARROLLO

Se presenta el Programa de Mantenimiento Preventivo para el año 2022 del Reactor Nuclear RP-10. En el presente documento se indica las frecuencias de intervención de los equipos, sistemas y componentes (ESC) que conforman el reactor.

Los sistemas implicados en este plan están desarrollados en la referencia [2]; por lo que, solo se indicarán los trabajos a ser efectuados. La frecuencia de intervención de mantenimiento serán las siguientes:

- Anual
- Semestral
- Trimestral
- Mensual
- Quincenal
- Semanal

Además, se presenta el programa anual, donde se evidencia la totalidad de 174 tareas a desarrollarse, divididas de la siguiente manera:

- Mecánica: 68 tareas a cargo con un total anual de 324 intervenciones.
- Eléctrica: 35 tareas a cargo con un total anual de 118 intervenciones.
- Instrumentación y control: 28 tareas a cargo con un total anual de 224 intervenciones.
- Química de Reactores: 43 tareas a cargo con un total anual de 510 intervenciones.

Teniendo como referencia lo señalado por Sexto F. (2020) en su artículo “Gestión del mantenimiento: ¿Cómo determinar la frecuencia de mantenimiento?”; para la elaboración del presente programa se ha tomado en cuenta los siguientes criterios:

- a. **Criterio de Fabricante:** en la adquisición de equipos y/o herramientas se adjunta manuales de operación y mantenimiento para que se conserve la confiabilidad y mantenibilidad; dichos programas son considerados en el mantenimiento preventivo. (s/n)
- b. **Criterio analítico estadístico** (técnicas de análisis y modelos probabilísticos de fallos): en este criterio se sintetiza la experiencia que brinda el historial de fallas e intervenciones asociadas con los activos combinado con técnicas de análisis cualitativo de fallos. (s/n)
- c. **Criterio basado en la experiencia** (juicio de expertos): este criterio está basado en la experiencia del personal relacionado tiene ventajas fundamentales. Es el criterio que puede combatir con más efectividad a los fallos inducidos por errores de operación y mantenimiento y garantizar las condiciones de ejercicio que respeten las exigencias de seguridad y ambientales. (s/n)
- d. **Criterio de evaluación de la condición** (resultado de diagnósticos): La evaluación de la condición es un criterio principal para determinar y ajustar frecuencias de actividades de mantenimiento. Es la base del mantenimiento basado en condición y fase inviolable para cualquier modelo de pronóstico de mantenimiento predictivo. (s/n)

*Respecto a las tareas 78 y 79 considerados en el Programa de Mantenimiento Preventivo Mecánico, correspondiente a inspeccionar el estado de grafitos dentro del tanque principal y efectuar la gestión*

*de los grafitos; así como, ejecutar la inspección de los elementos combustibles de control y seguridad del reactor se encuentran a cargo del Departamento de Operaciones con apoyo del Departamento Mantenimiento, en caso se requiera.*

*Para la optimización de las tareas mecánicas – eléctricas preventivas, los equipos fuera de funcionamiento como son: Grupo 4, Grupo 3, Acondicionador LD-E1 y Acondicionador SC.E2, no están siendo considerados en el programa anual; no obstante, se realiza una inspección visual general estructural y/o en funcionamiento si así fuera necesario.*

**5.1. MANTENIMIENTO PREVENTIVO MECANICO**

Tarea	Sistema	Equipo/Componente	Trabajo a Ejecutar	Frecuencia de Intervención	E N E	F E B	M A R	A B R	M A Y	J U N	J U L	A G O	S E T	O C T	N O V	D I C
1		Conducto radial 2/3/5	Inspeccionar correcto funcionamiento y estanqueidad del sistema	Anual				1								
			Regular amortiguador del cilindro de accionamiento del blindaje													
			Lubricar rueda del blindaje													
			Inspeccionar estanqueidad del sistema de accionamiento del blindaje													
2		Posicionador y blindaje de haz	Inspeccionar estado de cables de arrastre y engrasar	Semestral	1						1					
			Inspeccionar estado de ruedas de blindaje de haz													
			Inspeccionar y aceitar bujes de rotación de la lanza													
3		Conducto tangencial	Inspección, correcto funcionamiento estanqueidad del sistema de inundación	Semestral		1						1				
			Regulación del amortiguador de accionamiento del blindaje													
			Inspeccionar estado de sistema neumático de accionamiento de válvula de seguridad													
			Verificar correcto afilado de la cuchilla													
			Verificar correcto asiento de tapas y cubiertas													
4	Facilidades de Irradiación		Inspeccionar estanqueidad del sistema neumático del accionamiento del blindaje	Trimestral			1			1		1			1	
			Verificar estado de los contratos de interruptor de parada													
5		Conducto de neutrografía	Inspeccionar el correcto funcionamiento y estanqueidad del sistema de inundación	Semestral			1						1			
			Regulación del amortiguador cilíndrico de accionamiento del blindaje													
			Lubricación de las ruedas del blindaje desplazable													
			Verificar correcto tensado y estado del cable de elevación													
			Verificar correcto tensado y lubricación de cadena del mecanismo de izaje													
			Verificar adecuada fijación del acoplamiento de los ejes													
		Conducto de	Verificar adecuada fijación del cable al colimador	Semestral			1						1			



PROGRAMA

MANTENIMIENTO PREVENTIVO DEL REACTOR NUCLEAR RP-10, AÑO 2022

Código:  
Versión:  
Vigente desde:  
Página: de

Tarea	Sistema	Equipo/ Componente	Trabajo a Ejecutar	Frecuencia de Intervención	E N E	F E B	M A R	A B R	M A Y	J U N	J U L	A G O	S E T	O C T	N O V	D I C	
	Facilidades de Irradiación	neutrografía															
6		Periscopio	Inspeccionar movimiento angular suave	Semestral				1						1			
			Inspeccionar campo visual y nitidez de la imagen														
7	Mecanismo Especial	Mecanismo de control del reactor	Inspecciones en servicio	Cada operación	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
8			Probar funcionamiento de los mecanismos en el puente de mecanismos	Mensual	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
9			Mantenimiento total de mecanismos	Anual										1			
10			Mantenimiento, ajuste y revisión de tenedores de barras de control y seguridad	Anual													1
11	Mecanismo Auxiliar	Puente auxiliar desplazable	Mantenimiento general	Anual				1									
12		Puerta de celda caliente	Inspeccionar libre giro de la puerta	Anual						1							
13		Compuerta de aislación	Inspeccionar estado del burlete y ajuste de pernos	Anual										1			
14		Herramientas especiales	Desacoplar tramos y útiles de herramientas de núcleo/pileta auxiliar	Semestral					1							1	
15		Pluma telescópica	Verificar correcto movimiento del equipo	Semestral					1							1	
16	Transporte de	Caja reductora	Lubricar	Anual												1	

Tarea	Sistema	Equipo/ Componente	Trabajo a Ejecutar	Frecuencia de Intervención	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		
					N	E	A	B	A	U	U	G	E	C	O	C		
17	núcleo a pileta	de traslación																
		Caja reductora de izaje																
		Cable de izaje	Verificar su estado	Mensual	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		Carro de traslación	Verificar adecuado desplazamiento															
		Microswitch límite de carrera	Verificar correcto accionamiento															
18	Transporte de pileta a celda caliente	Reductor	Lubricar, inspeccionar nivel de aceite	Anual							1							
19		Cable de izaje	Verificar estado del cable	Mensual	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
20		Telemanipuladores	Verificar, regular límites de carrera (microswitch). Inspección electromecánica, lubricación y regulación de tenazas	Trimestral		1			1			1				1		
21	Primario	Intercambiadores de calor A/B/C	Engrasar pernos de apriete y rodillos de placas de presión	Anual			1											
22			Inspeccionar estado interior de placas y juntas	3 años										1				
23			Mantenimiento de manómetros lado primario y secundario	Bimestral	1		1		1		1		1			1		
24		Bombas A/B/C	Inspeccionar y controlar nivel de aceite, falta de grasa y estado de cojinetes (bomba y volante)	Mensual	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
			Medir temperatura de rodamientos y sellos															
			Medir vibraciones en caja de rodamientos															
25		Bombas A/B/C	Inspeccionar y limpiar interiores de cojinetes de volante	Semestral							1							1
	Cambiar grasa de cojinetes de las bombas (lado bomba y lado volante)																	
26	Válvulas	Comprobar apriete de tornillos, tuercas, de tapas y de bridas	Trimestral				1			1			1				1	
		Inspeccionar pérdida de agua por estópero y juntas de tapas y bridas																



**PROGRAMA**

**MANTENIMIENTO PREVENTIVO DEL REACTOR NUCLEAR RP-10, AÑO 2022**

Código:  
Versión:  
Vigente desde:  
Página: de

Tarea	Sistema	Equipo/Componente	Trabajo a Ejecutar	Frecuencia de Intervención	E N E	F E B	M A R	A B R	M A Y	J U N	J U L	A G O	S E T	O C T	N O V	D I C		
	Primario		Lubricar hilos de roscas exteriores del vástago															
			Engrasar caja de rodamientos															
			Inspeccionar posición y ajuste de soporte de tuberías															
27		Piletas de la torre de enfriamiento A/B/C	Lubricar caja de motoreductores	Anual				1										
			Inspeccionar estado de relleno separador de gotas y toberas															
28			Verificar nivel de aceite e inspeccionar pérdida de aceite en eje de salida y entrada	Mensual	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
29	Secundario	Válvulas	Comprobar apriete de tornillos, tuercas, tapas y bridas	Trimestral	1			1			1			1				
			Inspeccionar pérdida de agua por estópero y juntas de tapas y bridas (semanal)															
			Lubricar hilos de roscas exteriores del vástago															
			Engrasar rodamientos															
			Inspeccionar posición y ajuste de soporte de tuberías															
30		Bombas A/B/C	Inspeccionar y limpiar interiores de cojinetes de volante	Mensual	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
			Medida de temperatura en caja de rodamientos y tapa de sellos															
			Medida de vibraciones en caja de rodamientos															
31			Cambiar grasa de cojinetes de las bombas	Semestral	1					1								
32	Aire comprimido	Compresor A/B/C	Inspección: lecturas en pantalla, descarga de condensado y punto de rocío	Cada operación	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4		
33			Inspección: caída de presión, filtros, refrigeradores	Trimestral			1			1			1				1	
34			Limpieza de compresor	Semestral						1								1
35			Reemplazo de filtros de aspiración de aire, inspeccionar: válvulas de seguridad, tensión y condición de correas trapezoidales	Anual											1			
36		Secador	Inspección interna de trampa de condensado	Semestral		1						1						
37	Eléctrico convencional	Grupo generador de Emergencia	Comprobar nivel de aceite y refrigerante	Mensual	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1		
38			Comprobar nivel del pH, si es de aplicación la densidad del refrigerante. Verificar condición de aceite	Semestral			1						1					
39			Desmontar los inyectores e inspeccionarlos. Vaciar y lavar sistema de refrigeración y llenar refrigerante. Limpiar el respirador del cárter	Anual							1							

Tarea	Sistema	Equipo/ Componente	Trabajo a Ejecutar	Frecuencia de Intervención	E N E	F E B	M A R	A B R	M A Y	J U N	J U L	A G O	S E T	O C T	N O V	D I C	
40	Provisión de agua	Bombas P-5-01/02/03/04/05	Verificar nivel de aceite P-5-01/02/03/04/05 y rotación de ejes	Trimestral			1			1			1			1	
41	Purificación de agua	Bombas P-6-01/A/B, P-6-02/03	Verificar nivel de aceite P-6-01/A y B, P-6-02/03 y rotación de ejes	Trimestral	1			1			1			1			
42	Colchón caliente	Bomba P-7-01	Verificar nivel de aceite P-7-01 y rotación de ejes	Trimestral		1			1			1			1		
43	Efluentes activos	Bombas P-8-01/02A,02B/03	Verificar nivel de aceite P-8-01/02A,02B/03 y rotación de ejes	Trimestral			1			1			1			1	
44	Enfriamiento de agua	Bombas 1/2	Lubricación/inspección electro-mecánica	Trimestral	1			1			1			1			
45		Unidad enfriadora	Lubricación/inspección electro-mecánica	Trimestral		1			1			1			1		
46	Aire comprimido	Compresores de aire 1/2	Inspección: filtros, rejillas de prefiltrado, refrigerador, y limpieza de compresor	Trimestral	1			1			1			1			
47			Inspección: válvulas de seguridad y existencia de fugas de aire. Inspección y limpieza de purgador electrónico	Semestral						1							1
48			Reemplazo de filtros de aspiración de aire, inspeccionar: tensión y condición de correas trapezoidales	Anual												1	
49	Extracción Reactor Grupo 9	Ventiladores 1/2	Lubricación/inspección electro-mecánica	Semestral				1						1			
50		Serpentina de enfriamiento	Inspección general electro-mecánica	Semestral					1						1		
51		Calefactor eléctrico	Inspección general	Trimestral		1			1			1			1		
52		Caja de filtros	Registro de presión diferencial	Trimestral			1			1			1			1	
53	Homogenizador reactor Equipo 7	Ventiladores 1/2	Lubricación/inspección electro-mecánica	Semestral						1						1	
54		Serpentina de enfriamiento	Inspección general	Semestral	1						1						



**PROGRAMA**

**MANTENIMIENTO PREVENTIVO DEL REACTOR NUCLEAR RP-10, AÑO 2022**

Código:  
Versión:  
Vigente desde:  
Página: de

Tarea	Sistema	Equipo/Componente	Trabajo a Ejecutar	Frecuencia de Intervención	E N E	F E B	M A R	A B R	M A Y	J U N	J U L	A G O	S E T	O C T	N O V	D I C	
55		Filtros	Registro de presión diferencial	Trimestral	1			1			1			1			
56	Inyección reactor Equipo 8	Ventilador	Lubricación/inspección electro-mecánica	Semestral		1						1					
57		Filtros	Registro de presión diferencial	Trimestral		1			1			1			1		
58	Homogenizador Hall G	Ventilador	Lubricación/inspección electro-mecánica	Semestral			1						1				
59	Extracción campana Grupo 5	Ventiladores 1/2	Lubricación/inspección electro-mecánica	Semestral				1						1			
60		Caja de filtros	Registro de presión diferencial	Trimestral			1			1			1			1	
61	Sistema contra Incendio	Detectores	Inspección general y pruebas de funcionamiento	Semestral		1						1					
62	Ventilación accesorios	Actuadores neumáticos y bandejas de control	Verificar operatividad	Semestral						1						1	
63		Clapetas de cierre hermético	Lubricar	Semestral	1						1						
64		Rejillas de Extracción e Inyección	Limpieza general	Anual											1		
65		Persianas movimiento opuesto	Verificar operatividad	Anual												1	
66		Transporte de muestras neumático	Dosificadores RP 1/3	Verificar nivel de aceite	Trimestral												
	Mangueras de aire		Verificar estanqueidad														
	RP-10-ME-75		Verificar microswitch de límite de carrera				1			1			1			1	
	Derivadores IN/REC		Verificar pistones y válvulas de accionamiento														
	Estación de conteo 3		Verificar microinterruptores														



**PROGRAMA**

**MANTENIMIENTO PREVENTIVO DEL REACTOR NUCLEAR RP-10, AÑO 2022**

Código:  
 Versión:  
 Vigente desde:  
 Página: de

Tarea	Sistema	Equipo/Componente	Trabajo a Ejecutar	Frecuencia de Intervención	E N E	F E B	M A R	A B R	M A Y	J U N	J U L	A G O	S E T	O C T	N O V	D I C
		Detectores paso de muestras	Verificar estado													
67	Reflectores (*)	Grafitos	Inspeccionar el estado de grafitos dentro de tanque principal	Anual											1	
		Berilio	Inspeccionar el estado de berilio dentro de tanque principal	Anual											1	
68	Elementos combustibles	Elementos combustibles de control y seguridad	Inspección de los elementos combustibles de control y seguridad del reactor.(1)	Anual												1

(\*)Se inspeccionarán los elementos combustibles cuando lleguen al 10% de quemado y así sucesivamente cada 10% adicional de quemado.

Total	E N E	F E B	M A R	A B R	M A Y	J U N	J U L	A G O	S E T	O C T	N O V	D I C
<b>Tareas</b>	19	18	22	20	18	24	20	18	23	21	22	25
<b>Intervenciones</b>	25	24	29	26	24	30	26	25	29	27	28	31



**PROGRAMA**

**MANTENIMIENTO PREVENTIVO DEL REACTOR NUCLEAR RP-10, AÑO 2022**

Código:  
Versión:  
Vigente desde:  
Página: de

**5.2. MANTENIMIENTO PREVENTIVO ELECTRICO**

Tarea	Sistema	Equipo/Componente	Trabajo a Ejecutar	Frecuencia de Intervención	EN	FE	MA	AB	MA	JU	JU	AG	SE	OC	NO	DI	
					E	B	R	R	Y	N	L	O	T	T	V	C	
69	Primario	Tablero Eléctrico	Limpieza, operatividad y evaluación de dispositivos	Semestral	1						1						
70		Motores de Bombas A/B/C	Limpieza, operatividad y mediciones	Semestral	1						1						
71	Secundario	Tablero Eléctrico	Limpieza, operatividad y evaluación de dispositivos	Semestral	1						1						
72		Motores de Bombas A/B/C	Limpieza, operatividad y mediciones	Semestral	1						1						
73		Tablero Eléctrico	Limpieza, operatividad y evaluación de dispositivos	Semestral	1						1						
74		Motores de Ventiladores A/B/C	Limpieza, operatividad y mediciones	Semestral		1							1				
75	Aire Comprimido	Tablero Eléctrico	Limpieza, operatividad y evaluación de dispositivos	Semestral		1						1					
76		Motores de Compresores 1/2/3	Limpieza, operatividad y mediciones	Semestral		1						1					
77	Transporte N-S.C.	Motor Elevación- Desplazamiento	Limpieza, operatividad y mediciones	Semestral			1						1				
78	Facilidades de irradiación	Motor de Neutrografía	Limpieza, operatividad y mediciones	Semestral			1						1				
79	Sala de Control	Tablero Eléctrico	Limpieza, operatividad y evaluación de dispositivos	Semestral		1						1					
80	Eléctrico N.C.	Tablero Eléctrico G.G.E.	Limpieza, operatividad y evaluación de dispositivos	Semestral			1						1				
81		Motor Grupo Generador de emergencia	Limpieza, operatividad y mediciones	Semestral						1						1	
82		Tablero de Emergencia	Limpieza, operatividad y evaluación de dispositivos	Semestral				1						1			
83		Tablero Eléctrico U.P.S.	Limpieza, operatividad y evaluación de dispositivos	Semestral				1							1		
84		Tablero Boca de Tanque	Limpieza, operatividad y evaluación de dispositivos	Semestral				1							1		
85		Baterías U.P.S.	Limpieza, operatividad y mediciones	Semestral	1							1					
86			Descarga y carga total	Anual								1					
87		Baterías Sub-Estación 2	Limpieza, operatividad y mediciones	Semestral		1							1				
88		Tablero Eléctrico Sub-Estación 2	Limpieza, operatividad y evaluación de dispositivos	Anual						1							



**PROGRAMA**

**MANTENIMIENTO PREVENTIVO DEL REACTOR NUCLEAR RP-10, AÑO 2022**

Código:  
Versión:  
Vigente desde:  
Página: de

Tarea	Sistema	Equipo/Componente	Trabajo a Ejecutar	Frecuencia de Intervención	EN	FE	MA	AB	MA	JU	JU	AG	SE	OC	NO	DI
					E	B	R	R	Y	N	L	O	T	T	V	C
89	Eléctrico N.C	Grupo Generador Eléctrico	Agua, aceite, combustible, arranque y operatividad	Semanal	5	4	4	4	5	4	5	4	4	5	4	4
90		Tablero de Emergencia Entrada 1 y 2	Limpieza, operatividad y evaluación de dispositivos	Semestral					1						1	
91	Provisión	Tablero Eléctrico	Limpieza, operatividad y evaluación de dispositivos	Semestral						1						1
92		Motor de Bombas P-501/2/3/4/5	Limpieza, operatividad y mediciones	Semestral				1						1		
93	Purificación	Tablero Eléctrico	Limpieza, operatividad y evaluación de dispositivos	Semestral						1						1
94		Motor de Bombas P-601-A/B/2/3	Limpieza, operatividad y mediciones	Semestral					1						1	
95	Colchón Caliente	Tablero Eléctrico	Limpieza, operatividad y evaluación de dispositivos	Semestral			1						1			
96		Motor de Bomba P-701	Limpieza, operatividad y mediciones	Semestral					1						1	
97	Efluentes Activos	Tablero Eléctrico	Limpieza, operatividad y evaluación de dispositivos	Semestral				1						1		
98		Motor de Bombas P-801/2A/2B/3	Limpieza, operatividad y mediciones	Semestral					1						1	
99	Ventilación	Tablero Eléctrico	Limpieza, operatividad y evaluación de dispositivos	Semestral				1						1		
100		Calefactor Equipo N° 9	Limpieza, operatividad y evaluación de dispositivos	Semestral				1						1		
101		Tablero eléctrico Grupo N° 5 - Extracción	Limpieza, operatividad y evaluación de dispositivos	Semestral					1						1	
102		Motores Grupo N° 5 - Extracción	Limpieza, operatividad y mediciones	Semestral	1							1				
103		Consola de Mandos	Limpieza, operatividad y evaluación de dispositivos	Semestral			1							1		

Total	EN	FE	MA	AB	MA	JU	JU	AG	SE	OC	NO	DI
	E	B	R	R	Y	N	L	O	T	T	V	C
<b>Tareas</b>	8	6	7	7	7	4	9	6	7	7	6	4
<b>Intervenciones</b>	12	9	10	10	11	7	13	9	10	11	9	7

**5.3. MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE INSTRUMENTACION Y CONTROL**

Tarea	Sistema	Equipo/Componente	Trabajo a Ejecutar	Frecuencia de Intervención	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC		
104	Instrumentación Nuclear	Canal de Arranque 1/2/3	Verificar nivel de discriminación y alta tensión cadenas	Mensual	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
105			Verificar formas de pulsos	Mensual	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
106			Medir aislamiento de contadores de fisión	Trimestral	1			1				1			1			
107		Canal de Marcha 1/2/3/4	Verificar niveles de disparo y alta tensión	Mensual	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
108			Medir aislamiento CIC. y limpieza cable coaxial	Trimestral		1				1			1			1		
109		Lógica de enclavamiento	Lógica de enclavamiento	Verificar lógica de seguridad, arranque/marcha, inhibición movimiento de barras, movimiento de barras e introducción automática	Mensual	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
110				Lógica de Scram	Prueba de lógica de Scram	Mensual	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
111					Verificar retención de electroimanes	Mensual	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
112		Adquisición de datos en operación	SAD	Verificación de señales y mediciones correctas	Cada Operación	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
113		Monitores de Área	Monitores de Área	Verificar alta tensión, calibración y alarma local	Mensual	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
114	Instrumentación Convencional	Temperatura entrada núcleo Temperatura salida núcleo Diferencia temperatura núcleo Diferencial presión núcleo 1/2/3 Caudal primario 1/2/3	Verificar test de voltaje conversor valor límite	Mensual	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
115		Caudal primario 1/2/3	Verificar DP-CELL manifold trans. en campo	Trimestral	1			1			1			1				
116		Diferencial presión núcleo 1/2/3	Verificar DP-CELL y manifold	Trimestral	1			1			1			1				
117		Temperaturas IC. primario	Temperaturas IC. primario	Verificar test de voltaje conversor valor límite cadenas	Bimestral	1		1		1		1		1		1		



**PROGRAMA**

**MANTENIMIENTO PREVENTIVO DEL REACTOR NUCLEAR RP-10, AÑO 2022**

Código:  
Versión:  
Vigente desde:  
Página: de

Tarea	Sistema	Equipo/Componente	Trabajo a Ejecutar	Frecuencia de Intervención	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
118	Instrumentación Convencional	Temperaturas IC. secundario	Verificar sensor y convertor de cadenas	Bimestral	1		1		1		1		1		1		
119		Niveles IC. reactor	Verificar accionamiento sensores, señalización sinóptico	Trimestral			1			1			1				1
120		Niveles TK reserva / Nivel de evacuación TK reactor	Verificar accionamiento sensor y señalización sinóptico	Semestral	1							1					
121		Conductividad primario / pH primario	Verificar test de voltaje convertor, valor límite	Bimestral		1		1		1		1		1		1	1
122		pH primario	Verificar electrodos y transmisor en campos (química)	Semestral						1						1	
123		Medición de presión	Purgar y verificar manómetros de los sistemas de medición de presión del sistema primario, intercambiadores de calor, entrada al sistema secundario	Trimestral	1			1				1			1		
124		Presiones colchón caliente	Purgar y verificar cadenas de medición (mecánica)	Trimestral	1			1				1			1		
125		Caudal secundario	Verificar funcionamiento de cadena	Trimestral		1				1			1			1	
126		Sensores colchón caliente	Verificar funcionamiento de los sensores de temperatura y caudal	Trimestral		1				1			1			1	
127		Temperatura de entrada torre enfriamiento	Verificar medición sistema en campo	Trimestral		1				1			1			1	
128		Nivel torre enfriamiento A/B/C	Verificar accionamiento sensor, señalización sinóptico	Trimestral				1			1			1			1
129		Potencia térmica, piloto automático	Señalización de funcionamiento	Bimestral	1			1		1		1		1		1	
130		Temperatura piletta auxiliar	Verificar sensores y convertidores	Trimestral		1				1			1			1	
131	Sistema de medición de potencia por Nitrógeno 16	Verificar la fuente de alta tensión	Trimestral				1			1			1			1	



**PROGRAMA**

**MANTENIMIENTO PREVENTIVO DEL REACTOR NUCLEAR RP-10, AÑO 2022**

Código:  
 Versión:  
 Vigente desde:  
 Página: de

Tarea	Sistema	Equipo/Componente	Trabajo a Ejecutar	Frecuencia de Intervención	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
				<b>Total</b>	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
				<b>Tareas</b>	18	15	15	15	18	13	18	15	15	15	18	13
				<b>Intervenciones</b>	21	18	18	18	21	16	21	18	18	18	21	16

**5.4. MANTENIMIENTO PREVENTIVO QUIMICA DE REACTORES**

Tarea	Sistema	Equipo/Componente	Trabajo a Ejecutar	Frecuencia de Intervención	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
132	Provisión	Agua ablandada	<i>Análisis de dureza, medición de pH, conductividad y hierro total del agua de entrada al sistema</i>	Quincenal	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
133		Tanques de regeneración	<i>Limpieza y/o purga de los tanques de soluciones regenerantes del sistema</i>	Trimestral			1			1			1			1	
134		Trampa CO2	<i>Inspección de la trampa de CO2 del sistema</i>	Semestral				1							1		
135		Tanque Pulmón	<i>Verificación de disponibilidad de agua del tanque</i>	Semanal	5	4	4	4	5	4	5	4	4	4	5	4	4
136		Tanque de Reserva	<i>Verificar calidad, cantidad y recircular agua del tanque</i>	Mensual	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
137		Columna Catiónica, Aniónica y Lecho Mixto	<i>Limpieza - descompactación de las columnas por contralavado</i>	Mensual	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
138		Tanque Principal y Pileta Auxiliar	<i>Rebalse de tanque principal y pileta</i>	Mensual	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
139		Sistema	<i>Verificación de fugas en el sistema</i>	Trimestral		1				1			1			1	
140		Válvula de Diafragma	<i>Verificación de funcionamiento de la válvula de diafragma</i>	Anual	1												
141		Columnas y tanques	<i>Inspección del revestimiento interno y externo de columnas y externo de tanques</i>	Anual		1											
142		Bombas	<i>Inspección y mantenimiento del revestimiento externo de las bombas del sistema</i>	Anual			1										
143		Visores	<i>Limpieza de los visores de flujo del sistema</i>	Anual				1									
144		Cisterna de Apoyo	<i>Evaluación de funcionamiento, limpieza y medición de pH de la cisterna</i>	Anual					1								
145		Purificación	Tanques de regeneración	<i>Limpieza y/o purga de los tanques de soluciones regenerantes del sistema</i>	Anual						1						
146	Filtro Físico, Columna de Lecho Mixto y Trampa de resinas		<i>Verificar pérdida de carga en el filtro físico, lecho mixto y trampa de resinas</i>	Semestral					1						1		
147	Sistema		<i>Verificación de fugas en el sistema</i>	Trimestral	1			1				1			1		
148	Válvula de Diafragma		<i>Verificación de funcionamiento de la válvula de diafragma</i>	Anual								1					

Tarea	Sistema	Equipo/Componente	Trabajo a Ejecutar	Frecuencia de Intervención	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
149		Columna de lecho mixto	Inspección del revestimiento interno y externo de columna de lecho mixto	Anuale								1					
150			Inspección de los distribuidores internos de la columna	Anuale										1			
151		Tanques de regeneración	Inspección del revestimiento interno y externo de los tanques regenerantes	Anuale											1		
152		Cisterna Soporte	Inspección y limpieza de la cisterna	Anuale												1	
153		Bombas	Inspección y mantenimiento del revestimiento externo de las bombas del sistema	Anuale	1												
154	Colchón Caliente	Filtro Físico	Verificación de caída de presión en el filtro físico	Anuale		1											
155			Inspección y limpieza del filtro físico e internos	Anuale					1								
156		Filtro Químico	Verificación del estado de las resinas e internos del filtro químico	Anuale			1										
157			Medición de la tasa de exposición en el filtro químico	Mensual	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
158		Sistema	Limpieza del sistema	Anuale				1									
159		Calefactor	Inspección y mantenimiento del calefactor	Anuale							1						
160		Bomba	Inspección y mantenimiento del revestimiento externo de la bomba del sistema	Anuale								1					
161	Efluentes Activos	Bombas	Limpieza de los filtros de las líneas de aspiración de las bombas	Anuale								1					
162			Inspección y mantenimiento del revestimiento externo de la bomba del sistema	Anuale											1		
163		Cisternas principales	Inspección y limpieza de las cisternas	Anuale									1				
164		Cisterna Intermedia	Evacuación y verificación de funcionamiento de la cisterna	Semanal	5	4	4	4	5	4	5	4	4	5	4	4	
165	Sistema Secundario	Piletas A/B/C	Desagote total, limpieza y reposición de agua	Bimestral	1		1		1		1		1		1		
166			Dosificación de aditivos	Semanal	5	4	4	4	5	4	5	4	4	5	4	4	
167			Purga y reposición de agua	Semanal	4	4	3	4	4	4	4	4	4	3	5	3	4



**PROGRAMA**

**MANTENIMIENTO PREVENTIVO DEL REACTOR NUCLEAR RP-10, AÑO 2022**

Código:  
Versión:  
Vigente desde:  
Página: de

Tarea	Sistema	Equipo/Componente	Trabajo a Ejecutar	Frecuencia de Intervención	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
168		Agua de reposición a las piletas de la torre de enfriamiento	Análisis de dureza, medición de pH y conductividad al agua de las piletas	Semanal	5	4	4	4	5	4	5	4	4	5	4	4
169	Medición de productos activos (24Na) del agua de las piletas		Mensual	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
170	Medición de cloruros, hierro total, dureza y residual del agua de las piletas		Mensual	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
171	Medición de conductividad y pH del agua de las piletas		Mensual	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
172	Sistema Primario	Agua del sistema	Análisis de cloruros, cobre, hierro total, medición de pH y conductividad del agua del sistema	Semanal	5	4	4	4	5	4	5	4	4	5	4	4
173			Reposición de agua a Tanque principal y piletas auxiliar	Semanal	5	4	4	4	5	4	5	4	4	5	4	4
174	Elementos combustibles	Elementos combustibles de control y seguridad	Medición de espesor de la película de óxido de aluminio de la vaina de los elementos combustibles del RP-10	3 años												1

Total	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
<b>Tareas</b>	19	18	19	19	20	18	19	18	19	19	19	17
<b>Intervenciones</b>	47	40	40	41	48	40	47	40	40	48	40	39

## 6. RESPONSABILIDADES

- 6.1. Responsable Funcional del Departamento de Mantenimiento:** Es Responsable de brindar la autorización para atender el requerimiento presentado, a través de la generación de la orden de trabajo.
- 6.2. Oficial de Protección Radiológica:** Es Responsable del monitoreo de áreas, antes y durante las labores de mantenimiento.
- 6.3. Responsable Funcional del Área:** Es Responsable de supervisar y verificar la atención del requerimiento presentado.
- 6.4. Personal Técnico del Departamento de Mantenimiento:** Son Responsable(s) de realizar el mantenimiento de los equipos, sistemas y componentes del RP-10.

**Anexo 4:Producto 2: Procedimiento de liberación de estructuras,  
componentes y sistemas para la operación del reactor nuclear de  
investigación RP-10**

**PROCEDIMIENTO DE LIBERACION DE EQUIPOS Y SISTEMAS DEL  
REACTOR NUCLEAR “RP-10”**

	<b>Cargo o Función</b>	<b>Nombre</b>	<b>Firma</b>	<b>Fecha</b>
<b>Aprobado por:</b>	Sub director RENU			
<b>Revisado por GCAL:</b>	Responsable Funcional de GCAL			
<b>Revisado por Dpto.:</b>	Responsable Funcional de MARE			
<b>Elaborado por:</b>	Especialista de Mantenimiento			

### **1. OBJETIVO**

El presente procedimiento tiene por finalidad establecer las pautas para la liberación de los equipos y sistemas para la operación del Reactor Nuclear RP-10, en concordancia a lo establecido en el manual de mantenimiento del RP-10.

### **2. ALCANCE**

Es aplicable a todos los sistemas que intervienen en la operación del Reactor, tanto en situación normal como de emergencia.

### **3. REFERENCIAS**

[1] Instituto Peruano de Energía Nuclear, Dirección de Producción, Departamento de Mantenimiento: “Manual de Mantenimiento” - Lima, Perú – 2020.

[2] Instituto Peruano de Energía Nuclear, Dirección de Producción, Departamento de Mantenimiento: “Sistema de Gestión de Inspecciones, Ensayos y Mantenimiento del RP-10” - Lima, Perú - 2015.Código de prácticas.

[3] Instituto Peruano de Energía Nuclear, División de Reactores Nucleares, Informe de Análisis de Seguridad, capítulo XIII: “Conducción de Operaciones”. Lima. Perú, 2013.

[4] Instituto Peruano de Energía Nuclear, División de Reactores Nucleares, Informe de Análisis de Seguridad, capítulo XVII: “Limites y Condiciones Operacionales”. Lima. Perú, 2013.

[5] Instituto Peruano de Energía Nuclear, División de Reactores Nucleares, Informe de Análisis de Seguridad, capítulo X: "Sistemas auxiliares". Lima. Perú, 2013.

[6] Instituto Peruano de Energía Nuclear, División de Reactores Nucleares, Manual de Seguridad Radiológica, Lima. Perú, 2014.

[7] Instituto Peruano de Energía Nuclear, Oficina Técnica de la Autoridad Nacional: Licencia de Operación del Reactor Nuclear RP-10 N° 3284, Lima. Perú, Julio, 2014

#### **4. DEFINICIONES Y ABREVIATURAS**

El mantenimiento preventivo incluye inspecciones, pruebas, servicios, reacondicionamiento y /o actividades de reemplazo. Su propósito es mejorar la fiabilidad de los equipos, para detectar y prevenir fallas incipientes y para asegurar la continua capacidad de los ESC del reactor para el desempeño de sus funciones previstas. El mantenimiento preventivo debe realizarse sobre los ESC:

- Según lo especificado por los diseñadores o fabricantes;
- Según lo especificado por la ley y/o en los requisitos reglamentarios;
- Según lo determinado por la gestión del reactor sobre la base de las revisiones de seguridad y experiencia operativa previa o por otras razones, como para cumplir estipulaciones de seguro.

##### **4.1 Liberación de las ESC previo a la operación del reactor**

En complemento al programa de mantenimiento preventivo vigente, se consideran actividades periódicas y planificadas, las cuales son efectuadas como parte de la liberación de los ESC previos a la operación del reactor RP-10, entre ellas se incluye:

##### **Inspecciones:**

Se examina las ESC a fin de verificar el deterioro y evaluar los efectos sobre el envejecimiento de los mecanismos u evaluar si son aceptables para una seguridad continuada de operación o si se deben tomar medidas correctivas. El énfasis debe ser colocado en la evaluación de los ESC importantes para la seguridad, tuberías particularmente incrustadas, tanques y áreas normalmente restringidas a la vista.

### **Pruebas Periódicas:**

Tiene como objetivo, mantener y mejorar la disponibilidad de equipos, para garantizar el cumplimiento de los límites y condiciones operacionales, y para detectar y corregir las condiciones anormales antes de que puedan dar lugar a importantes consecuencias para la seguridad. Las condiciones anormales incluyen no solo deficiencias en el desempeño de los ESC y el software, sino también las tendencias dentro de los límites aceptados que indican que el rendimiento de uno o más de los ESC está desviándose de la intención del diseño.

Las pruebas periódicas incluyen verificaciones de operatividad (pruebas cualitativas) y verificaciones de calibración (pruebas cualitativas y cuantitativas).

Cada sistema que conforman al reactor RP-10 es liberado en concordancia a su procedimiento establecido.

## **5. DESARROLLO**

### **5.1 CONDICIONES PREVIAS**

- ✓ Autorización del Jefe de Turno para el funcionamiento de los sistemas.
- ✓ Sistemas habilitados (desde sala de control).
- ✓ Designación del personal: un (01) personal técnico de MARE y un (01) personal de Operación.
- ✓ Tener habilitados instrumentos de medición idóneos.

### **5.2 PRECAUCIONES**

- ✓ Verificar que los equipos que se estén liberando no interfieran con otro que este en los mismos procesos. Por tanto se debe comunicar a Sala de control el encendido de los equipos y sistemas, y no proceder sin su aprobación.
- ✓ Se debe priorizar la liberación del sistema de ventilación, ya que este permite el ingreso a varias áreas del reactor.
- ✓ Antes tomar valores esperar que el sistema llegue a condiciones estables.
- ✓ Otras precauciones se hacen notar expresamente luego o antes de cada acción según sea el caso.

### 5.3 ACCIONES

- 5.3.1 El Jefe del RP-10 autorizará al Responsable funcional del Departamento de Mantenimiento el inicio de las inspecciones y ensayos de los equipos del sistema de ventilación.
- 5.3.2 El Responsable funcional del Departamento de Mantenimiento o su reemplazante dispondrá del personal responsable para la liberación de los equipos y sistemas, además del llenado de la planilla de liberación y Check List. Este proceso será supervisado por personal licenciado del Departamento de Operaciones.
- 5.3.3 Como parte de la liberación se tomará en cuenta: de las inspecciones y ensayos, se deberá efectuar:
- a) Inspecciones:  
Frecuencia: Semanal, previo a la operación del reactor RP-10
  - b) Pruebas Periódicas:  
Frecuencia: Mensual
  - c) Liberación de las ESC previo a la operación del reactor  
Frecuencia: Semanal, previo a la operación del reactor RP-10

### 5.4 CRITERIOS DE ACEPTACION

- ❖ Todos los valores comparados con sus valores nominales deben estar en los rangos tolerables.
- ❖ Se deberá verificar condiciones normales (vibración, ruido, etc.) que puedan indicar un funcionamiento anómalo y retirarlo para una inspección más minuciosa.
- ❖ Las planillas de liberación deben estar debidamente firmada firmadas por:
  - Personal de MARE que realiza la liberación
  - Supervisor OPER
  - Responsable funcional del Área de MARE
  - Responsable funcional MARE
- ❖ No se trabajará con sistemas fuera de servicio.

## 6. RESPONSABILIDADES

- ❖ **Sub director RENU:** Aprobar el presente procedimiento.
- ❖ **Jefe del Reactor:** Realizar seguimiento de la implementación del procedimiento y solicitar el sustento de liberación con procedimientos y planillas necesarias.
- ❖ **Jefe de Turno:** Solicitar planillas de liberación de los sistemas y mecanismos de control junto a las demás planillas.
- ❖ **Responsable Funcional de Mantenimiento:** Responsable de visar las planillas generadas como parte del cumplimiento del presente procedimiento.
- ❖ **Responsable Funcional de cada área de MARE:** Responsable de la ejecución de las acciones establecidas en el presente procedimiento y llenar las planillas de liberación respectivas.
- ❖ **Operador de turno:** Asistir a los ejecutantes de los ensayos en lo que concierne a la maniobra.
- ❖ **Responsable Funcional de Seguridad Integral o su reemplazante:** Responsable de verificar las condiciones radiológicas de la instalación antes y durante la aplicación del presente procedimiento.
- ❖ **Personal de MARE:** Responsable de realizar los ensayos e inspecciones para la liberación de equipos los sistemas y mecanismos de control.

**Anexo 5: Producto N° 3: Manual de mantenimiento actualizado en la Sub  
Dirección de Operación de Reactores Nucleares**

**MANUAL DE MANTENIMIENTO DEL REACTOR NUCLEAR**

**RP-10**

	<b>Cargo o Función</b>	<b>Nombre</b>	<b>Firma</b>	<b>Fecha</b>
<b>Aprobado por:</b>	Sub Director RENU			
<b>Revisado por GCAL:</b>	Responsable Funcional de GCAL			
<b>Revisado por Dpto.:</b>	Jefe del RP-10			
<b>Elaborado por:</b>	Responsable Funcional de MARE			

**1. OBJETIVO**

El objetivo del presente manual es brindar una referencia al personal acerca del cumplimiento de las tareas de mantenimiento en forma segura y eficiente, contemplando dentro de su estructura los principios de funcionamiento de las estructuras, sistemas, componentes (ESC), así como su ubicación dentro de los procesos del reactor RP-10. Asimismo, se definen las tareas y responsabilidades que involucran la gestión del Departamento de Mantenimiento de la Subdirección de Operación de Reactores Nucleares (RENU) para maximizar en el tiempo la disponibilidad de las maquinarias y equipos de manera que siempre estén operativos al menor costo posible y preservando el valor de las instalaciones, optimizando su uso y minimizando el deterioro.

Asimismo, este Manual sirve de soporte en el desarrollo y aplicación de la cultura de seguridad, desde los aspectos de mantenimiento, pruebas periódicas e inspección de las estructuras, sistemas y componentes (ESC) que integran las instalaciones del reactor nuclear RP-10.

**2. ALCANCE**

El manual de mantenimiento es el documento que contiene y regula todas las materias inherentes a los trabajos de mantenimiento destinados a mantener o restaurar la confiabilidad operativa de las estructuras, sistemas y componentes (ESC) que integran las instalaciones del reactor nuclear RP-10.

**3. REFERENCIAS**

[1] International Atomic Energy Agency, Maintenance, Periodic Testing and Inspection of Research Reactors, IAEA Safety Standards Series N° NS-G-4.2, IAEA, Viena, 2006.

- [2] Consejo de Seguridad Nuclear, Guía de Seguridad 1.18, “Medida de la eficacia del mantenimiento en centrales nucleares” España, 2007
- [3] Instituto Peruano de Energía Nuclear, Oficina Técnica de la Autoridad Nacional: “Licencia de Operación del RP-10 N° 3284” - Resolución Directoral N° 3939-17-IPEN-OTAN, Lima 20 octubre del 2017.
- [4] Instituto Peruano de Energía Nuclear, Oficina Técnica de la Autoridad Nacional: “Ley de regulación del uso de fuentes de radiación ionizante” – Ley N° 28028, Lima, Perú, 2003.
- [5] Instituto Peruano de Energía Nuclear, Dirección de Producción, Informe de Seguridad del “RP-10”, Capítulo 1: “Introducción y Descripción General de la Instalación”, Lima - Perú, 2018.
- [6] Instituto Peruano de Energía Nuclear, Dirección de Producción, Informe de Seguridad del “RP-10”, Capítulo 2: “Objetivos de seguridad y requerimientos de diseño de ingeniería”, Lima - Perú, 2018.
- [7] Instituto Peruano de Energía Nuclear, Dirección de Producción, Informe de Seguridad del “RP-10”, Capítulo 7: “Características de seguridad de ingeniería”, Lima - Perú, 2018.
- [8] Instituto Peruano de Energía Nuclear, Dirección de Producción, Informe de Seguridad del “RP-10”, Capítulo 17: “Límites y condiciones operacionales”, Lima - Perú, 2018.
- [9] Instituto Peruano de Energía Nuclear, Dirección de Producción, PROD-RENU-GCAL-OR-001-2, Lima - Perú, 2018.
- [10] Instituto Peruano de Energía Nuclear, Dirección de Producción, Departamento de Mantenimiento, RENU-MARE-PN-001, Plan y Programa de Mantenimiento Preventivo, Lima - Perú, 2020.
- [11] Ley de Contrataciones.
- [12] Instituto Peruano de Energía Nuclear, Dirección de Producción, Informe de Seguridad del “RP-10”, Capítulo 4: “Edificios y estructuras”, Lima - Perú, 2018.
- [13] Instituto Peruano de Energía Nuclear, Dirección de Producción, Informe de Seguridad del “RP-10”, Capítulo 5: “El reactor”, Lima - Perú, 2018.

- [14] Instituto Peruano de Energía Nuclear, Dirección de Producción, Informe de Seguridad del “RP-10”, Capítulo 6: “Sistema de refrigeración del reactor y sistemas conexos”, Lima - Perú, 2018.
- [15] Instituto Peruano de Energía Nuclear, Dirección de Producción, Informe de Seguridad del “RP-10”, Capítulo 8: “Instrumentación y control”, Lima - Perú, 2018.
- [16] Instituto Peruano de Energía Nuclear, Dirección de Producción, Informe de Seguridad del “RP-10”, Capítulo 9: “Energía eléctrica”, Lima - Perú, 2018.
- [17] Instituto Peruano de Energía Nuclear, Dirección de Producción, Informe de Seguridad del “RP-10”, Capítulo 10: “Sistemas auxiliares”, Lima - Perú, 2018.
- [18] Instituto Peruano de Energía Nuclear, Dirección de Producción, Departamento de Operación: Plan de Gestión de Envejecimiento del reactor nuclear de investigación peruano RP-10, DRN-DOR-GN-110-1 Lima, Perú, 2014.
- [19] Instituto Peruano de Energía Nuclear, Dirección de Producción, Departamento Seguridad Radiológica: Manual de Seguridad Radiológica del reactor RP-10, DRN-DOR-MP-001-2 Lima, Perú, 2018.
- [20] Instituto Peruano de Energía Nuclear, Dirección de Producción, Departamento de Operación: Instructivo para la gestión ALARA de los trabajos de mantenimiento en el reactor RP-10, DRN-PRO-IT-001-1 Lima, Perú, 2018.
- [21] Directiva para selección y pago de proveedores del Instituto Peruano de Energía Nuclear, aprobado mediante Resolución de Presidencia N° 221-17-IPEN/PRES.
- [22] Instituto Peruano de Energía Nuclear, Dirección de Producción, Departamento de Garantía de Calidad: Informe de Seguridad del “RP-10”, Capítulo 18: “Sistema de Gestión”, Lima Perú, 2018.
- [23] Instituto Peruano de Energía Nuclear, Dirección de Producción, Departamento de Garantía de Calidad. RENU-GCAL-PO-001 “Estructura y control de documento” Lima Perú, 2019.
- [24] Instituto Peruano de Energía Nuclear, Dirección de Producción, Departamento de Garantía de Calidad. RENU-GCAL-PO-001 “Control de Registros” Lima Perú, 2019.

## 4. DEFINICIONES Y ABREVIATURAS

### 4.1. Definiciones [1][2]

- **Mantenimiento:** conjunto de funciones requeridas para preservar o restaurar la seguridad, fiabilidad y disponibilidad de estructuras, sistemas y componentes de planta. El mantenimiento incluye no solamente las actividades tradicionalmente asociadas con la identificación y corrección de las condiciones reales o potencialmente degradadas, esto es, reparación, vigilancia, diagnóstico y medidas preventivas, sino que se extiende a todas las funciones soporte necesarias para llevar a cabo esas funciones.
- **Actividades de mantenimiento:** todas las actividades asociadas con la planificación, gestión, programación, ejecución, realización de pruebas post-mantenimiento y de retorno a servicio durante el mantenimiento preventivo y correctivo. Estas actividades son consideradas como mantenimiento independientemente de la organización que realiza la actividad (mantenimiento, operación, contratistas, etc.).
- **Mantenimiento preventivo:** acciones de mantenimiento planificadas, periódicas y predictivas que son tomadas previamente a que la ESC falle, para mantener a la ESC dentro de las condiciones de operación previstas, controlando la degradación o el fallo.
- **Mantenimiento correctivo:** actuaciones que tienen como objetivo reestablecer la capacidad funcional de una ESC, que son realizadas ante situaciones emergentes de operación, en las que se observan deficiencias o fallos funcionales en la ESC.
- **Disponibilidad:** tiempo que una ESC es capaz de realizar su función. Frecuentemente es empleado su complemento numérico, la indisponibilidad. Puede también expresarse como una fracción del tiempo total en el que puede requerirse que la ESC realice su función.
- **Fiabilidad:** es una medida de la expectativa (asumiendo que la ESC está disponible) de que la ESC realizará su función cuando se demande en cualquier momento futuro.
- **Condición:** parámetro de comportamiento específico de un tren, componente o sistema que es capaz de indicar la funcionalidad, operatividad o comportamiento del equipo (por ejemplo, espesor de pared, vibración, ductilidad, fugas, resistencia

eléctrica, etc.).

- **Sistema:** Es la mayor división funcional de una planta, integrada por subsistemas, componentes, conjuntos y partes o piezas que tienen una relación directa entre sí, necesarias para realizar una o más funciones específicas.
- **Sub sistema:** es una división funcional y principal de un sistema, integrado generalmente por componentes, que cumple una función imprescindible, específica y completa dentro de dicho sistema.
- **Planta:** es toda aquella instalación funcional dedicada a una actividad específica, generalmente de producción.
- **Componente:** es el sub conjunto funcional de menor nivel, superior al de la parte o pieza, ubicado dentro de un equipo o en montaje común, capaz de operar independientemente.
- **Ciclo:** período de tiempo después del cual vuelve a repetirse una situación.

## 5. GESTIÓN DE MANTENIMIENTO

El objetivo de la gestión de mantenimiento es garantizar que el "RP-10" cumpla con los requisitos de seguridad que se deriven de:

- ✓ Los requerimientos del órgano regulador [3][4]
- ✓ Requisitos de diseño y condicionamiento [5][6][7]
- ✓ Los Informes de Análisis de Seguridad (IAS)
- ✓ Los Límites y Condiciones Operacionales (LCO) [8]
- ✓ Los requisitos administrativos del propio reactor

El sistema de gestión de mantenimiento apoyará el desarrollo y la aplicación y afianzamiento de una sólida cultura de la seguridad en todos los aspectos considerados.

Para la gestión de mantenimiento en el reactor RP-10, se considera:

- ✓ Planificación y priorización de los trabajos
- ✓ Disponibilidad de personal calificado con conocimientos adecuados
- ✓ Procedimientos
- ✓ Disponibilidad de piezas de repuesto

- ✓ Cumplimiento de los requisitos reglamentarios pertinentes
- ✓ Cumplir con los requerimientos derivados de los LCO
- ✓ Disponibilidad de herramientas
- ✓ Un ambiente de trabajo satisfactorio, incluyendo el aislamiento de las ESC, protección del trabajador y la consideración de seguridad necesarias
- ✓ Realizar y documentar las labores de mantenimiento efectuadas

Además: se enfatiza en la coordinación eficaz:

- ✓ Entre las diferentes áreas de mantenimiento (mecánica - eléctrica, instrumentación y control, y química de reactores).
- ✓ Con los departamentos de operación y seguridad integral.
- ✓ Entre los grupos del "RP-10" y contratistas.

## **6. ORGANIZACIÓN, FUNCIONES Y RESPONSABILIDADES**

### **6.1. Organización del Departamento de Mantenimiento**

El Departamento de Mantenimiento (MARE) pertenece a la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares (RENU) de la Dirección de Producción (PROD) del Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN) [9], sus relaciones con otros entes involucrados en la explotación segura del RP-10 se muestran en la figura 1.

MARE para un adecuado cumplimiento de sus funciones está dividido en áreas de mantenimiento especializadas: Mecánica - Eléctrica, Instrumentación y Control, y Química

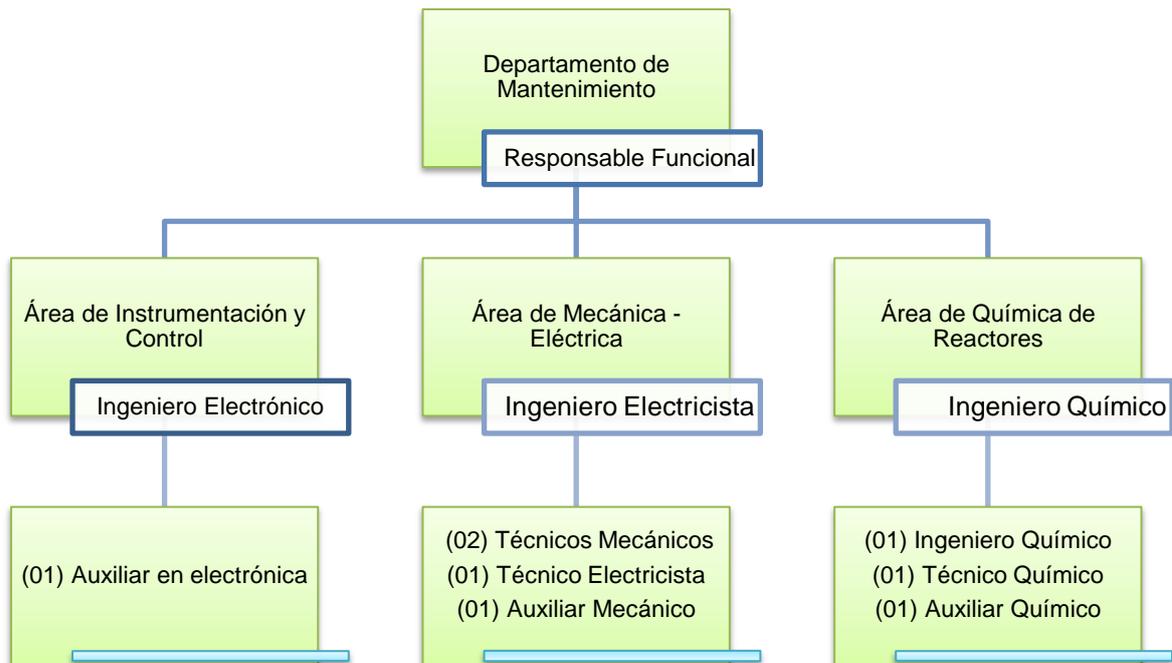


de Reactores (Ver Figura N° 1).

Figura N° 1. Organigrama Estructural de la Dirección de Producción

## 6.2. Personal del Departamento de Mantenimiento

El Departamento de Mantenimiento cuenta con el siguiente personal:



### 6.3. Funciones y Responsabilidades

#### 6.3.1. Responsable Funcional del Departamento Mantenimiento

- Cumplir y hacer cumplir las reglamentaciones vigentes.
- Es responsable de la planificación, coordinación y control del mantenimiento preventivo fijado en el Programa de Mantenimiento Preventivo para todas las estructuras, sistemas y componentes (ESC) del RP-10, los que se agrupan en las Áreas de Mecánica - Eléctrica, Instrumentación y Control, y Química de Reactores.
- Gestionar la ejecución de toda tarea de mantenimiento de tipo correctivo que le solicite el Jefe del Reactor, durante la operación y parada del Reactor.
- Gestionar la ejecución de toda tarea de mantenimiento que autorice el Jefe del Reactor.
- Informar al Jefe del Reactor sobre toda cuestión relacionada con el Mantenimiento de la Planta.

- Presentar al Jefe del Reactor el Programa de Mantenimiento Preventivo [10] anual para su aprobación.
- Solicitar a Jefe del Reactor la asignación de personal de otros sectores para que participen en las tareas de mantenimiento cuando por la envergadura de alguna tarea o el cúmulo de tareas supere la capacidad de algunas áreas de mantenimiento.
- Fijar tareas a los responsables de las áreas de Mantenimiento a su cargo, verificando el cumplimiento de las mismas y la calidad de los trabajos realizados.
- Efectuar una revisión anual del manual de mantenimiento y de surgir a su criterio alguna modificación, proceder a la actualización del mismo.
- Efectuar una revisión del plan de mantenimiento preventivo. [11]

### **6.3.2. Responsables Funcionales de cada Área**

- Conducir al personal a su cargo, ordenando sus tareas y responsabilidades.
- Supervisar la ejecución de toda tarea de mantenimiento, correspondiente a su área.
- Participar en reuniones con los responsables de otras áreas en el caso de una labor especial que requiera el trabajo en conjunto para lograr esa labor.
- Es el responsable de la calidad de todos los trabajos que se ejecute a su cargo.
- Redactar informe sobre fallas detectadas, situación operativa y/o trabajos efectuados de mantenimiento que requieran una explicación más explícita y detallada.
- Efectuar los requerimientos de bienes y servicios del campo de su competencia, de los diferentes sectores, indicando su prioridad.
- Proponer al Responsable Funcional del Departamento Mantenimiento la programación de las tareas de mantenimiento preventivo de su responsabilidad.

- Emitir las planillas de liberación de equipos previo a cada operación del reactor.
- Emitir las planillas de los trabajos de mantenimiento preventivo, de acuerdo al Programa de Mantenimiento Preventivo [11].
- Emitir las planillas de los trabajos de mantenimiento correctivo.
- Catalogar, mantener y controlar en forma permanente y actualizado, el stock de repuestos, elementos de consumo, herramientas e instrumentos a su cargo.
- Preparar y elevar al Responsable Funcional del Departamento de Mantenimiento los requerimientos de materiales de repuestos, consumibles, herramientas e instrumental necesario para reponer el stock que se debe mantener.
- Elevar al Responsable Funcional del Departamento de Mantenimiento los requerimientos de personal y materiales para mantener operativos los ESC de la planta.
- Es el responsable de mantener el stock de repuestos, elementos consumibles, herramientas e instrumentos necesarios a través de un almacén que tendrá como misión asistir a los requerimientos de cada área.
- Ordenar la adquisición y entrega de los materiales y repuestos que se adquieran o incorporen para mantenimiento.
- Es responsable de la utilización, conservación y archivo de toda la documentación relativa al registro de datos y mantenimiento realizado a todos los sistemas, componentes y equipos, concernientes a su respectiva área.
- Elaborar las especificaciones técnicas y términos de referencia y emitirlos a la Jefatura del Departamento Mantenimiento, para la atención de los requerimientos de cada una de sus áreas; a través del financiamiento por cuadro de necesidades y demanda adicional, en base a lo establecido en [12]
- Emitir un informe mensual, donde se indique los reportes de avance mensual del Programa de Mantenimiento Preventivo y los trabajos por mantenimiento correctivo efectuados mensualmente.

- Responsable de asegurar que los equipos e instrumentos que se emplean en los trabajos de mantenimiento cuenten con la calibración necesaria y vigente.

#### **6.3.2.1. Responsable Funcional del Área de Mecánica - Eléctrica**

- Es el responsable del mantenimiento preventivo y correctivo de todos los sistemas, instalaciones y equipos mecánicos y eléctricos del reactor RP-10.
- Organizar a su personal en grupos a los que asignará las responsabilidades de los trabajos de mantenimiento.
- Orientar, asesorar y apoyar al personal bajo su cargo cuando las labores sean de mayor complejidad, desde un punto de vista ingenieril y conductual para su mejor desempeño laboral; implementando conjuntamente con el área de seguridad y salud en el trabajo las medidas de control para proteger al personal de los riesgos y/o procesos peligrosos a los que están expuestos.

#### **6.3.2.2. Responsable Funcional del Área de Instrumentación Y Control**

- Es el responsable del mantenimiento de todos los sistemas y equipos de instrumentación y señalización nuclear y convencional, equipos electrónicos convencionales y sísmicos, sistema de TV, monitores de área, y todo sistema o equipo electrónico del Reactor RP-10, desde el sensor hasta el indicador.

#### **6.3.2.3. Responsable Funcional del Área de Química De Reactores**

- Es el responsable de ejecutar los programas de mantenimiento preventivo y correctivo de los sistemas y equipos de tratamiento de aguas y efluentes activos del reactor RP-10.

### **6.4. Sistemas y Componentes por Áreas de Responsabilidad**

A continuación, se indican los sistemas, componentes y equipos del Reactor RP-10 que estarán bajo la responsabilidad de cada una de las áreas que conforman el Departamento de Mantenimiento. Para esta clasificación se tiene en cuenta lo indicado en [13] [14] [15] [16] [17].

#### **6.4.1. Área de Mecánica - Eléctrica**

Será responsable del mantenimiento de los sistemas y componentes mecánicos – eléctricos que a continuación se enlistan:

##### **6.4.1.1. Sistemas, equipos y componentes mecánicos**

- Puente de Mecanismos
- Puente Auxiliar
- Mecanismos de accionamiento de barras de control y seguridad
- Mecanismos de accionamiento de cámaras de fisión
- Sistema primario tanque principal y elementos mecánicos interiores
- Sistema de conductos de irradiación y columna térmica
- Sistema primario pileta auxiliar y canal de comunicación
- Sistema primario tanques de decaimiento
- Sistema primario bombas primario
- Sistema primario intercambiadores
- Sistema primario cañerías, válvulas, bridas, juntas y accesorios
- Sistema de transporte de caja porta muestras
- Sistema de purificación continuo
- Sistema de colchón caliente
- Sistema de provisión
- Sistema secundario bombas secundario
- Sistema secundario torres de enfriamiento
- Sistema secundario cañerías, válvulas, bridas, juntas y accesorios
- Telemanipuladores
- Ventana celda caliente
- Periscopio
- Pluma telescópica y mesa soporte para observación de elementos combustibles
- Puente Grúa Polar
- Sistema de tratamiento de efluentes
- Sistema de ventilación y Aire Acondicionado (zona Caliente) (Turbinas, filtros, conductos y accesorios)
- Sistema de ventilación y AA edificio (zona fría) (turbinas, conductos y accesorios)
- Sistema de extracción de edificio (turbina, conductos y accesorios)
- Sistema de aire comprimido (compresores, tuberías y accesorios)
- Sistema de depresión (vacío) (campanas radioquímicas)
- Sistema generador de Emergencia motor

- Sistema ascensor
- Sistema taller (mecánica herramienta)
- Sistema de repuestos

#### **6.4.2. Sistemas, Equipos y Componentes Eléctricos**

- Tablero general de la Sub-Estación.
- Tableros eléctricos.
- Líneas de transmisión entre tableros eléctricos y equipos eléctricos.
- Sistemas de iluminación zona caliente.
- Sistemas de iluminación zona fría.
- Sistemas de señalización para evacuación de zonas frías y calientes.
- Motores eléctricos de los sistemas primario, secundario, ventilación y auxiliares.
- Motores eléctricos de otros sistemas: puente grúa, ascensores, compresores.
- Sistema eléctrico ininterrumpible – UPS.
- Sistema eléctrico de emergencia.
- Sistema de altavoces.
- Sistema de comunicación interna (intercomunicadores, teléfonos).

#### **6.4.3. Área de Instrumentación Y Control**

Será responsable del mantenimiento de los siguientes sistemas y componentes.

- Sistema de instrumentación y señalización nuclear
- Sistema de instrumentación y señalización convencional
- Sistema de instrumentación y señalización sísmica
- Sistema de monitores de área
- Sistema de alarmas
- Sistema de TV

#### **Nota:**

La responsabilidad del mantenimiento de todo equipo electrónico involucra desde el sensor hasta el indicador, incluyendo las líneas de transmisión y alimentación hasta el tablero eléctrico.

#### **6.4.4. Área de Química de Reactores**

Será responsable de la operación y mantenimiento de los siguientes sistemas y equipos:

- Sistema de provisión de agua al reactor.
- Sistema de purificación continúa.
- Sistema de colchón caliente.

- Sistema de colección y tratamiento de efluentes activos.
- Control químico del refrigerante secundario.
- Control químico del refrigerante primario.

## **7. NIVELES DE ATENCIÓN**

### **7.1. Usuario**

El Usuario representa el primer nivel de atención ante la detección de una falla en algún equipo. En caso de no poder dar solución al problema detectado, es responsable de presentar el requerimiento respectivo, mediante el formulario de solicitud de mantenimiento preventivo, al Departamento Mantenimiento, el cual designará al área correspondiente para efectuar la intervención.

### **7.2. Técnico**

Representa el segundo nivel de atención, el personal técnico del área designada ejecutará la intervención correspondiente, realizando un diagnóstico de la falla presentada y efectuando el mantenimiento correctivo necesario a fin de restituir la operatividad del equipo. De no poder dar solución a la falla presentada, informará a la Jefatura del Departamento Mantenimiento, para solicitar la presencia de un especialista.

### **7.3. Especialista**

El Especialista representa el tercer nivel de atención, el cual intervendrá el equipo y brindará un diagnóstico final del estado del mismo. De acuerdo a dicho diagnóstico y a las recomendaciones dadas, se determinará las acciones finales a tomar, ejecutar el mantenimiento correctivo o efectuar el reemplazo del equipo.

## **8. CLASIFICACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS DE MANTENIMIENTO**

### **8.1. Mantenimiento Preventivo**

Mantenimiento planificado que consiste en programar el mantenimiento de los sistemas y equipos e instalaciones estableciendo un periodo de tiempo en que deberá ser intervenido de acuerdo a la criticidad, basado en estimaciones estadísticas de la vida útil de las partes y del análisis de frecuencia de fallas de los equipos en particular, recomendaciones específicas y generales de los fabricantes de los equipos, con el fin de evitar el acarreo o arrastre de falla, es decir, el proceso mediante el cual un componente defectuoso transmite la irregularidad a aquellos a los que está ligado, sufriendo así todo un proceso rápido de degradación.

Se cuenta con el plan de mantenimiento preventivo [11], donde se listan todos los equipos y componentes que conforman los sistemas del reactor nuclear RP-10, indicando la frecuencia de su atención.

Anualmente, el Departamento de Mantenimiento actualiza el documento [10] Programa Anual de Mantenimiento Preventivo, donde se indican los meses para efectuar dicho mantenimiento.

El mantenimiento preventivo incluye inspecciones, pruebas, servicios, reacondicionamiento y /o actividades de reemplazo. Su propósito es mejorar la fiabilidad de los equipos, para detectar y prevenir fallas incipientes y para asegurar la continua capacidad de los ESC del reactor para el desempeño de sus funciones previstas. El mantenimiento preventivo debe realizarse sobre los ESC:

- Según lo especificado por los diseñadores o fabricantes;
- Según lo especificado por la ley y/o en los requisitos reglamentarios;
- Según lo determinado por la gestión del reactor sobre la base de las revisiones de seguridad y experiencia operativa previa o por otras razones, como para cumplir estipulaciones de seguro.

#### **8.1.1. Liberación de las ESC previo a la operación del reactor**

En complemento al programa de mantenimiento preventivo vigente, se consideran actividades periódicas y planificadas, las cuales son efectuadas como parte de la liberación de los ESC previos a la operación del reactor RP-10, entre ellas se incluye:

##### **Inspecciones:**

Se examina las ESC a fin de verificar el deterioro y evaluar los efectos sobre el envejecimiento de los mecanismos u evaluar si son aceptables para una seguridad continuada de operación o si se deben tomar medidas correctivas. El énfasis debe ser colocado en la evaluación de los ESC importantes para la seguridad, tuberías particularmente incrustadas, tanques y áreas normalmente restringidas a la vista.

##### **Pruebas Periódicas:**

Tiene como objetivo, mantener y mejorar la disponibilidad de equipos, para garantizar el cumplimiento de los límites y condiciones operacionales, y para detectar y corregir las condiciones anormales antes de que puedan dar lugar a

importantes consecuencias para la seguridad. Las condiciones anormales incluyen no solo deficiencias en el desempeño de los ESC y el software, sino también las tendencias dentro de los límites aceptados que indican que el rendimiento de uno o más de los ESC está desviándose de la intención del diseño.

Las pruebas periódicas incluyen verificaciones de operatividad (pruebas cualitativas) y verificaciones de calibración (pruebas cualitativas y cuantitativas).

Cada sistema que conforman al reactor RP-10 es liberado en concordancia a su procedimiento establecido.

## **8.2. Mantenimiento Correctivo**

Este mantenimiento puede también ser programado a solicitud del usuario, cuando se detecte el inicio de una falla en algún equipo o en los casos de emergencia que se presenten.

### **8.2.1. Mantenimiento Correctivo Planificado**

El mantenimiento correctivo planificado es aquel que consiste en reparar los equipos que fallan, y que son necesarios para el funcionamiento del proceso, se deberá considerar un tiempo estimado que permita gestionar la adquisición de repuestos, y planificar los requerimientos de equipos, facilidades y repuestos necesarios para la reparación.

### **8.2.2. Mantenimiento de Emergencia**

Llamado así debido a la urgencia de reparación en el proceso de producción. Resulta mucho más costoso debido a la necesidad de disponer de manera imprevista de recursos como equipos, personales, materiales y/o repuestos.

## **9. PLAN ANUAL DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO RP-10 [11]**

Este documento es actualizado anualmente por el Responsable Funcional del Departamento de Mantenimiento, a fin de incluir equipos nuevos adquiridos por el RP10, desestimar aquellos equipos dados de baja durante el año transcurrido o modificar frecuencias de intervención de acuerdo a los diagnósticos de cada equipo.

## **10. PROGRAMA ANUAL DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO RP-10 [10]**

El Programa Anual de Mantenimiento Preventivo (PMP) de Equipos e Instalaciones está basado en el Plan de Mantenimiento Preventivo [x] y es formalizado mediante el documento [x] Programa

Anual de Mantenimiento Preventivo RP-10, en el cual se listan los diferentes sistemas, subsistemas, equipos e instalaciones.

Para la elaboración del Programa de Mantenimiento Preventivo se ha tenido en cuenta lo especificado en [18], además de:

- Planificación y priorización del trabajo;
- Disponibilidad de personal calificado con habilidades adecuadas;
- Procedimientos;
- Disponibilidad de repuestos;
- Dirigir todos los requisitos reglamentarios pertinentes;
- Disponibilidad de herramientas y equipos;
- Un ambiente de trabajo satisfactorio, considerando todos los riesgos.

#### **10.1. Ejecución, Seguimiento y Control del Programa Anual de Mantenimiento Preventivo.**

Los responsables de cada área de mantenimiento son responsables de la emisión de los reportes de avance mensual del Programa de Mantenimiento Preventivo, además de indicar y evidenciar las actividades efectuadas en sus respectivas áreas.

Basado en los reportes indicados, el Responsable Funcional del Departamento Mantenimiento emitirá un Informe Técnico mensual dirigido a la Jefatura del Reactor (RP-10), en el cual se detalla el porcentaje de avance mensual del programa, así como los diferentes trabajos efectuados.

Para la ejecución de las tareas consideradas en el Programa de Mantenimiento Preventivo, se deberá emplear los formularios de mantenimiento preventivo. En los que, se registrará todas las actividades de mantenimiento preventivo realizadas.

#### **10.2. Contenido del Programa Anual de Mantenimiento Preventivo**

Cada página del Programa de Mantenimiento Preventivo (PMP) cuenta con la siguiente información:

- Área Responsable
- Número de Tarea
- Sistema o Subsistema
- Equipo
- Trabajo a Ejecutar

### **11. RIESGOS DURANTE LOS TRABAJOS**

### **11.1. Riesgo industrial**

Las instalaciones del reactor RP-10 tienen todas las características de una planta industrial, en consecuencia, los riesgos a que está sometido el trabajador que hace mantenimiento o reparación de equipos son los mismos contemplados en las plantas industriales convencionales.

Por consiguiente, se deberá considerar la política, manuales, formatos y toda información a nivel institucional, en materia de seguridad y salud en el trabajo.

### **11.2. Riesgo radiológico**

Se consideran dos tipos de riesgos: contaminación e irradiación. El personal de mantenimiento y reparaciones están sujetos a los dos tipos de riesgo, debido a que intervienen en equipos destinados a efectuar procesos experimentales o de producción nucleares.

Para este tipo de riesgo, considerar como referencia el documento [19] Manual de Protección Radiológica del RP-10 y [20].

## **12.SISTEMA DE ÓRDENES DE TRABAJO**

Se efectúa el uso de la Orden de Trabajo para autorizar y registrar toda ejecución de las labores de mantenimiento. Las Órdenes de Trabajo son emitidas para todo trabajo que deba ser realizado por el Departamento de Mantenimiento.

La Orden de Trabajo, es un documento que cumple tres funciones básicas:

- Se usa para autorizar o definir el trabajo que deberá ser realizado por cada área del Departamento de Mantenimiento.
- Servir como un documento de control básico para el planeamiento, desarrollo y control del trabajo.
- Es un documento que registra las labores realizadas por el personal de mantenimiento durante la intervención a algún sistema, equipo y/o componente.

La Orden de Trabajo logra estas funciones porque:

- Suministra la información necesaria para planear, programar y coordinar el trabajo a realizar.
- Permite acumular información sobre el progreso del trabajo y sobre detalles de la ejecución de las labores de mantenimiento, como base para mejorar en el futuro.

- Permite reunir datos referentes al mantenimiento para usarlos en planeamiento, presupuesto y estudios de los sistemas, subsistemas y equipos.
- Permite llevar, planear y controlar todos y cada uno de las actividades que se llevan a cabo como parte de la ejecución de los trabajos de mantenimiento preventivo y correctivo en las instalaciones del Reactor nuclear RP-10.

### 12.1. Planificación de la orden de trabajo

Para la planificación de una Orden de Trabajo, se tendrán en cuenta las siguientes prioridades:

**Prioridad 1.** - Ocurre cuando por cualquier circunstancia un equipo o sistema no funciona o deja de funcionar ocasionando con ello pérdida de producción y/o conlleva a un riesgo de seguridad; por ende, debe atenderse dentro de las 24 a 72 horas de emitida la orden de trabajo correspondiente.

**Prioridad 2.** - Es el ritmo normal de atención al equipo o sistema. Están ubicados los equipos más importantes y las reparaciones previstas de acuerdo a la importancia asignada. Debe de atenderse dentro de los 4 a 15 días de emitida la orden de trabajo correspondiente.

**Prioridad 3.** - Se atiende a los equipos o sistemas que por su importancia no califican como en los casos precedentes y la asignación corresponde a la importancia dentro del proceso de producción o experimentación normal. Debe de atenderse dentro de los 4 a 30 días de emitida la orden de trabajo correspondiente.

El responsable del Departamento Mantenimiento, en coordinación con los responsables funcionales de cada área, determinará al ejecutor del trabajo, es decir, si el trabajo se realizará con personal propio o se contratará un servicio para su ejecución.

Si el trabajo se va a realizar con personal propio, se procederá a delegar al Jefe de Sección, responsable de contar con los recursos necesarios para efectuar la orden de trabajo, y al personal técnico, responsable de la ejecución del trabajo.

Asimismo, los Responsable Funcionales de cada área del departamento mantenimiento deberán tener en cuenta los siguientes requisitos antes de iniciar los trabajos.

- **Comunicación:**

Coordinar con los operadores y/o encargados de los equipos, instrumentos y/o ambientes, a fin de planificar los procesos o trabajos que se llevan a cabo.

Coordinar con el oficial de protección radiológica en caso de trabajos que implique cierto riesgo de irradiación o contaminación radiactiva y/o el ingreso a zonas controladas.

Coordinar con el Responsable Funcional del Departamento Mantenimiento y con la Jefatura del Reactor RP-10, cuando se comprometa el suministro de la energía eléctrica a los laboratorios y/o servicios del reactor.

- **Información**

Contar con manuales, planos, diagramas e instrucciones de trabajo correspondientes

- **Seguridad**

Cumplir con la normativa de colocar los avisos de seguridad correspondientes, el uso de los dispositivos de seguridad industrial, radiológica y para evitar accidentes.

## **12.2. Ordenes de Mantenimiento Preventivo**

Las órdenes de mantenimiento preventivo serán generadas por los responsables funcionales de cada área en atención al Programa de Mantenimiento Preventivo [X].

Para ello, se emplearán los formularios:

RENU-MARE-RE-01: Orden de trabajo de mantenimiento preventivo; elaborado para la ejecución de la(s) tarea(s) especificada(s) en el PMP.

RENU-MARE-RE-02: Informe de mantenimiento preventivo, complemento de la orden de trabajo. Este formulario se conservará adjunto a la orden de trabajo de mantenimiento preventivo de cada componente o equipo de un sistema.

### **12.2.1. Responsabilidad del llenado de los formularios**

El llenado de estos formularios es responsabilidad de los responsables funcionales de cada área de mantenimiento, y por su importancia requiere especial dedicación alta capacidad técnica y acertado juicio.

### **12.2.2. Funciones de los formularios de Mantenimiento Preventivo**

- Establecen un método de control de la ejecución de los trabajos de mantenimiento preventivo que se realicen sobre los ESC.
- Permiten identificar al personal que participo en la ejecución del trabajo en cada oportunidad, en qué fecha lo hizo, el estado del equipo, anomalías observadas y las acciones correctivas realizadas como complemento de la tarea.
- Disponer de un registro rápido del estado del componente o equipo sobre el que se ha realizado el mantenimiento preventivo.

### **12.3. Ordenes de Mantenimiento Correctivo**

Las órdenes de mantenimiento correctivo serán generadas en base a las solicitudes efectuadas por las áreas usuarias.

Para ello, se emplearán los formularios:

RENU-MARE-RE-03: Orden de trabajo de mantenimiento correctivo; elaborado para la ejecución del requerimiento solicitado.

RENU-MARE-RE-04: Informe de mantenimiento correctivo, complemento de la orden de trabajo. Este formulario se conservará adjunto a la orden de trabajo de mantenimiento correctivo de cada componente o equipo de un sistema.

#### **12.3.1. Responsabilidad del llenado de los formularios**

Es responsabilidad del Responsable Funcional de Mantenimiento exigir la solicitud de trabajo emitida por el usuario, previo al inicio de cualquier trabajo de mantenimiento correctivo.

Los responsables funcionales de cada área de mantenimiento, deberán contar con la orden de trabajo de mantenimiento antes de autorizar el inicio de los trabajos por parte de su personal.

### **12.3.2. Funciones de la Planilla de Mantenimiento Correctivo**

- Permite establecer claramente las responsabilidades de los que intervienen en el proceso.
- Permite establecer en cualquier momento en que etapa del proceso se encuentra.
- Permite llevar un registro de los recursos empleados, que a su vez permita establecer un estimado de costos que genera el trabajo de mantenimiento correctivo.
- Permite, a través del circuito documentario establecido, el control (V° B°) final por parte del Jefe del Reactor de los equipos o componentes en mantenimiento.
- Constituye la fuente de información para el consolidado de los registros de mantenimiento correctivo.

## **13.PROCEDIMIENTO DE GESTION DE MATERIALES**

La adquisición de materiales, repuestos, insumos, herramientas y provisión de servicios está en función de los calendarios presupuestales, elaborados entre todas las áreas que conforman el Departamento de Mantenimiento y oficializados mediante el Cuadro de Necesidades aprobado anualmente.

La recepción de materiales, repuestos y herramientas se llevan a cabo de acuerdo con lo establecido en la Directiva para Selección y pago de proveedores del Instituto Peruano de Energía Nuclear [21]

### **13.1. Control de Repuestos**

Cada área de Mantenimiento, catalogará, controlará y mantendrá en forma permanente y actualizado el stock de repuestos, consumibles, herramientas e instrumentos asignados.

Asimismo, se hace necesario que, el Responsable Funcional de cada área de mantenimiento establezca un control de la organización y contenido del stock existente.

#### **14.PROCEDIMIENTO DE CONTRATACION DE SERVICIOS**

Los procedimientos de Contratación de servicios se realizan de acuerdo a la Ley de Contrataciones del Estado y su Reglamento. [11]

Los responsables funcionales de las áreas del Departamento de Mantenimiento son los responsables de la elaboración de las especificaciones técnicas o términos de referencia de las adquisiciones y servicios a contratar.

##### **Precisiones:**

- Se solicitará los servicios de terceros cuando el Departamento de Mantenimiento no disponga de los recursos humanos y/o herramientas o insumos disponibles.
- Los trabajos relacionados con el suministro de agua, desagüe convencional y energía eléctrica externa, así como los trabajos de resanes y pintado de techo paredes y piso de las instalaciones se coordinará con los responsables de la Unidad de Servicios Internos (SEIN) del IPEN o con los servicios de terceros.
- Se atenderá a terceros siempre y cuando correspondan a una prioridad alta y se disponga de los recursos necesarios.

#### **15.INDICADORES DE GESTIÓN**

Los indicadores son los parámetros de medición de la gestión de Mantenimiento, actualmente se lleva el control de los siguientes:

- Porcentaje de cumplimiento del Programa de Mantenimiento Preventivo.
- Cantidad de órdenes de trabajo programado y ejecutado por mantenimientos preventivos.
- Cantidad de órdenes de trabajo por mantenimientos correctivos.

Los indicadores listados son los considerados en el Plan Operativo Institucional (POI).

#### **16.DOCUMENTACIÓN**

Los responsables funcionales de cada área del departamento Mantenimiento serán responsables de contar con los procedimientos necesarios para efectuar las actividades que correspondan a sus respectivas áreas, teniendo en cuenta lo establecido en [22] [23]

Los registros elaborados por cada área, se encontrarán bajo su responsabilidad, teniendo en consideración [24]. Asimismo, la clasificación de la documentación generada durante el mantenimiento se efectuará, de acuerdo a lo señalado en [24]

En la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares, se cuenta con los siguientes soportes de información:

#### **16.1. Archivo de manuales y planos**

Los planos de los sistemas y componentes del Reactor RP-10, se encuentran en el archivo técnico centralizado, ante cualquier consulta.

#### **16.2. Archivo de Información Técnica**

Cada Área de Mantenimiento centralizará un archivo de información técnica que contenga, entre otras cosas: Prospectos de fabricantes, folletos técnicos, direcciones de proveedores, datos prácticos de donde obtener en plaza determinados productos, etc.

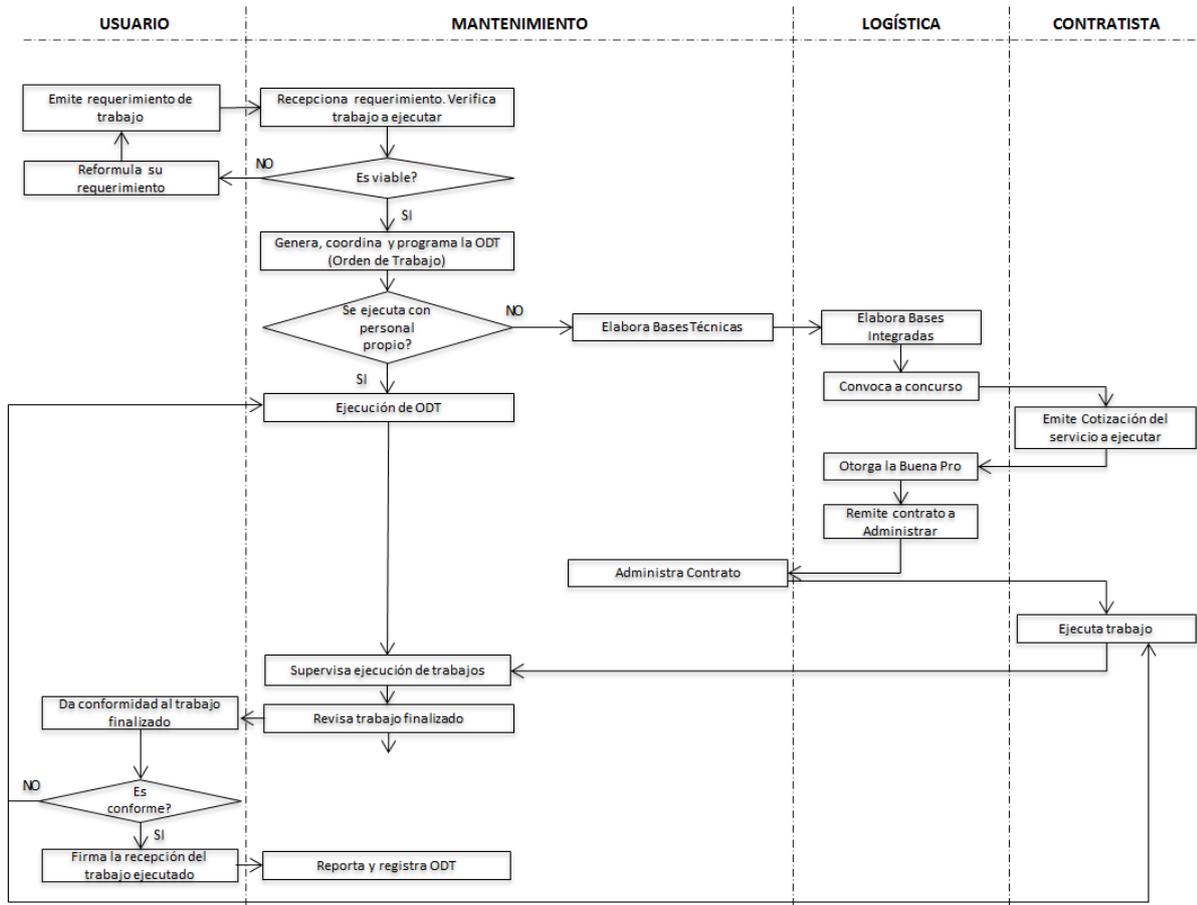
### **17.FORMULARIOS**

RENU-MARE-PN-001 Plan y Programa de Mantenimiento Preventivo  
RENU-MARE-RE-01: Orden de trabajo de mantenimiento preventivo  
RENU-MARE-RE-02: Informe de trabajo de mantenimiento preventivo  
RENU-MARE-RE-03: Orden de trabajo de mantenimiento correctivo  
RENU-MARE-RE-04: Informe de trabajo de mantenimiento correctivo

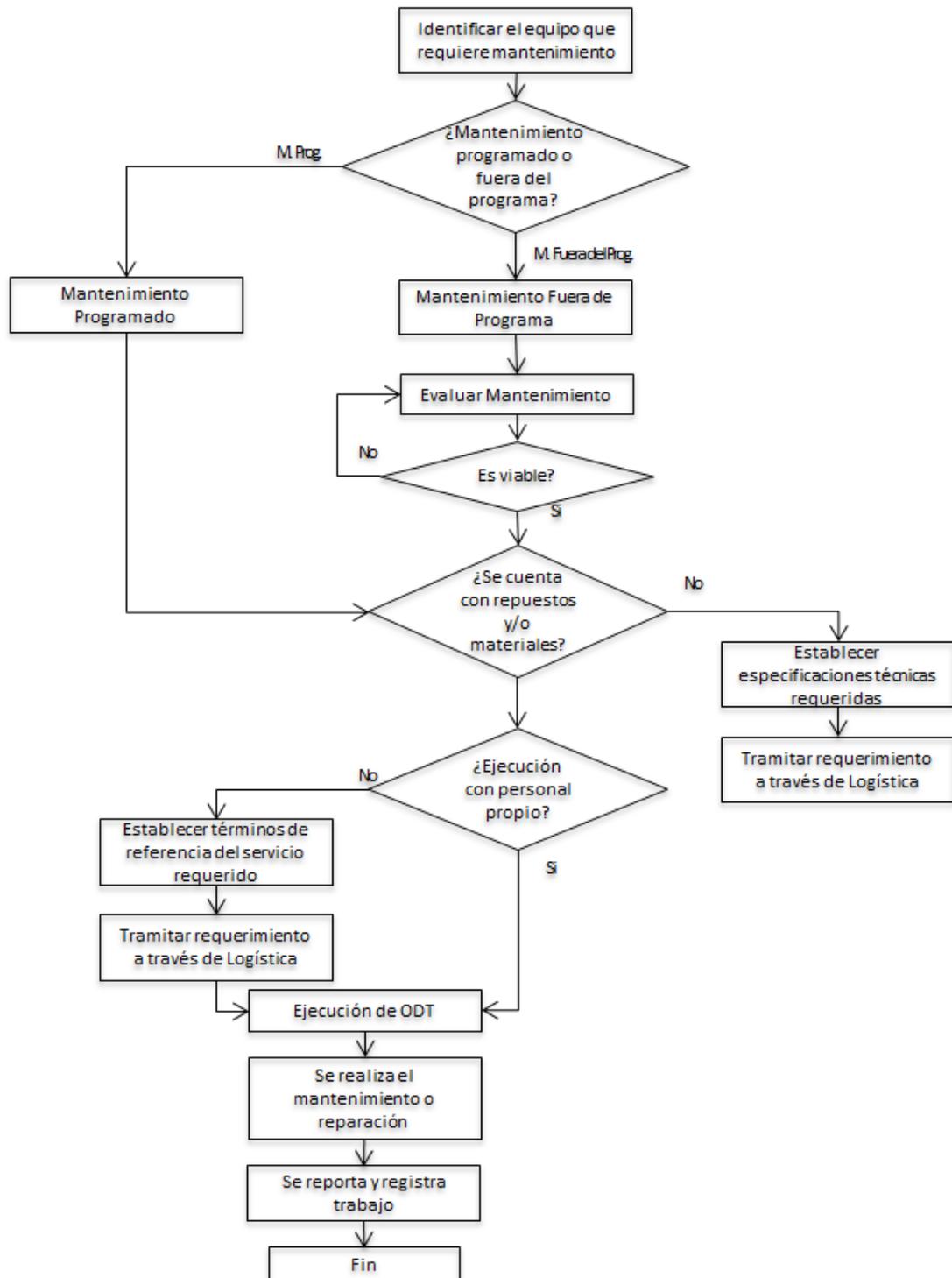
### **18.ANEXOS**

Anexo N° 1: Flujograma de atención por mantenimiento  
Anexo N° 2: Planificación y ejecución de trabajos  
Anexo N° 3: Contratación de servicios  
Anexo N° 4: Adquisición de materiales

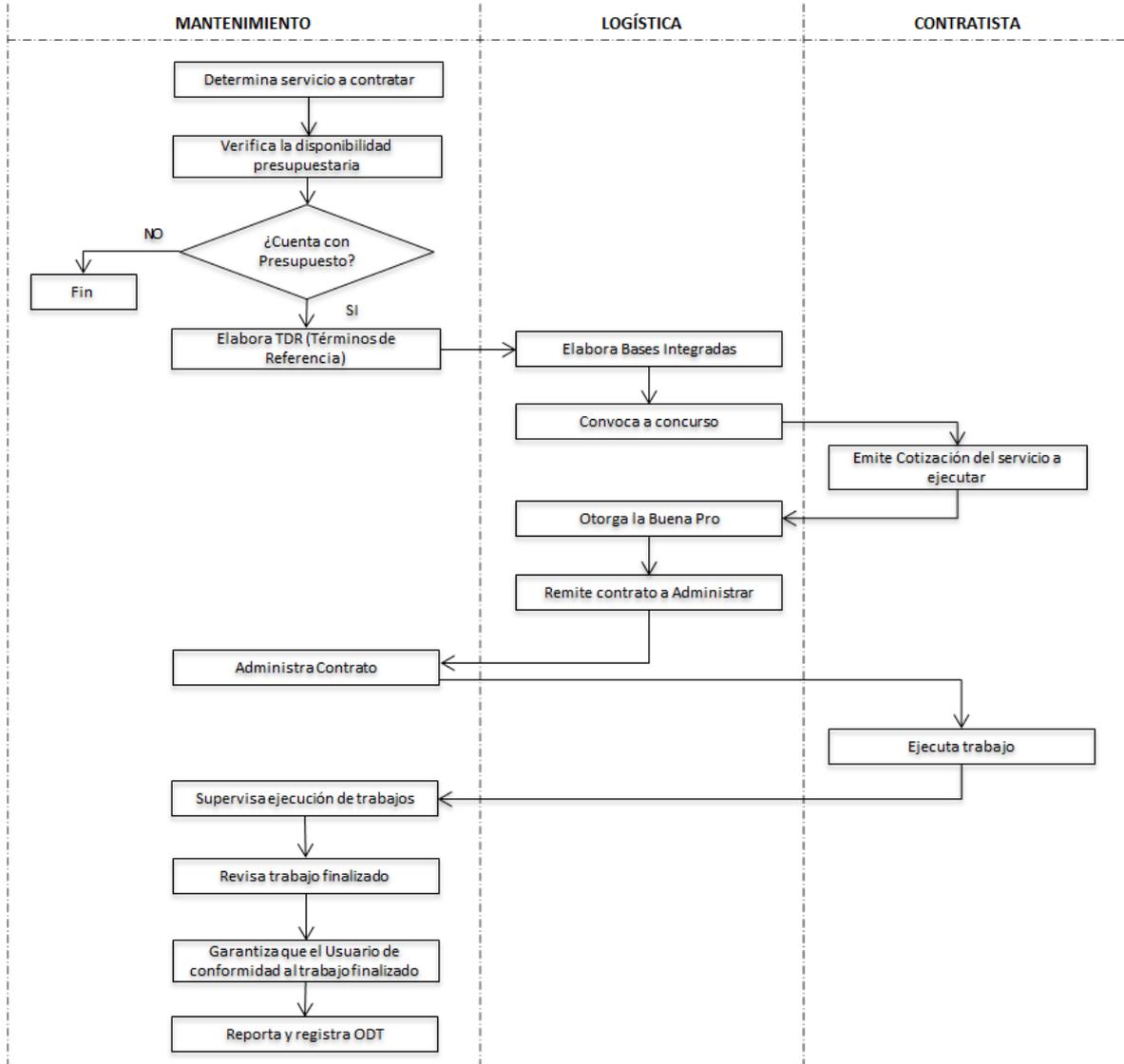
## ANEXO N° 1 FLUJOGRAMA DEL SERVICIO DE MANTENIMIENTO



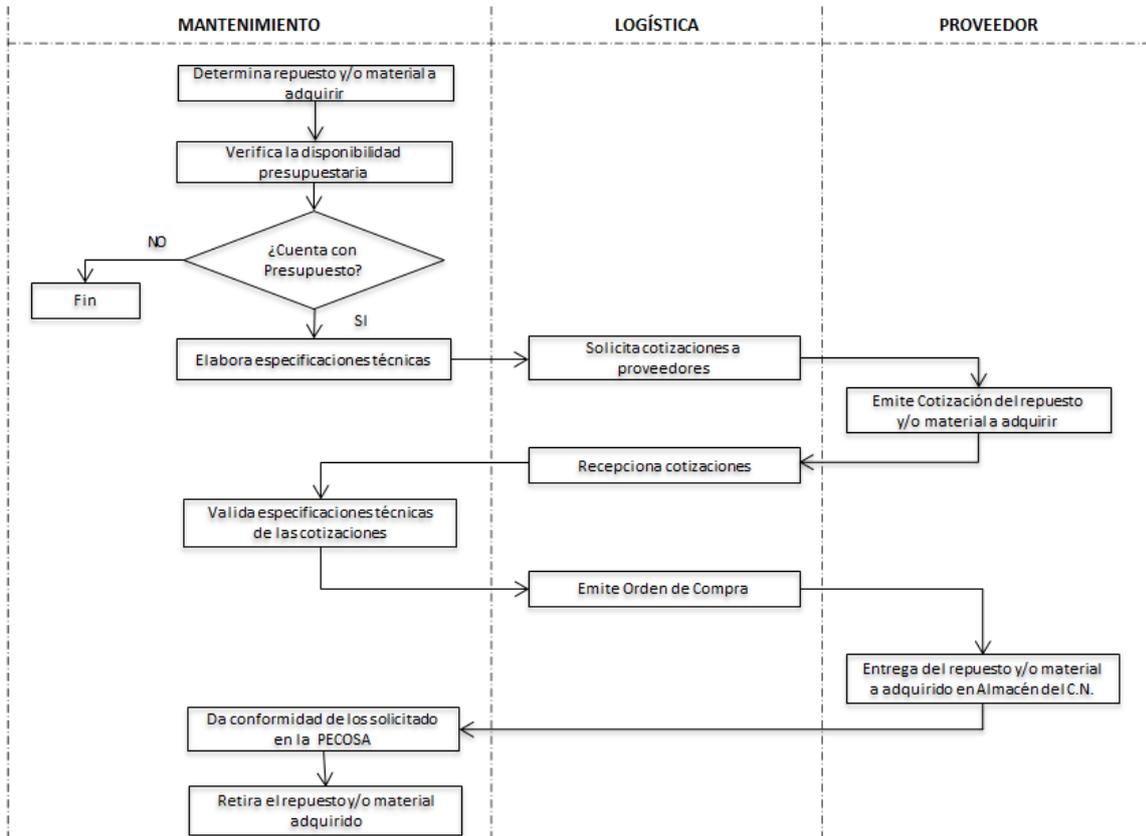
**ADJUNTO N° 2**  
**PLANIFICACIÓN Y EJECUCIÓN DE TRABAJOS**



### ADJUNTO N° 3 CONTRATACIÓN DE SERVICIOS



## ADJUNTO N° 4 ADQUISICIÓN DE MATERIALES



**Anexo 6: Producto N° 4: Propuesta de programa de capacitación para  
licenciamiento del personal mantenedor de la Sub Dirección de Operación  
de Reactores Nucleares**

**PROGRAMA DE CAPACITACION DEL PERSONAL DEL  
DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO**

	<b>Cargo o Función</b>	<b>Nombre</b>	<b>Firma</b>	<b>Fecha</b>
<b>Aprobado por:</b>	Sub Director RENU			
<b>Revisado por GCAL:</b>	Responsable Funcional de GCAL			
<b>Revisado por Dpto.:</b>	Jefe del RP-10			
<b>Elaborado por:</b>	Responsable Funcional de MARE			

**1. Objetivo**

Capacitar al personal del Departamento de Mantenimiento de la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares en temas nucleares, seguridad nuclear y protección radiológica, además de los procedimientos de emergencia y mantenimiento, y con ello poder optar por su Licencia Individual, acorde a lo que establezca la Oficina Técnica de la Autoridad Nacional (OTAN).

**2. Alcance**

Aplicable al personal del Departamento de Mantenimiento de la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares para la formación de recursos humanos capacitados y entrenados en intervenciones en instalaciones nucleares, aplicando siempre las recomendaciones internacionales y la normativa nacional sobre seguridad nuclear y protección radiológica.

**3. Referencias Bibliográficas**

[1] Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic safety Standards; General Safety Requirements Part 3, GSR Part 3., International Atomic Energy Agency, IAEA, Vienna 2014.

[2] Evaluación de la Exposición Ocupacional debida a Fuentes Externas de Radiación, Colección Normas de Seguridad del OIEA, No RS-G-1.3, Viena 2004.

[3] Evaluación de la Exposición Ocupacional debida a Incorporación de Radionucleídos, Colección Normas de Seguridad del OIEA, Guía de Seguridad N° RS-G-1.3, Viena 2004.

[4] Protección Radiológica Relacionada con la Exposición Médica a la Radiación Ionizante; Guía de Seguridad RS-G-1.5, Organismo Internacional de Energía Atómica, OIEA, Viena 2010.

[5] Protección Radiológica Ocupacional, Colección Normas de Seguridad del OIEA, Guía de Seguridad N° RS-G-1.1, Viena 2004.

[6] Recommendations International Commission on Radiological Protection, (ICRP 103), Madrid, (2008)

[7] Aplicación de los Conceptos de Exclusión, Exención y Dispensa, Colección Normas de Seguridad del OIEA, Guía de Seguridad N° RS-G-1.7, Viena 2007.

[8] Principios Fundamentales de Seguridad; Normas de Seguridad del OIEA, Nociones Fundamentales de Seguridad N° SF -1, Viena 2007.

[9] Clasificación de los Desechos Radiactivos; Normas de Seguridad del OIEA, Guías Generales de Seguridad N° GSG-1, Viena 2009.

[10] Control Reglamentario de las Descargas Radiactivas al Medio Ambiente; Normas de Seguridad del OIEA, Guías de Seguridad N° WS-G-2.3, Viena 2007.

[11] Almacenamiento de Desechos Radiactivos; Normas de Seguridad del OIEA, Guías de Seguridad N° WS-G-6.1, Viena 2009.

[12] Implications for Occupational Radiation Protection of the New Dose Limit for the Lens of the Eye; IAEA TECDOC Series N° 1731, Vienna 2013.

[13] Reglamento para el Transporte Seguro de Materiales Radiactivos; Requisitos de Seguridad Específicos N° SSR-6, OIEA, Viena 2012.

[14] Creación de Competencias en Materia de Protección Radiológica y Uso Seguro de las Fuentes de Radiación; Guía de Seguridad del OIEA N° RS-G-1.4, Viena 2010.

[15] Preparación y Respuesta a Situaciones de Emergencia Nuclear o Radiológica; Normas de Seguridad del OIEA, Requisitos N° GS-R-2, Viena 2004.

[16] Manual para Primeros Actuantes ante Emergencias Radiológicas; Organismo Internacional de Energía Atómicas, Viena 2007.

[17] Normativa Peruana sobre las funciones y responsabilidades en protección radiológica:

- Decreto Supremo N° 009-97-EM, Reglamento de Seguridad Radiológica.
- Decreto Supremo N° 039-2008-EM, Reglamento de la Ley N°28028, Ley de Regulación del uso de fuentes de radiación ionizante.

#### **4. Perfil de los Participantes**

Los participantes deben poseer formación académica de nivel técnico o profesional, cuyas funciones estarán relacionadas con los procesos de mantenimiento del reactor nuclear de investigación RP-10, acorde a lo que establezca la Oficina Técnica de la Autoridad Nacional (OTAN).

#### **5. Estructura del Programa**

El programa tiene carácter multidisciplinario y está basado en las Normas Internacionales y Guías de Seguridad del OIEA, ICRP, relacionado a la protección radiológica y a la seguridad nuclear; así como, en los informes y procedimientos de seguridad del reactor nuclear RP-10.

El curso comprende diez unidades temáticas: Se presentan los conceptos generales de protección radiológica y los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes, incluyendo temas específicos relacionados con los procedimientos de seguridad y protección radiológica operacional establecidos en el reactor RP-10. Asimismo, se presenta el Plan de Emergencia y finalmente en las últimas unidades se abordan el marco legal de la protección radiológica y la cultura de seguridad, y los procedimientos del Departamento de Mantenimiento de la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares.

#### **6. Logística para el desarrollo del curso**

Las clases se desarrollarán de dos modos:

##### **6.1 Modo Presencial**

Las clases teóricas se desarrollarán de modo presencial utilizando los recursos del Auditorio de Laboratorios Auxiliares del reactor nuclear RP-10, contando con: una PC, un proyector multimedia, pizarra acrílica y otros medios demostrativos e interactivos disponibles.

Todas las clases prácticas se llevarán a cabo utilizando las instalaciones e infraestructura del reactor nuclear RP-10, Laboratorios de Espectrometría Gamma e instalaciones del Departamento de Seguridad Integral.

## 6.2 Modo Remoto

Las clases en modo presencial, adicionalmente, serán transmitidas de forma virtual haciendo uso de la plataforma virtual (Webex), cuya conectividad estará a cargo del Centro Superior de Estudios Nucleares (CSEN).

## 6.3 Control de Asistencia

El curso es de carácter obligatorio, el participante podrá asistir de forma presencial o remoto, atendiendo a las disposiciones de la Unidad de Recursos Humanos (REHU) en cumplimiento con las medidas de bioseguridad establecidas.

En el modo presencial, el control de asistencia se llevará a cabo a través de la firma del participante en un formato entregado y aprobado por CSEN.

En el modo remoto, el control de asistencia será a través de la plataforma Webex a cargo del CSEN.

### **Material bibliográfico**

Durante el desarrollo del curso, vía correo electrónico, se entregará a cada participante información digital de los temas a tratar, en formatos \*.ppt, \*.pdf, videos y enlaces relacionados.

Para mayor información de los temas considerados en el presente programa, también se cuenta con las Normas y Guías de Seguridad del Organismo Internacional de Energía Atómica, las cuales serán compartidos con los participantes.

## 7. Duración del curso y fecha estimada de inicio y finalización

- ✓ Duración: El curso tendrá una duración de 52 horas cronológicas, además de 10 horas destinadas a prácticas de laboratorio.
- ✓ Horario propuesto: días martes de 8:30 a 12:45 horas, con descanso intermedio de 15 minutos (4 horas cronológicas).
- ✓ Fecha propuesta de inicio: 02 de agosto del 2022.
- ✓ Fecha probable de finalización: 29 de noviembre del 2022.

- ✓ Nota: En las 62 horas totales del curso, no se incluye las horas destinadas a 02 exámenes escritos.

## 8. Evaluación y Certificación

La evaluación será a través de exámenes escritos, un examen parcial a la mitad del programa y un examen final al culminar. Ambas evaluaciones se desarrollarán en modo presencial, cuya programación se definirá luego de aprobado la fecha de inicio del curso.

El sistema de evaluación será vigesimal, cuya nota aprobatoria será 14 (o equivalente). Caso contrario el participante solicitará un examen de recuperación previa coordinación con el docente respectivo.

Se entregará un certificado de capacitación a nombre del Centro Superior de Estudios Nucleares (CSEN).

## 9. Programa Analítico

Las Unidades temáticas son las siguientes

### 9.1. UNIDAD I: Revisión de conceptos fundamentales de física nuclear.

#### **Objetivo:**

Hacer una breve revisión de los conceptos básicos de química y física nuclear; así como, características de la radiación ionizante.

#### **Contenido:**

- ❖ Estructura de la materia: átomo y núcleo atómico, niveles de energía, Isótopos y radioisótopos.
- ❖ Radiación y Radiactividad: Fuentes de radiación y fuentes de radiactividad. Ionización, El espectro electromagnético. Características: longitud de onda y energía.
- ❖ Decaimiento radiactivo: Modos de decaimiento: alfa, beta negativo, beta positivo, gamma, captura electrónica, conversión interna, transición isomérica. Periodo y constante de decaimiento. Actividad radiactiva, Unidades, cálculos sencillos. Cadenas de decaimiento: Equilibrio secular y transitorio: casos típicos.

Actividad de aprendizaje: Visita guiada a las instalaciones del Reactor Nuclear RP-10.

## 9.2. UNIDAD II: Interacción de la radiación ionizante con la materia.

### **Objetivo**

Conocer las diversas modalidades de interacción entre la radiación ionizante con la materia y a partir de ello entender el riesgo y los efectos biológicos asociados.

### **Contenido:**

- ❖ Interacción con fotones (rayos gamma y rayos X).  
Modos de interacción: efecto fotoeléctrico, dispersión Compton, producción y aniquilación de pares. Radiación dispersa, energía asociada.  
Factores que determinan el modo de interacción: densidad del medio, energía de la radiación.  
Atenuación: Coeficientes de atenuación lineal y másico. Factor de acumulación (Build up). Materiales utilizados como blindajes para radiación gamma. HVL y DHL.
  
- ❖ Interacción con partículas cargadas (radiación alfa, beta)  
Mecanismos de transferencia de energía: ionización, excitación. Transferencia lineal de energía (LET).  
Relación alcance – energía. Curva de Bragg. Materiales utilizados como blindajes para radiación beta. Interacción en agua y en tejido humano.

Actividad de aprendizaje: Video sobre la interacción de la radiación con la materia.

## 9.3. UNIDAD III: Magnitudes de Protección Radiológica.

### **Objetivo**

Familiarizarse con las magnitudes y unidades utilizadas en protección radiológica, así como en el uso de equipos de vigilancia radiológica y dosimétrica.

### **Contenido:**

- ❖ Magnitudes dosimétricas: Dosis absorbida, dosis equivalente, dosis efectiva.  
Factores de ponderación: por tipo de radiación y tejido biológico. Unidades. Exposición y kerma.
  
- ❖ Magnitudes operacionales: Conceptos de campo extendido y alineado. Dosis equivalente ambiental. Dosis equivalente direccional. Dosis equivalente personal.

Actividad de aprendizaje: Visita guiada al Laboratorio Secundario de Calibraciones Dosimétricas.

#### **9.4. UNIDAD IV: Efectos Biológicos de las Radiaciones Ionizantes.**

##### **Objetivos**

Estudiar la interacción de la radiación ionizante con los sistemas biológicos y los efectos asociados a nivel molecular, celular y del organismo.

Conocer y evaluar los niveles de riesgo de la radiación ionizante sobre la salud humana, su relación dosis–efecto, y las medidas de protección radiológica.

##### **Contenido:**

- ❖ Efectos de la radiación en las moléculas y células: Efectos directos e indirectos de la radiación a nivel celular, Generación de radicales libres. Interacción con el ADN. Radio sensibilidad celular, transferencia lineal de energía (LET).
- ❖ Efectos Determinísticos: Curva dosis-efecto. Umbral. Severidad. Efecto del fraccionamiento y de la tasa de dosis. Efecto de la calidad de la radiación. Irradiación de todo el cuerpo: Síndrome agudo de radiación (SAR); sistema hematopoyético; tracto gastrointestinal; sistema nervioso central. Irradiación parcial del cuerpo: Dosis umbral para tejidos y órganos particulares: piel (eritema, ulceración, efecto del tipo y calidad de la radiación); tiroides; pulmón; cristalino; gónadas; médula ósea. Exposiciones accidentales: reporte de casos.
- ❖ Efectos Estocásticos: Efectos estocásticos somáticos: inducción y desarrollo de cáncer. Relación dosis – respuesta. Modelos de riesgo relativo y absoluto. Factor de eficiencia debido a dosis y tasa de dosis. Factores de riesgo. Efectos estocásticos hereditarios, y daño a cromosomas, mutaciones génicas, dosis dobladora.
- ❖ Efectos sobre el embrión y el feto. Sensibilidad en los diferentes estadios de desarrollo. Desarrollo cerebral y retardo mental. Inducción de leucemia y cánceres.

#### **9.5. UNIDAD V: Detectores de Radiación Ionizante y Dosimetría.**

##### **Objetivos**

Conocer los principios sobre los que se basa la detección de radiaciones y la medición de magnitudes asociadas a la protección radiológica.

Utilizar la apropiada instrumentación para cada campo de radiación y magnitud a determinar; así como conocer el correcto funcionamiento de la instrumentación.

Interpretar las mediciones y su aplicación enfocado a la protección ocupacional

**Contenido:**

- ❖ Detectores de radiación ionizante: Principios de detección, alto voltajes, corriente, amplificación, curva de Palteau. Detectores Geiger, cámaras de ionización, Aplicaciones.
- ❖ Sistemas de espectrometría gamma: Detectores de centelleo, fotomultiplicador, amplificación, conversor digital, tiempo muerto, ganancia gruesa y ganancia fina, eficiencia, resolución. Detectores semiconductores, eficiencia y resolución. Comparación de espectros de un detector de centelleo y semiconductor, ventajas y desventajas.
- ❖ Dosímetros: dosímetros de película, TLD, fundamento de registro de la dosis, lectura.
- ❖ Evaluación de la exposición ocupacional debida a fuentes externas de radiación.
- ❖ Propósito del monitoreo: monitores fijos y portátiles; monitoreo con fines de planificación del trabajo. Exposición y contaminación radiactiva.
- ❖ Dosímetros integradores: dosímetros de película, TLD y electrónicos calibrados para dosis equivalente personal; requerimientos de desempeño de dosímetros personales.
- ❖ Evaluación de la dosis efectiva en varias condiciones de exposición externa; aproximaciones prácticas. Dosimetría de todo el cuerpo, extremidades y piel.
- ❖ Evaluación de la exposición ocupacional debida a incorporación de radionúclidos
  - Modos de incorporación:
    - Inhalación: Tamaño de partícula, aerosoles, AMAD.
    - Ingestión y absorción a través de la piel o heridas: Influencia de la actividad específica y del estado físico-químico: retención en tejidos, Aspectos cuantitativos de la incorporación.

- Cálculo de la dosis efectiva comprometida

Dosis efectiva comprometida por unidad de incorporación. Modelos dosimétricos de la ICRP. Cálculo de la contribución del órgano a la dosis efectiva.

- Técnicas y procedimientos de monitoreo

Monitoreo del lugar de trabajo: Monitoreo de superficies y aire; concepto de DAC; frecuencia de monitoreo; niveles de referencia.

Monitoreo Personal: Mediciones directas en tiroides, pulmón, todo el cuerpo;

Mediciones indirectas: muestras de orina, soplido nasal, sangre.

Actividades de aprendizaje:

- Prácticas de uso de monitores portátiles de radiación
- Prácticas de uso de detectores de centelleo y semiconductores.

## **9.6.UNIDAD VI: Fundamentos de Seguridad Radiológica y Protección Radiológica Operacional.**

### **Objetivos**

Presentar aspectos específicos de la protección radiológica asociados a los procesos de producción de radioisótopos y radiofármacos en la PPRR.

Familiarizar al personal de ocupacionalmente expuesto de la PPRR en la correcta aplicación medios de protección radiológica, con la finalidad de evitar los efectos deterministas y reducir los efectos estocásticos de la radiación ionizante.

### **Contenido:**

- ❖ Descripción general de la instalación.
- ❖ Sistema de ventilación y sistema eléctrico.
- ❖ Ingreso y desplazamiento del personal en las instalaciones.
- ❖ Riesgos radiológicos de operadores y medios para la protección.
  - Riesgos radiológicos: Irradiación y contaminación radiactiva. Diferencias y similitudes
  - Equipo y medios de protección para la irradiación.
  - Equipos y medios de protección para la contaminación.
  - Recintos de producción: características importantes de protección radiológica.

- ❖ Vigilancia radiológica
  - Vigilancia radiológica de Áreas: Sistema de monitoreo, monitores fijos y portátiles. Monitoreo de aire.
  - Vigilancia radiológica individual: dosimetría externa y dosimetría interna.
  - Vigilancia radiológica ambiental: monitoreo de la descarga de efluentes gaseosos y líquidos.
  
- ❖ Gestión de Desechos Radiactivos
  - Principios Fundamentales de la gestión de desechos radiactivos
  - Clasificación, caracterización, almacenamiento temporal y gestión de desechos radiactivos.
  - Responsabilidades en la gestión de desechos radiactivos.

## 9.7. UNIDAD VII: Plan de Emergencia Radiológica

### **Objetivos**

Dar a conocer a los participantes los riesgos potenciales asociados con los procesos de irradiación.

Dar a conocer a los participantes sobre la organización para hacer frente en caso de ocurrir alguna emergencia radiológica.

Tomar acciones protectoras para evitar efectos deterministas y reducir los efectos estocásticos de las radiaciones ionizantes.

### **Contenido:**

- ❖ Informe de Análisis de Seguridad: Incidentes y accidentes postulados.
  
- ❖ Plan de Emergencia Radiológica: Organización, Responsabilidades, Grupos de Actuación.
  
- ❖ Equipamiento para atención de emergencias radiológicas.
  
- ❖ Ejercicios de evaluación del Plan, Simulacros.
  
- ❖ Atención de accidentados por exposición y/o contaminación.

Actividad de aprendizaje: Ejecución de un simulacro radiológico en coordinación con la Oficina Técnica de la Autoridad Nacional.

## **9.8. UNIDAD VIII: Marco Legal de la protección radiológica y cultura de seguridad.**

### **Objetivos**

Conocer aspectos de la regulación nacional sobre las prácticas que dan lugar a exposición o potencial exposición a radiaciones ionizantes.

Fomentar la cultura de la seguridad aplicado a los procesos de irradiación en el reactor nuclear RP-10.

### **Contenido:**

- ❖ Aspectos reguladores en materia de seguridad radiológica: Autorizaciones, Licencias, Registro. Autoridad Reguladora.
- ❖ Ley de regulación del uso de fuentes de radiación ionizante, Reglamento (Ley 28028), Reglamentación.
- ❖ Licencia de Funcionamiento, Condiciones de la Licencia, Obligaciones del usuario.
- ❖ Requisitos para obtener licencia individual, infracciones y sanciones.
- ❖ Organización y líneas de autoridad institucional.
- ❖ Política institucional orientada a la seguridad radiológica: recursos materiales y humanos, compromisos.
- ❖ Fomento de la cultura de la seguridad: ambiente de trabajo, actitudes individuales, capacitación, entrenamiento y mejoras permanentes.

## **9.9. UNIDAD IX: Sistema de gestión en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares.**

### **Objetivo**

Conocer aspectos del sistema de gestión vigente en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares.

**Contenido:**

- ❖ Sistema de Gestión de la Calidad. Gestión documentaria. Repositorio de la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares.
- ❖ Clasificación de los documentos. Planoteca. Archivo general.

**9.10. UNIDAD X: Procedimientos del Departamento de Mantenimiento.**

**Objetivo**

Conocer los procedimientos relacionados a las labores a cargo del Departamento de Mantenimiento de la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares.

**Contenido:**

- ❖ Manual de Mantenimiento. Indicadores de gestión de mantenimiento. Cuadro de Necesidades.
- ❖ Programa de Mantenimiento Preventivo. Procedimientos de mantenimiento. Ordenes de mantenimiento preventivo.
- ❖ Procedimientos de pruebas periódicas. Procedimiento de liberación de estructuras, componentes y sistemas para la operación del reactor nuclear de investigación RP-10; uso de formularios de este procedimiento.
- ❖ Procedimientos de inspección. Atención de solicitudes de mantenimiento correctivo. Ordenes de mantenimiento correctivo. Niveles de prioridad y atención de solicitudes.

**10. Equipo docente del curso**

En las siguientes tablas se presenta el listado de los docentes para las clases teóricas y las prácticas de laboratorio.

**Tabla 1: Listado con los docentes que tendrá a cargo las clases teóricas.**

Unidad	Título	N° Horas	Docente
I	Revisión de conceptos fundamentales de física nuclear	4	
II	Interacción de la radiación ionizante con la materia	4	
III	Magnitudes de Protección Radiológica	4	

IV	Efectos Biológicos de la Radiación Ionizante	6	
V	Detectores de Radiación Ionizante y Dosimetría	8	
VI	Fundamentos de Seguridad y Protección Radiológica Operacional	6	
VII	Plan de Emergencia Radiológica	4	
VIII	Marco Legal de la Protección Radiológica y Cultura de Seguridad	4	
IX	Sistema de gestión en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares	4	
X	Procedimientos del Departamento de Mantenimiento	8	

**Coordinador del curso:**

## Tabla 2

**Listado con los docentes que tendrá a cargo las clases prácticas.**

Práctica	Título	Docente
1	Visita guiada a las instalaciones del LSCD	
2	Uso de equipos de monitoreo de radiación externa y contaminación superficial	
3	Transferencia de muestras desde RRMI en el RP-10 hasta los recintos de producción en PPRR (simulado)	
4	Simulacro radiológico	
5	Muestreo de efluentes líquidos y gaseosos, análisis e interpretación.	

**Coordinador de las prácticas:**

## Anexo 7: Estructura de Costos estimados por los productos propuestos

### Producto 1: Actualización del Programa de mantenimiento en la Sub Dirección de Operación de Reactores Nucleares

Equipo de Trabajo	Tiempo (Horas)	Remuneración mensual	Costo H-H	Costo Parcial
Responsable funcional del Departamento de Mantenimiento.	80	6,500.00	40.63	3,250.00
Responsable funcional del Departamento de Garantía de Calidad.	16	6,200.00	38.75	620.00
Responsable funcional del área de mecánica – eléctrica.	104	5,550.00	34.69	3,607.50
Responsable funcional del área de instrumentación y control.	104	5,550.00	34.69	3,607.50
Responsable funcional del área de química de reactores.	96	5,550.00	34.69	3,330.00
Técnico mecánico	240	2,900.00	18.13	4,350.00
Técnico químico	152	2,900.00	18.13	2,755.00
Técnico electricista	240	2,900.00	18.13	4,350.00
Técnico electrónico	200	2,900.00	18.13	3,625.00
Materiales e insumos	Cantidad	Unidad de Medida	Costo Unitario	Costo Parcial
Útiles de escritorio	1	Global	3,305.00	3,305.00
Sillas ergonómicas	9	Unidad	300.00	2,700.00
Estante para archivadores	2	Unidad	800.00	1,600.00
Archivadores	100	Unidad	9.00	900.00
Herramientas básicas	1	Global	7,000.00	7,000.00

**Costo Total por el Producto 1 S/ 45,000.00**

### Producto 2: Procedimiento de liberación de estructuras, componentes y sistemas para la operación del reactor nuclear de investigación RP-10

Equipo de Trabajo	Tiempo (Horas)	Remuneración mensual	Costo H-H	Costo Parcial
Sub Director de Operación de Reactores Nucleares	16	7,150.00	44.69	715.00
Jefe del Reactor RP-10	32	6,500.00	40.63	1,300.00

Responsable funcional del Departamento de Mantenimiento.	80	6,500.00	40.63	3,250.00
Responsable funcional del Departamento de Garantía de Calidad.	8	6,200.00	38.75	310.00
Responsable funcional del área de mecánica – eléctrica.	96	5,550.00	34.69	3,330.00
Responsable funcional del área de instrumentación y control.	96	5,550.00	34.69	3,330.00
Responsable funcional del área de química de reactores.	96	5,550.00	34.69	3,330.00
<b>Materiales e insumos</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad de Medida</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo Parcial</b>
Útiles de escritorio	1	Global	2,735.00	2,735.00
Sillas ergonómicas	7	Unidad	300.00	2,100.00

**Costo Total por el Producto 2 S/ 20,400.00**

### Producto 3: Actualización del Manual de mantenimiento

<b>Equipo de Trabajo</b>	<b>Tiempo (Horas)</b>	<b>Remuneración mensual</b>	<b>Costo H-H</b>	<b>Costo Parcial</b>
Sub Director de Operación de Reactores Nucleares	32	7150.00	44.69	1,430.00
Jefe del Reactor RP-10	48	6500.00	40.63	1,950.00
Responsable funcional del Departamento de Mantenimiento.	136	6500.00	40.63	5,525.00
Responsable funcional del Departamento de Garantía de Calidad.	24	6200.00	38.75	930.00
Responsable funcional del área de mecánica – eléctrica.	320	5550.00	34.69	11,100.00
Responsable funcional del área de instrumentación y control.	320	5550.00	34.69	11,100.00
<b>Materiales e insumos</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad de Medida</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo Parcial</b>
Útiles de escritorio	1	Global	1,865.00	1,865.00
Sillas ergonómicas	6	Unidad	300.00	1,800.00

**Costo Total por el Producto 3 S/ 35,700.00**

**Producto 4: Programa de desarrollo personal**

<b>Equipo de Trabajo</b>	<b>Tiempo (Horas)</b>	<b>Remuneración mensual</b>	<b>Costo H-H</b>	<b>Costo Parcial</b>
Sub Director de Operación de Reactores Nucleares	80	7,150.00	44.69	3,575.00
Jefe del Reactor RP-10	168	6,500.00	40.63	6,825.00
Responsable funcional del Departamento de Mantenimiento.	200	6,500.00	40.63	8,125.00
<b>Materiales e insumos</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad de Medida</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo Parcial</b>
Útiles de escritorio	1	Global	575.00	575.00
Sillas ergonómicas	3	Unidad	300.00	900.00

**Costo Total por el Producto 4 S/ 20,000.00**