

Propuesta de sistema de gestión de mantenimiento centrado en confiabilidad RCM basado en la NFPA 25 para la red contraincendios en la planta de almacenamiento de GLP Ipiales – Nariño de la empresa INS S.A E.S.P.

Nestor Fabian Ordoñez Martinez

Monografía para Optar al Título de Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Director

Oscar Rodolfo Bohórquez Becerra

PhD en Ingeniería de Materiales

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físicomecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica

Especialización en Gerencia de Mantenimiento

Bucaramanga

2024

Dedicatoria

Dedico este logro a Dios hacer posible esta meta y bendecirme cada día a día.

A mi esposa por su apoyo, cariño y comprensión incondicionalmente.

A mis padres, por ese apoyo incondicional y motivación en este proceso.

Agradecimientos

Quiero dar gracias a Dios por darme las capacidades, permitiéndome alcanzar un logro más y de esta manera seguir adquiriendo conocimientos y habilidades a través de esta especialización que aporta en gran manera al crecimiento profesional, formándome como una persona íntegra y competitiva que aporta a través del conocimiento a la sociedad y el país.

A mis padres, mi hermano y mi esposa, especialmente mi madre por la motivación y el apoyo incondicional que me brindó al inicio de este proceso que ya hoy se convierte en un logro.

A la alcaldía de Barrancabermeja que por medio del programa becas centenario me apoyó económicamente asumiendo parte del costo de esta especialización.

A la empresa Ingeniería y Servicios S.A. E.S.P. por la disposición y el apoyo al acceder para realizar el proyecto en esta organización, asistir de forma presencial a cada una de las clases y poder cumplir esta meta.

A la Universidad Industrial de Santander, por concederme ser parte de esta gran institución y formarme para alcanzar este logro.

A mi director de trabajo de grado el Ingeniero Oscar Rodolfo Bohórquez Becerra por el apoyo, el acompañamiento y la colaboración en el desarrollo de este proyecto compartiendo sus conocimientos y experiencia en el tema.

A los profesores de la especialización, por el aporte que cada uno realizó desde su conocimiento y experiencia para la orientación a mi formación como especialista.

Al Ingeniero Daud Velasco Angulo, por todo el apoyo y la motivación brindada en este proceso de formación.

A los compañeros y amigos de la especialización que cada uno desde su área y experiencia realizó parte de este proceso.

Tabla de Contenido

		Pág.
Introducción		14
1	Planteamiento del problema – identificación de la necesidad	14
1.1	Idea de investigación – problema	17
1.2	Pregunta de investigación	17
1.2.1	Problema	17
1.2.2	Causas	18
1.2.3	Solución	19
1.3	Justificación	19
2	Objetivos	23
2.1	Objetivo General	23
2.2	Objetivos Específicos	23
3	Marco Teórico	24
3.1	Instalaciones de sistema contra incendio en sistemas de GLP	24
3.2	Estrategias de mantenimiento	25
3.3	Sistema de gestión de mantenimiento	27
3.4	Mantenimiento de equipos	27
3.5	Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM	28
3.5.1	Las siete preguntas	28
3.6	Análisis de causa, efecto y modo de falla FMECA	29
3.6.1	Algunas definiciones referentes a las fallas	30
3.6.1.1	Falla funcional.	30

3.6.1.2	Causa de falla.....	31
3.6.1.3	Efecto de falla.	31
3.6.1.4	Modo de falla.	31
3.7	Gestión y manejo de inventario de repuestos e insumos de mantenimiento.....	31
3.8	Costos de mantenimiento.....	32
3.8.1	Costos por penalizaciones legales.....	33
4	Marco legal	34
5	Metodología	35
5.1	Preliminares	35
5.1.1	Jerarquización de Equipos	35
5.1.2	Estructura de la taxonomía.....	35
5.1.3	Codificación de equipos.....	37
5.1.4	Levantamiento de información	37
5.1.5	Análisis de criticidad.....	37
5.2	Desarrollo de la metodología	40
5.2.1	Motor Diesel RCI COD 140310020246-005.....	40
5.2.1.1	Características técnicas	41
5.2.1.2	Condiciones operacionales.....	41
5.2.1.3	Análisis funcional	42
5.2.1.4	Modos y efectos de falla	43
5.2.2	Bomba Jockey COD 140310022748-003	44
5.2.2.1	Características técnicas	44
5.2.2.1.1	Bomba vertical multietapa	44

5.2.2.1.2	Motor eléctrico.....	44
5.2.2.2	Condiciones operacionales.....	45
5.2.2.3	Análisis funcional	45
5.2.2.4	Modos y efectos de falla	46
5.2.3	Bomba RCI COD 140310022713-004.....	47
5.2.3.1	Características técnicas	47
5.2.3.2	Condiciones operacionales.....	48
5.2.3.3	Análisis funcional	48
5.2.3.4	Modos y efectos de falla	48
5.2.4	Tareas de Mantenimiento.....	49
5.2.4.1	Equipos de criticidad alta.....	51
5.2.4.1.1	Monitoreo de variables	52
5.2.4.1.2	Pruebas de funcionamiento	52
5.2.4.1.3	Reacondicionamiento de equipos	52
5.2.4.1.4	Cambio de repuestos	53
5.2.4.2	Equipos de criticidad media y baja	53
5.2.5	Stock mínimo de repuestos	55
5.2.5.1	Clasificación de los repuestos	55
5.2.6	Costos de mantenimiento para el sistema RCI	56
5.2.6.1	Costos de mano de obra	56
5.2.6.2	Costos de repuestos e insumos.....	58
5.2.7	Viabilidad económica de implementación.....	59
5.2.7.1	Estimación de VPN y TIR	60

6	Conclusiones.....	62
7	Recomendaciones	63
	Referencias Bibliográficas	64

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 <i>Presencia a nivel nacional de INS S.A. E.S.P.</i>	15
Tabla 2 <i>Marco normativo y legal</i>	34
Tabla 3 <i>Taxonomía</i>	36
Tabla 4 <i>Análisis funcional del motor Diesel</i>	42
Tabla 5 <i>Modos y efectos de falla del motor Diesel</i>	43
Tabla 6 <i>Análisis funcional de la bomba jockey</i>	45
Tabla 7 <i>Modos y efectos de falla en la bomba jockey</i>	46
Tabla 8 <i>Análisis funcional de la bomba RCI líder</i>	48
Tabla 9 <i>Modos y efectos de falla en la bomba CRI líder</i>	49
Tabla 10 <i>Tareas de mantenimiento Bomba RCI</i>	51
Tabla 11 <i>Frecuencias de las tareas de monitoreo</i>	52
Tabla 12 <i>Frecuencias de las pruebas a realizar</i>	52
Tabla 13 <i>Frecuencias de reacondicionamientos a realizar</i>	53
Tabla 14 <i>Frecuencias de remplazo de consumibles</i>	53
Tabla 15 <i>Frecuencias mantenimiento preventivo</i>	54
Tabla 16 <i>Stock mínimo de repuestos</i>	56
Tabla 17 <i>Costos de mano de obra RCM</i>	57
Tabla 18 <i>Costos de mano de obra mantenimiento preventivo</i>	57
Tabla 19 <i>Costos de repuestos y consumibles</i>	58
Tabla 20 <i>Costos mantenimiento preventivo subcontratados</i>	59
Tabla 21 <i>Indicadores financieros</i>	61

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 <i>Cadena de generación de un incidente</i>	18
Figura 2 <i>Esquema de eventuales sucesos producto de una fuga de GLP</i>	18
Figura 3 <i>Consecuencias de incendios en sistemas de GLP ocurridos a nivel mundial</i>	20
Figura 4 <i>Causas de incendios en sistemas de GLP ocurridos a nivel mundial</i>	21
Figura 5 <i>Sistema de protección contra incendios de una planta de almacenamiento de GLP</i>	24
Figura 6 <i>Esquema referencial sistema contra incendio de una planta almacenamiento de GLP</i>	25
Figura 7 <i>Estrategias de mantenimiento</i>	26
Figura 8 <i>Categorización del Mantenimiento</i>	27
Figura 9 <i>Aplicación de FMECA y RCM según falla y causa</i>	30
Figura 10 <i>Metodologías para la gestión de inventarios</i>	32
Figura 11 <i>Composición de los costos de mantenimiento</i>	33
Figura 12 <i>Jerarquización de equipos</i>	35
Figura 13 <i>Esquema de codificación</i>	37
Figura 14 <i>Diagrama de decisión</i>	38
Figura 15 <i>Criticidad de equipos</i>	39
Figura 16 <i>Motor Diesel sistema RCI</i>	40
Figura 17 <i>Bomba jockey con motor eléctrico trifásico</i>	44
Figura 18 <i>Bomba principal RCI</i>	47
Figura 19 <i>Diagrama de decisión RCM</i>	50
Figura 20 <i>Comparativo costos mantenimiento subcontratado y mantenimiento directo</i>	60

Apéndices

Apéndice A. Tablas de codificación de equipos

Apéndice B. Componentes sistema RCI

Apéndice C. Análisis de criticidad de equipos

Apéndice D. Tareas de mantenimiento RCM

Apéndice E. Tareas de mantenimiento preventivo

Apéndice F. Stock mínimo de repuestos

Apéndice G. Costos y viabilidad económica

Nota. Todos los apéndices están disponibles para descarga en el Repositorio Institucional

Glosario

CDT: carga dinámica total

Cod E: código de equipo

Cod F: código de función

Cod FF: código de falla funcional

GLP: gas licuado del petróleo

MCCR: matriz de criticidad cualitativa de riesgo

NFPA (siglas en inglés): asociación nacional de protección contra el fuego

NTC: norma técnica colombiana

RCI: red contra incendios

RCM (siglas en inglés): mantenimiento centrado en confiabilidad

TIR: tasa interna de retorno

I: interés

VNA: valor actual neto

VPN: valor presente neto

PR: periodo de recuperación

Resumen

Título: Propuesta de sistema de gestión de mantenimiento centrado en confiabilidad RCM basado en la NFPA 25 para la red contraincendios en la planta de almacenamiento de GLP Ipiiales – Nariño de la empresa INS S.A E.S.P.*

Autor: Nestor Fabian Ordoñez Martinez**

Palabras Clave: RCM, mantenimiento centrado en confiabilidad, plan de mantenimiento, red contra incendios, planta de almacenamiento de GLP

Descripción:

Esta monografía tiene como objeto proponer un sistema de gestión de mantenimiento centrado en confiabilidad RCM basado en los lineamientos de la norma internacional NFPA 25 para la red contraincendios en la planta de almacenamiento de Gas Licuado del Petróleo – GLP Ipiiales – Nariño de la empresa INS S.A E.S.P. Con el fin de realizar una adecuada gestión de los recursos y las actividades de mantenimiento brindando disponibilidad y confiabilidad a los equipos del sistema.

Este estudio establece un planteamiento desde la identificación y organización de los activos que componen la instalación, elaboración de un análisis de riesgos a los componentes del sistema para identificar los equipos más críticos como aquellos que requieren una atención especial y establecer la metodología RCM para cada uno de estos. Así como, proponer lo repuestos y consumibles a mantener en stock mediante un análisis ABC con el fin de no atrasar las tareas de mantenimiento por falta de estos y se establecen los costos anuales de la implementación del plan de mantenimiento para la red contraincendios.

Finalmente, con esta monografía se pretende tener una herramienta basada en una adecuada planeación de las diferentes actividades de mantenimiento para reducir el riesgo y mejorar la disponibilidad y confiabilidad del sistema RCI de la planta.

* Trabajo de Grado Monografía

** Facultad de Ingenierías Físicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Director: Oscar Rodolfo Bohórquez Becerra. Especialista en Evaluación y Gerencia de Proyectos, PhD© en Ingeniería de Materiales.

Abstract

Title: Management system propasa of reliability centered maintenance RCM based on NFPA 25 for the fire network at the Ipiales – Nariño LPG storage plant of the company INS S.A E.S.P*

Author(s): Nestor Fabian Ordoñez Martinez **

Key Words: RCM, reliability centered maintenance, maintenance plan, fire fighting network, LPG storage plant.

Description:

This monograph aims to propose a maintenance management system focused on reliability RCM based on the guidelines of the international standard NFPA 25 for the firefighting network in the storage plant of Liquefied Petroleum Gas - LPG Ipiales - Nariño of the company INS S.A E.S.P. In order to perform an adequate management of resources and maintenance activities providing availability and reliability to the equipment of the system.

This study establishes an approach from the identification and organization of the assets that make up the system, elaboration of a risk analysis of the system components to identify the most critical equipment as those equipment that require special attention and establish the RCM methodology for each of these. As well as propose the spare parts and consumables to keep in stock through an ABC analysis in order not to delay the maintenance tasks for lack of these and establish the annual costs of implementing the maintenance plan for the firefighting network.

Finally, with this monograph i was intend to have a tool based on an adequate planning of the different maintenance activities to reduce the risk and improve the availability and reliability of the RCI system in the plant.

* Undergraduate Work Monograph

** Faculty of engineering Physicomechanics. School of Mechanical Engineering. Specialization in Maintenance Management. Director: Oscar Rodolfo Bohórquez Becerra. Specialist in Project Evaluation and Management, PhD© in Materials Engineering.

Introducción

La evolución del mantenimiento hoy en día ha demostrado ser una necesidad importante en el crecimiento y desarrollo de las organizaciones, la aplicación de las diferentes técnicas referentes a la gestión para conservar y mantener los activos durante el tiempo evidencia las mejoras en productividad, seguridad, calidad y el provecho que se puede sacar a cada uno de estos durante su vida útil.

Las empresas dedicadas a la distribución y comercialización de gas no pueden exponerse a presentar tiempos de inoperatividad inesperados. Las interrupciones no planificadas pueden acarrear elevados costos en pérdidas, reparaciones, además de los riesgos que conllevan los fallos de los equipos y multas impuestas por los organismos de control.

Una buena gestión del mantenimiento asegura en una empresa la optimización de su operación, la reducción del tiempo de inactividad de los equipos, disminución de riesgos, optimización de costes y la disminución de la pérdida de tiempo del personal.

1 Planteamiento del problema – identificación de la necesidad

Ingeniería y Servicios S.A E.S.P. es una empresa con más de veinte años de experiencia dedicada la distribución y comercialización de Gas Natural y GLP por redes.

Actualmente Ingeniería y Servicios S.A E.S.P. cuenta con redes de distribución de gas a nivel nacional en los departamentos de Boyacá, Cundinamarca, Cauca, Nariño y Putumayo haciendo presencia puntualmente en los municipios relacionados en la tabla 1 a continuación:

Tabla 1*Presencia a nivel nacional de INS S.A. E.S.P.*

Departamento	Municipio	Tipo de Gas
Boyacá	Combita	Gas Natural
	Sotaquirá	
	San José de Pare	
Cundinamarca	Guachetá	
	Lenguazaque	
	Fúquene	
Cauca	Balboa	GLP
	Bolívar	
	Suarez	
Nariño	Córdoba	
	Consacá	
	Cumbal	
	El Tambo	
	Guaitarilla	
	Gualmatán	
	Guachucal	
	Nariño	
	Ospina	
	Puerres	
	Potosí	
	Pupiales	
	Túquerres	
	Sapuyes	
	Ipiales	
Putumayo	Colón	
	San Francisco	
	Santiago	
	Sibundoy	

Nota. Elaboración propia.

Para la distribución de GLP por redes INS S.A. E.S.P dispone de diecinueve plantas de almacenamiento con capacidades entre los tres mil novecientos noventa y cuatro galones y los ochenta y dos mil doscientos sesenta y seis galones, diseñadas y construidas todas conforme a la regulación y normativa vigente.

La distribución de GLP por redes en la empresa ha tenido un crecimiento casi que exponencial en la parte suroccidente del país en los departamentos de Nariño, Putumayo y Cauca proyectándose así a ser una empresa líder en el desarrollo de proyectos gasíferos con enfoque y compromiso social.

El Gas Licuado del Petróleo- GLP es un combustible líquido principalmente compuesto por una combinación de dos hidrocarburos: butano y propano, aunque también contiene otros en una proporción más baja, este se obtiene como subproducto de la refinación del petróleo crudo o del proceso de separación del gas natural provenientes directamente de los pozos de extracción (Benbekhaled et al., 2015), actualmente en medio de la transición energética han surgido nuevos métodos de producción de GLP a partir de residuos y fuentes renovables a este se le conoce como GLP renovable o BioGLP.

El GLP al ser un combustible tiene la facilidad de arder al combinarse con oxígeno, la mayoría de los incendios de GLP comienzan con incendios pequeños que pueden crecer y volverse peligroso. Dichos incendios pueden no ser causados por una falla del tanque, sino por una bomba o tubería con fugas o por errores humanos, como el llenado excesivo o el drenaje inadecuado. Las propiedades del GLP son tales que al entrar en contacto con el oxígeno en el ambiente y calor puede incendiarse y el fuego puede expandirse o propagarse rápidamente si no se controla a tiempo ocasionando graves accidentes (Robertz, 2001) generando pérdidas económicas muy altas, afectaciones ambientales y en el peor de los casos víctimas fatales.

Uno de los propósitos principales de un sistema contra incendios es interrumpir esta cadena de eventos y controlarlos desde en una etapa temprana. Un buen diseño de seguridad para una planta de GLP depende del tamaño, tipo de operación y del entorno en el que opera la planta. Lo más preocupante es el fuego, para lo cual se debe proporcionar un medio para proteger los tanques

de GLP del sobrecalentamiento en caso de incendio. Hoy en día los sistemas de protección contra incendios son un requisito de seguridad que la regulación y normativa ha venido estableciendo como obligatorio para la operación de plantas de GLP y otras edificaciones con el fin de minimizar el riesgo de incendio y propagación del fuego tanto en las mismas instalaciones como hacia estructuras aledañas.

De acuerdo con la resolución 40246 del 2016 (Ministerio de Minas y Energía MME, 2016), toda instalación con capacidad de almacenamiento unitario o agregado superior a cuatro mil galones debe estar equipada con protección contra incendios y las actividades de mantenimiento del equipo de protección contra incendios deben ser programadas de tal forma que se saque de servicio lo mínimo posible y no dejar desprotegida la planta por un largo periodo de tiempo.

1.1 Idea de investigación – problema

La planta de almacenamiento de GLP que abastecerá el municipio de Ipiales – Nariño cuenta con una capacidad de almacenamiento de ochenta y dos mil doscientos sesenta y seis galones. Lo que hace que esta cuenta con un sistema de protección contra incendios diseñado y construido acorde con la reglamentación y normatividad vigente. De tal forma que es necesario considerar un plan de mantenimiento que permita la disponibilidad del sistema en el momento que se requiera para atender cualquier eventualidad.

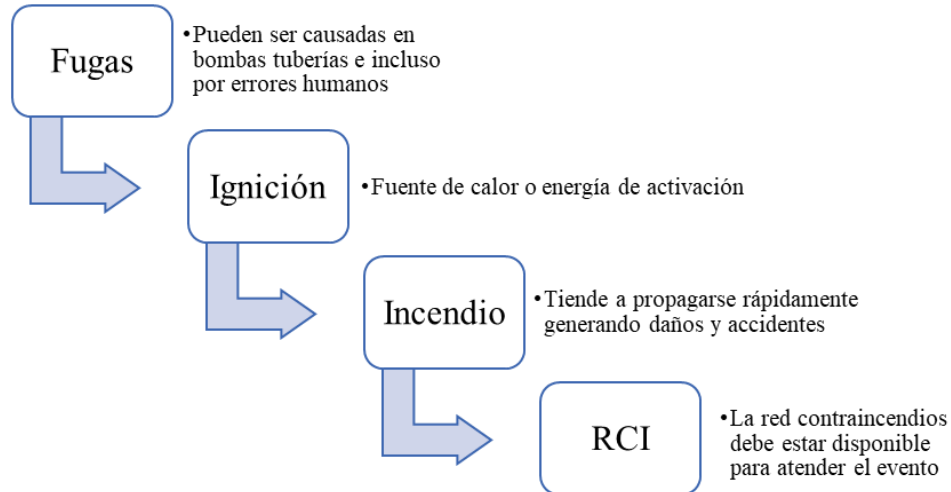
1.2 Pregunta de investigación

1.2.1 Problema

En la figura 1 se muestra el flujo de generación de un incidente en una planta de GLP.

Figura 1

Cadena de generación de un incidente

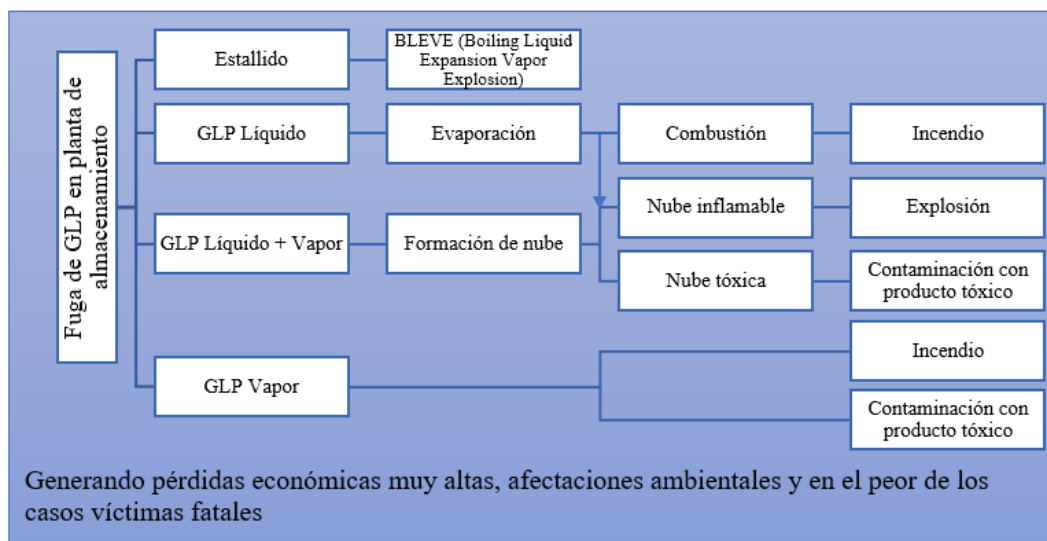


1.2.2 Causas

En la figura 2 se presenta un esquema de los posibles eventos que pueden ocasionar una fuga de GLP.

Figura 2

Esquema de eventuales sucesos producto de una fuga de GLP



Nota. Adaptado de (Villafañe Santander & Casal Fàbrega Juan Antonio Vílchez, 2013).

1.2.3 Solución

Se hace necesario proponer un sistema de gestión de mantenimiento centrado en confiabilidad el cual facilite la posibilidad de incrementar la disponibilidad del sistema contra incendios en caso de requerirse.

Teniendo en cuenta lo anterior se formula la siguiente pregunta de investigación, ¿Es posible incrementar la disponibilidad teórica del sistema contra incendios a partir de la implementación de un sistema de gestión de mantenimiento centrado en confiabilidad RCM y basado en la norma internacional NFPA 25?

1.3 Justificación

En los últimos años Colombia ha sido un país que ha desarrollado e incentivado el uso de Gas Licuado del Petróleo – GLP en aquellas zonas donde no ha sido posible llevar el gas natural. Promoviendo de esta forma la sustitución de la leña e incluso impulsándolo como el combustible alternativo para la transición energética en los automóviles y aplicaciones náuticas (Zapata & Cotes, 2021). Debido a que el GLP genera considerablemente menos emisiones que los demás combustibles fósiles, reduciendo de manera significativa la huella de carbono que hoy en día está afectando el cambio climático, la salud de las personas y el medio ambiente.

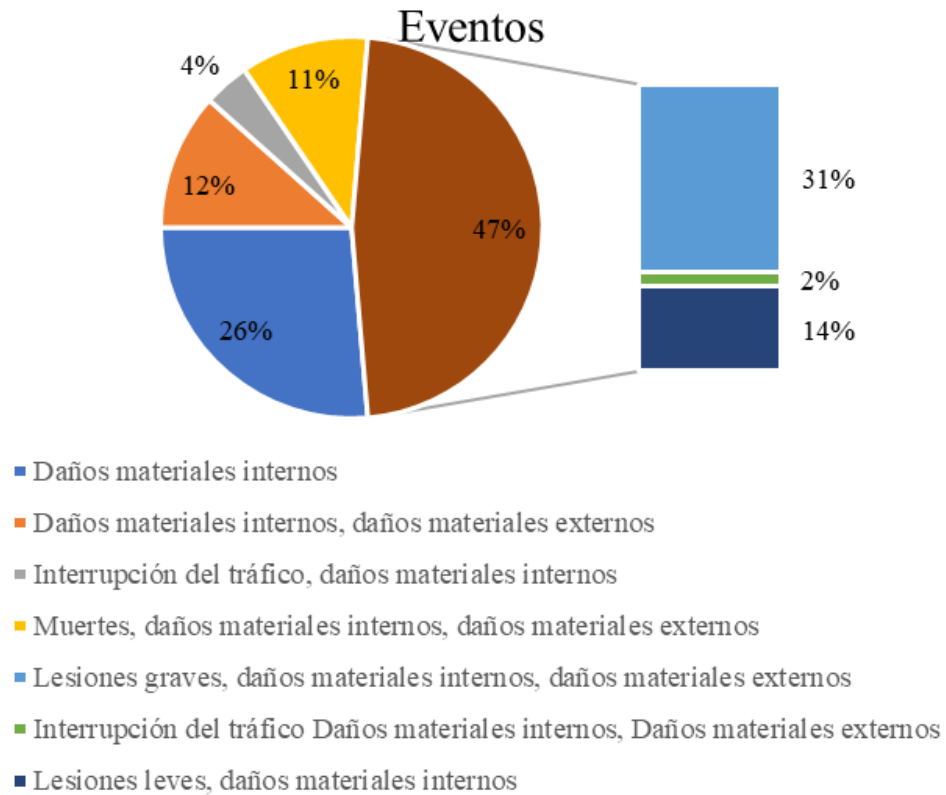
Así mismo el gobierno junto con los entes reguladores del sector minero energético han implementado prácticas internacionales a través de leyes, normas y resoluciones. Las cuales exigen los sistemas de protección contra incendios y un programa de mantenimiento que permita la operación segura de plantas de almacenamiento de Gas Licuado del Petróleo – GLP.

A nivel mundial han ocurrido accidentes por incendio en los que se ve involucrado el GLP. Las consecuencias que estos eventos conllevan incurren en costos económicos muy altos, sanciones y en los peores casos pérdidas de vidas humanas.

En la figura 3 se muestra una relación en porcentaje de las consecuencias de accidentes en sistemas de GLP.

Figura 3

Consecuencias de incendios en sistemas de GLP ocurridos a nivel mundial



Nota. Fuente: Elaboración propia basado en Análisis, Investigación e Información de Accidentes ARIA (Lou Dupont, 2020).

Las principales causas de estos accidentes se ven identificadas en la figura 4.

Figura 4

Causas de incendios en sistemas de GLP ocurridos a nivel mundial



Nota. Fuente: Elaboración propia basado en Análisis, Investigación e Información de Accidentes ARIA(Lou Dupont, 2020).

En la figura anterior se puede ver que un gran porcentaje de las causas está asociado a condiciones defectuosas de materiales y pérdida de contención o estanqueidad sin ruptura de alguna línea de conducción de GLP. El riesgo inminente está allí para lo cual el sistema contraincendios de acuerdo con la normativa debe estar disponible a fin de minorizar las consecuencias.

La empresa Ingeniería y Servicios se ha convertido en un instrumento facilitador aportando y contribuyendo en el sector con proyectos que apuestan a la mejora de la calidad de vida de las

personas, así mismo aportando a la disminución del uso de la leña y otros combustibles altamente contaminantes utilizados en cocción, calefacción y otras actividades que implican consumo de energía. En el proyecto que se está ejecutando actualmente en la ciudad de Ipiales Nariño – Ingeniería y Servicios abastecerá a más de treinta mil usuarios con Gas Licuado del Petróleo – GLP por redes a través de una planta de almacenamiento con capacidad de ochenta y dos mil doscientos sesenta y seis galones distribuidos en seis tanques de trece mil setecientos once galones cada uno y más de trecientos kilómetros en redes de polietileno.

La planta de almacenamiento se construyó con un diseño de seguridad apropiado, de acuerdo con lo establecido en la NFPA 58 (National Fire Protection Association & Technical Committee on Liquefied Petroleum Gases, 2020). Teniendo en cuenta la capacidad de almacenamiento, el entorno y el tipo de operación de la instalación. Esta planta cuenta con un sistema fijo de rociado con agua, el cual está compuesto por un reservorio que suministra agua durante el tiempo de respuesta de los organismos de apoyo locales, un sistema de bombeo con la capacidad de impulsar el caudal y la presión necesaria para la operación, un conjunto de equipos, tuberías y accesorios que permiten el funcionamiento a través de la operación manual y automática por temperatura del sistema. Esto permite cubrir la totalidad del área superficial de los tanques y un monitor con la capacidad de abastecer el área de trasiego que es una de las operaciones más críticas que se realiza en este modelo de plantas.

En estas plantas el mayor riesgo es el fuego producto de un escape de GLP para lo cual se propone plantear un sistema de gestión de mantenimiento centrado en confiabilidad aplicando los conocimientos adquiridos, complementándolos con la norma internacional NFPA 25 (National Fire Protection Association, 2020), referencias bibliográficas y la experiencia que se tiene en el sector, para proteger las vidas y el patrimonio de la empresa.

2 Objetivos

2.1 Objetivo General

Proponer un sistema de gestión de mantenimiento centrado en confiabilidad RCM basado en los lineamientos de la norma internacional NFPA 25 para la red contraincendios en la planta de almacenamiento de Gas Licuado del Petróleo – GLP Ipiales – Nariño de la empresa INS S.A E.S.P.

2.2 Objetivos Específicos

Identificar los activos para organizar, jerarquizar y clasificar los equipos que componen el Sistema Contraincendios de la planta de almacenamiento de Gas Licuado del Petróleo – GLP Ipiales – Nariño de la empresa INS S.A E.S.P.

Proponer un sistema de gestión basado en RCM para la red contra incendios de la planta de almacenamiento de Gas Licuado del Petróleo – GLP.

Desarrollar el análisis de riesgos a los componentes del sistema para identificar los equipos más críticos basado en la metodología FMECA y priorizar los recursos.

Generar el estudio de viabilidad económica de implementación del sistema de gestión de mantenimiento.

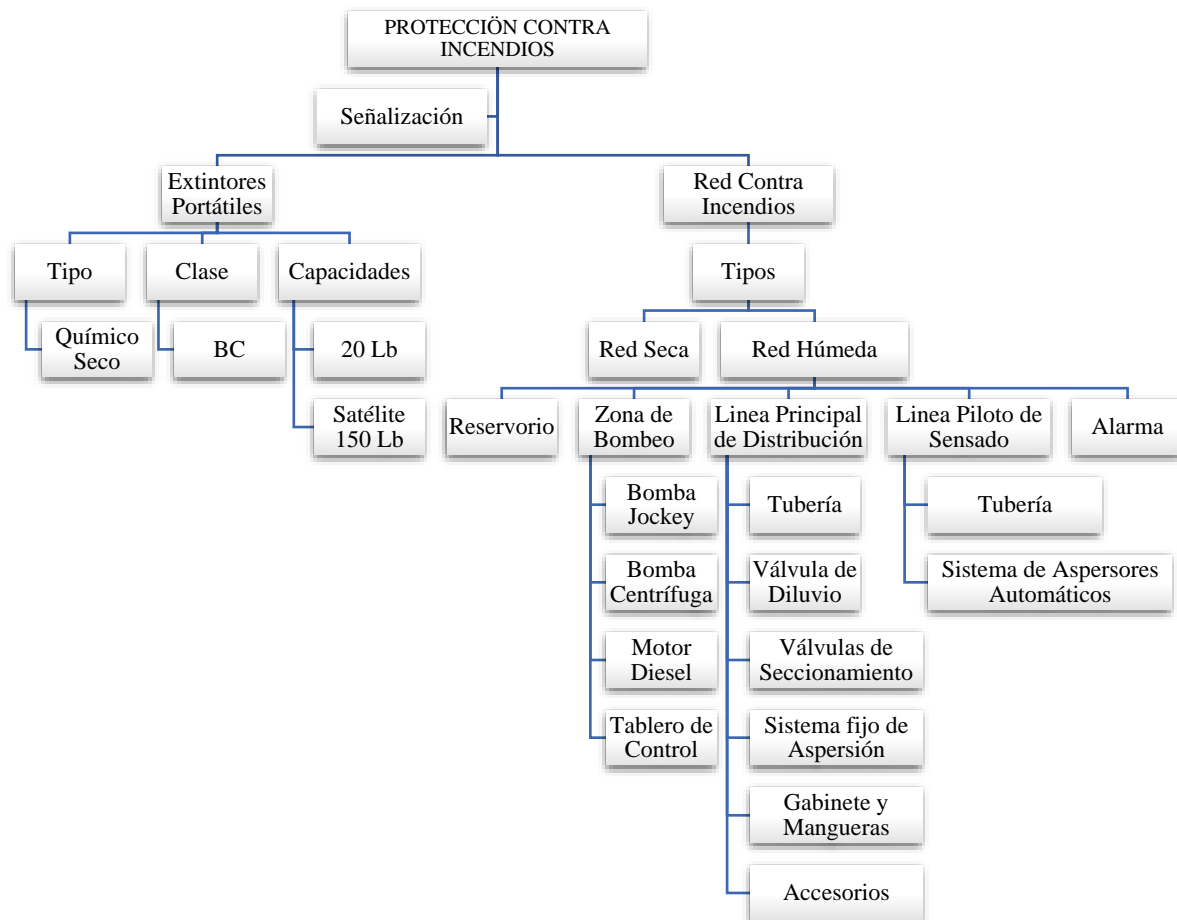
3 Marco Teórico

3.1 Instalaciones de sistema contra incendio en sistemas de GLP

Una red contra incendios es un sistema de protección hidráulico compuesto por un conjunto de subsistemas, equipos y elementos con la funcionalidad de intervenir y controlar posibles incendios. En la figura 5 se muestran los principales componentes de un sistema contra incendios para una planta de almacenamiento de GLP, de acuerdo con la NFPA 15 (National Fire Protection Association, 2017).

Figura 5

Sistema de protección contra incendios de una planta de almacenamiento de GLP

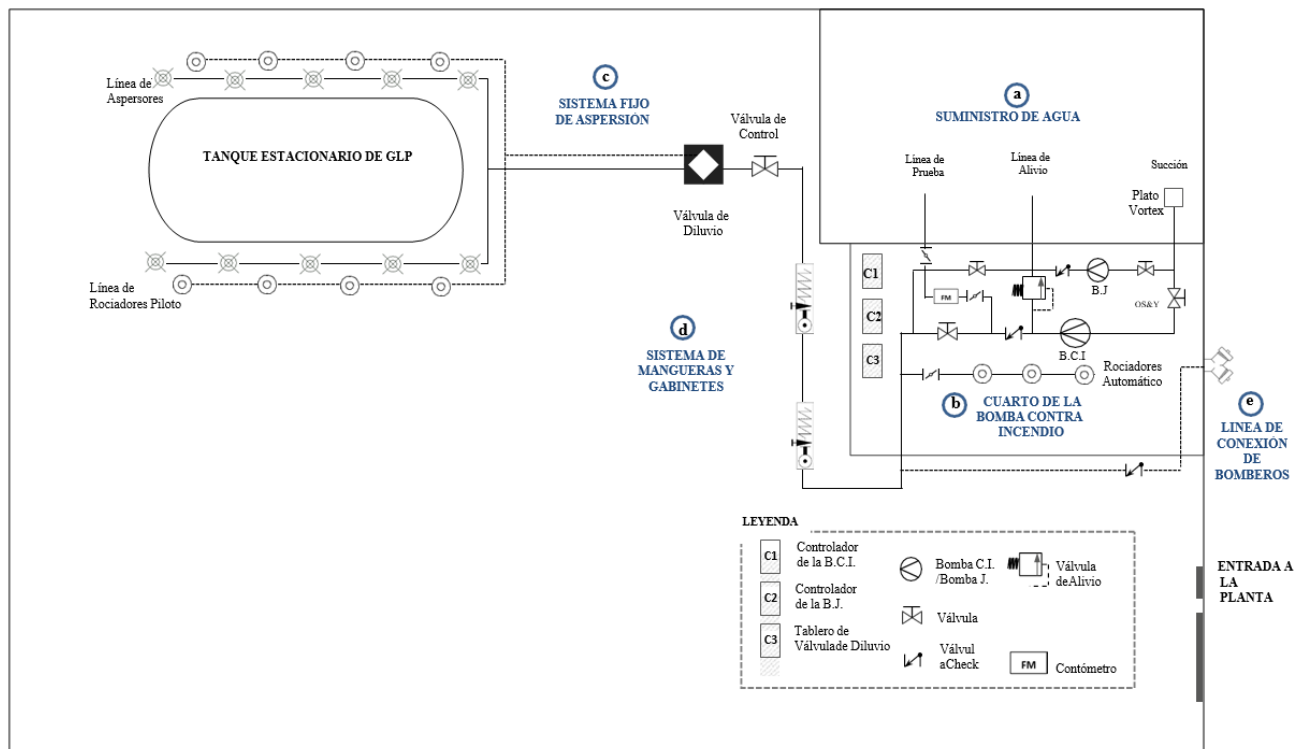


Nota. Fuente: Elaboración propia.

Los equipos que componen la red contra incendio al igual que otras máquinas también se desgastan durante el servicio y se deterioran por el desuso. El deterioro puede atribuirse a la instalación inadecuada, operación incorrecta, condiciones ambientales adversas o daño físico. En la figura 6 se muestra un esquema referencial de un sistema contraincendios y sus componentes en una planta de GLP.

Figura 6

Esquema referencial sistema contra incendio de una planta almacenamiento de GLP



Nota. Fuente: Modificado de (Osinermin & Luis Merino Novoa, 2021).

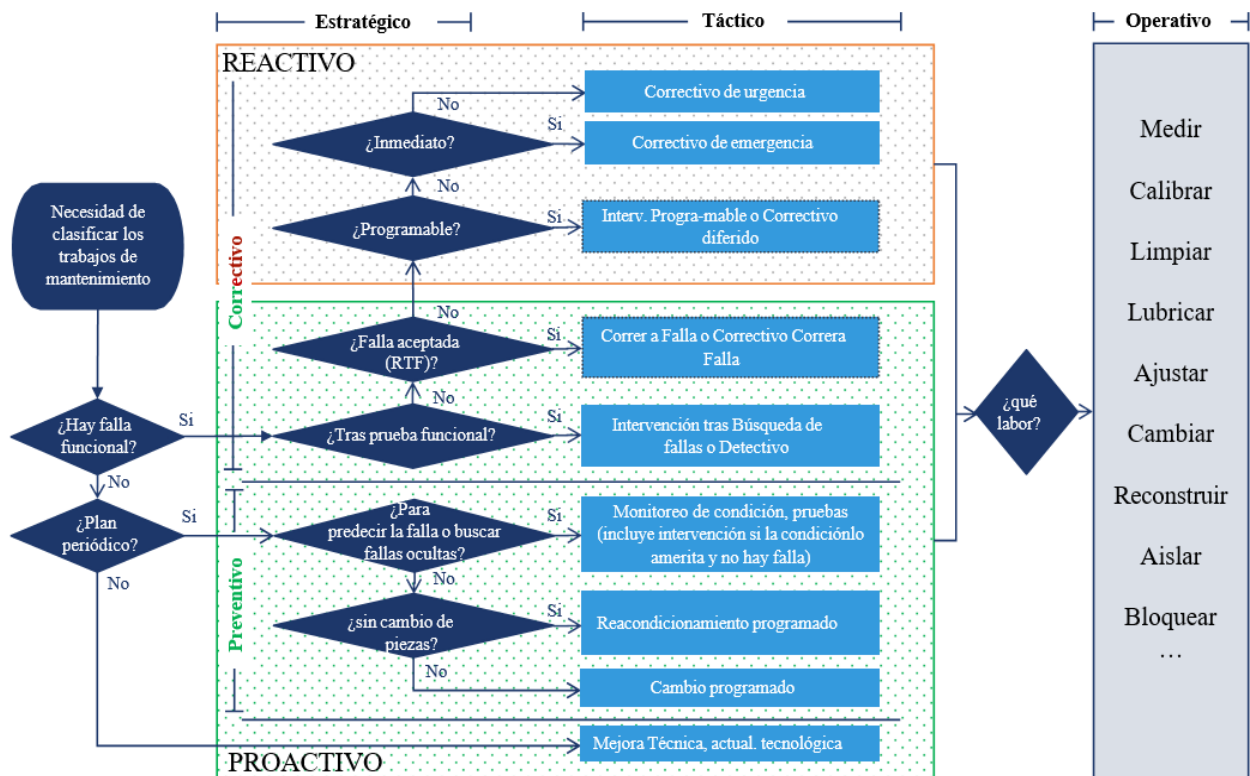
3.2 Estrategias de mantenimiento

Para mantener la disponibilidad se requiere operar correctamente los equipos y con frecuencia ejecutar determinados procedimientos de inspección y mantenimiento que hacen parte de un sistema de gestión de mantenimiento.

Para establecer un programa de un mantenimiento práctico y factible se requiere plantear estrategias que van desde clasificar los trabajos de mantenimiento hasta ejecutar los que más se ajusten teniendo en cuenta aspectos como la disponibilidad, seguridad, confiabilidad y costos. En la figura 7 se muestran las rutas estratégicas de mantenimiento básicas a ejecutar de acuerdo con el requerimiento y las expectativas del equipo o sistema a mantener.

Figura 7

Estrategias de mantenimiento



Nota. Fuente: Tomado de (Ortiz Ruiz Consultores, 2022).

El mantenimiento de los equipos demanda tiempo y esfuerzo. La gestión o administración del mantenimiento es un proceso importante para realizar, ya que este enfoque metodológico permite organizar y controlar los procesos.

3.3 Sistema de gestión de mantenimiento

Es la forma en que se definen, detallan y controlan las actividades necesarias para efectuar los planes de mantenimiento, habitualmente estas prácticas se basan en el planteamiento del ciclo PHVA (Planificar, Hacer, Verificar y Actuar). El sistema está planteado en un método para validar que los principios de planificación total del ciclo de vida, control del riesgo, relación costo-beneficio, disponibilidad, sostenibilidad, sean objetivamente realizados dentro del trabajo de implementación en planes de operaciones, mantenimiento, etc. (José Bernardo Durán, 2010).

3.4 Mantenimiento de equipos

El mantenimiento se compone de todas las operaciones técnicas y de gestión que tienen el propósito de conservar un equipo o restaurarlo para que pueda ejecutar la función para lo cual fue implementado (ISO 14224, 2016). En la figura 8 se muestran las principales categorías del mantenimiento.

Figura 8

Categorización del Mantenimiento



Nota. Fuente: Elaboración propia.

3.5 Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM

El mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM, por sus siglas en inglés, es una estrategia reconocida y utilizada para desarrollar planes de mantenimiento. Tiene como principal objetivo minimizar costos, manteniendo la funcionalidad de los equipos y evitando el mantenimiento que no es necesario.

De acuerdo con (Moubray Traducido Por Ellmann & Asociados, 2004) esta estrategia de gestión generalmente se persigue un objetivo que es establecer las fallas que pueda presentar un determinado activo, para inmediatamente diseñar un plan de reajuste y mejora del sistema.

El modelo RCM requiere de la aplicación de evaluaciones sistemáticas y comprobaciones periódicas de tipo estadístico en las que se obtenga información de los equipos y sus componentes. Para ejecutar con éxito una estrategia de mantenimiento centrada en la confiabilidad se debe analizar y valorar los datos obtenidos para medir el desempeño y mejorar continuamente el plan inicial.

3.5.1 Las siete preguntas

Cualquier proceso de RCM deberá garantizar que todas las siguientes siete preguntas se respondan adecuadamente y se respondan en el orden que se muestra a continuación:

1. ¿Cuáles son las funciones y especificaciones de operación del equipo?
2. ¿Como falla el equipo con relación a la función que desempeña?
3. ¿Qué causa la falla o perdida de la función del equipo?
4. ¿Qué pasa cuando se presenta la falla?
5. ¿Qué consecuencias acarrea la falla?
6. ¿Cómo se puede evitar la falla?
7. ¿Qué hacer si no se puede prevenir la falla?

3.6 Análisis de causa, efecto y modo de falla FMECA

Es una técnica de ingeniería que permite determinar, cuantificar y clasificar las fallas conocidas y potenciales de un equipo, máquina o proceso para analizar la funcionalidad a partir de sus modos de falla, estableciendo una jerarquía a través del RPN o número de riesgo prioritario, lo que ayuda a elaborar planes de mantenimiento focalizados (Mora Gutiérrez, 2009).

Al aplicar el procedimiento FMECA, el RPN es parte fundamental en la jerarquización de cada una de las tareas.

Las fases de aplicación del procedimiento FMECA son las siguientes:

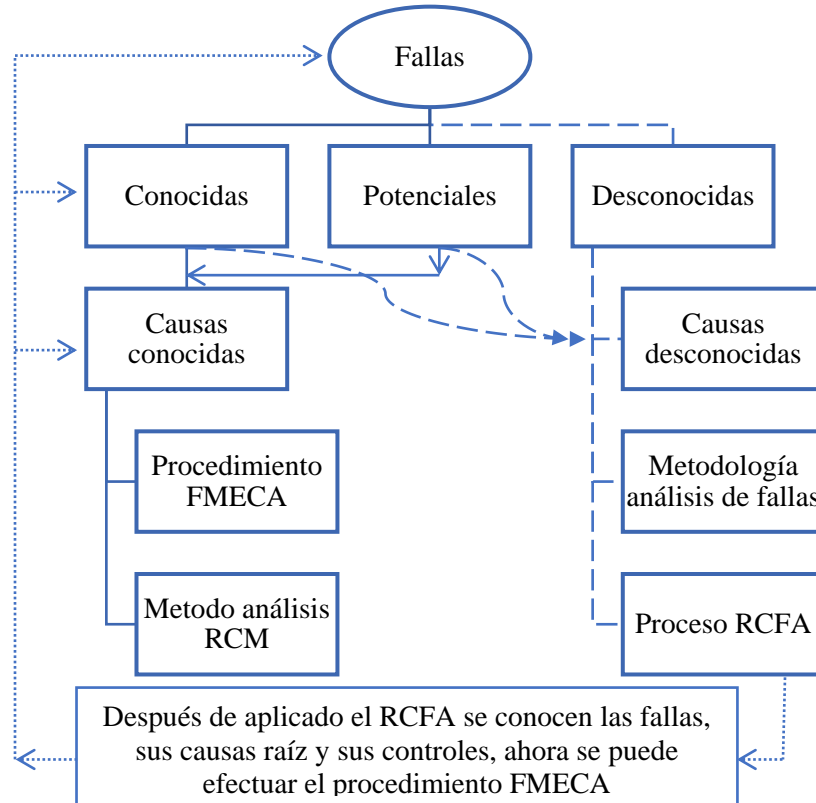
0. Aplicación de matriz de criticidad.
1. Identificar las funciones de los equipos.
2. Determinar las fallas funcionales que se puedan presentar.
3. Identificar los modos de fallas.
4. Determinar las consecuencias y los efectos de cada modo de falla.
5. Calcular el RPN mediante la estimación de la severidad.
6. Establecer tareas y acciones correctivas para minimizar el riesgo.
7. Ejecutar las tareas planeadas.
8. Calcular de nuevo el RPN y replantear las acciones.

Una vez realizada la clasificación y jerarquización, se aplica la metodología RCM, priorizando especialmente a aquellos modos de falla de mayor ponderación.

La figura 9 ilustra la aplicación del FMECA y RCM de acuerdo con las fallas y sus causas.

Figura 9

Aplicación de FMECA y RCM según falla y causa



Nota. Fuente: Elaboración propia basado en (Mora Gutiérrez, 2009).

3.6.1 Algunas definiciones referentes a las fallas

En términos generales una falla es el incumplimiento de una obligación o función, para el proceso analítico y de investigación referente a las fallas presentadas es necesario tener claro algunas definiciones referentes a esta. Dicho lo anterior referenciamos algunas definiciones de acuerdo con (OREDA & SINTEF Industrial Management, 2002).

3.6.1.1 Falla funcional.

Es la pérdida de la capacidad de realizar la función para lo cual el sistema fue empleado.

3.6.1.2 Causa de falla.

Son las condiciones de diseño, construcción u operación que han llevado el sistema a un estado de falla.

3.6.1.3 Efecto de falla.

Es el resultado de una causa de fallo en la función del sistema.

3.6.1.4 Modo de falla.

Resultado a través del cual una falla es observada, el modo de falla es una representación de los diferentes estados o escenarios anormales de un equipo y la potencial evolución del estado funcional a la falla.

3.7 Gestión y manejo de inventario de repuestos e insumos de mantenimiento

La gestión de repuestos en el mantenimiento industrial consiste en un sistema estructurado que permite organizar y controlar el uso y suministro de consumibles, repuestos, materiales e insumos de mantenimiento. Mediante su ejecución se obtienen significativos resultados en la gestión y la ejecución del mantenimiento, proporcionando una mejora de la disponibilidad y una reducción en los costos (Santiago García Garrido, 2003).

El mantenimiento en la mayoría de los casos demanda un consumo de material. Sin repuestos, existe el riesgo de que se produzcan paradas prolongadas. Esto puede disminuir la calidad de los bienes producidos, provocar afectaciones para el medio ambiente y para el personal.

La figura 10 muestra algunas de las metodologías aplicadas para la gestión de inventarios de repuestos para mantenimiento.

Figura 10*Metodologías para la gestión de inventarios*

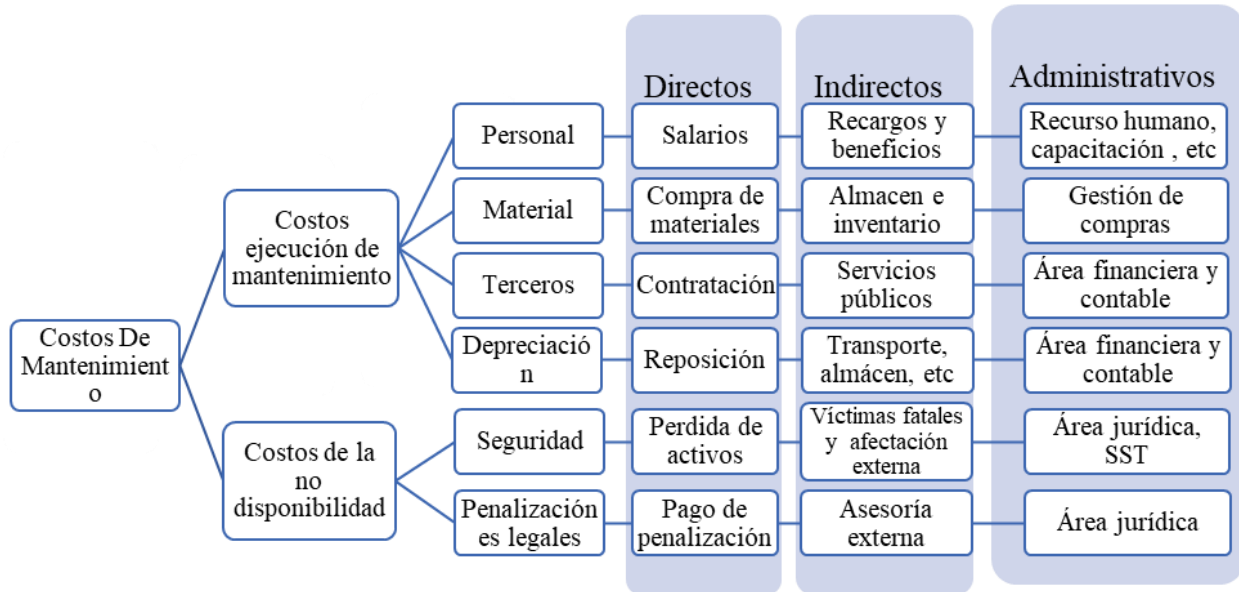
Nota. Fuente: Elaboración propia.

La metodología más utilizada para la gestión de inventarios es el análisis ABC que se basa en la ley de Pareto, cuya primicia muestra que pocos factores son la causa de muchos de los efectos o consecuencias.

El análisis ABC clasifica los repuestos o insumos de acuerdo con el grado de importancia, cantidad requerida y costos de estos.

3.8 Costos de mantenimiento

Una de las tareas fundamentales en la gestión de mantenimiento es minimizar los costos. En la figura 11 muestra los componentes referentes a los costos de mantenimiento.

Figura 11*Composición de los costos de mantenimiento*

Nota. Fuente: Elaboración propia

Los costos de mantenimiento son vistos de diferentes perspectivas por las empresas ya que algunas lo ven como un seguro, otras como una inversión en la protección del activo físico y otras lo ven como un gasto más. Pero la realidad es que un manejo adecuado de costos de mantenimiento ayuda en la producción, la seguridad y competitividad entre otras variables que aportan significativamente al crecimiento económico de una organización.

3.8.1 Costos por penalizaciones legales

En sector de servicios públicos la superintendencia de servicios públicos domiciliarios es el ente competente para ejercer el régimen sancionatorio.

Un ejemplo de las normativas existentes como el reglamento técnico para recibo, almacenamiento y distribución de gas licuado de petróleo GLP (Ministerio de Minas y Energía

MME, 2016). El cual declara que las plantas de almacenamiento de GLP deben contar con un programa de mantenimiento para todo el sistema de protección contra incendios.

El incumplimiento de lo establecido en la normatividad y los reglamentos emitidos generaría sanciones económicas y penales. Aparte de las pérdidas económicas que puede acarrear un conato de incendio en una planta de almacenamiento GLP sobre los equipos y el personal. La superintendencia de servicios públicos domiciliarios podría presentar multas hasta por el equivalente a 2000 salarios mínimos mensuales, suspensión de la actividad económica de la empresa, cierre de las instalaciones, y en una última estancia toma de posesión de la empresa.

4 Marco legal

Para iniciar a operar una planta de almacenamiento de GLP previamente se debe verificar el cumplimiento de la resolución 40246 (Ministerio de Minas y Energía MME, 2016) así mismo esta se apoya en otras normas y estándares nacionales e internacionales.

En la tabla 2 se detalla el marco normativo aplicable.

Tabla 2

Marco normativo y legal

Norma	Descripción
NFPA 58	Código del gas licuado del petróleo
NFPA 25	Norma para la inspección, prueba, y mantenimiento de sistemas de protección contra incendios a base de agua
NFPA 15	Norma para sistemas fijos de agua pulverizada para protección contra incendios
NFPA 10	Norma para extintores portátiles contra incendios
ISO 14224:2016	Estándar para industrias del petróleo, petroquímicas y del gas natural. Recogida e intercambio de datos de mantenimiento y fiabilidad de los equipos
SAE JA 1011	Criterios de evaluación para procesos de mantenimiento centrado en confiabilidad

Nota. Fuente: Elaboración propia

5 Metodología

5.1 Preliminares

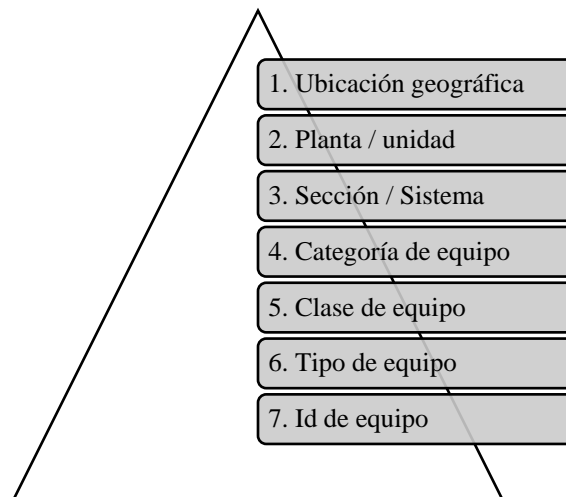
En esta etapa preliminar se define la taxonomía para la codificación de los equipos y se recopila la información correspondiente a los equipos del sistema red contra incendios de la planta de almacenamiento de GLP Ipiales – Nariño.

5.1.1 Jerarquización de Equipos

La jerarquización de los equipos se efectúa en un modelo de acuerdo con la norma ISO 14224 en la que se definen 6 niveles de clasificación como se muestra en la figura 12.

Figura 12

Jerarquización de equipos



Nota. Fuente: Elaboración propia

5.1.2 Estructura de la taxonomía

Para dar claridad a cada uno de los niveles establecidos para la taxonomía, en la tabla 3 se definen cada uno de estos.

Tabla 3*Taxonomía*

Atributos	Taxonomía	Nivel de taxonomía	Descripción
Atributos de uso y ubicación	Ubicación geográfica	1	Ubicación geográfica donde se encuentra el equipo
	Planta / unidad	2	Planta o unidad donde se encuentra el equipo
	Sección / Sistema	3	Sección o sistema de la planta donde se encuentra el equipo
Atributos de equipo	Categoría de equipo	4	Por ejemplo: mecánico, giratorio, eléctrico, etc.
	Clase de equipo	5	Por ejemplo: motores, compresores, grúas
	Tipo de equipo	6	Por ejemplo: corriente alterna, centrífugos, estado sólido, etc.
Incremental	Id del equipo	7	Identificador individual de cada equipo

Nota. Fuente: Elaboración propia

5.1.3 Codificación de equipos

A partir de la estructura taxonómica definida, se contempla un sistema de codificación numérico de 15 dígitos, estructurado en siete niveles como se muestra en la figura 13.

Figura 13

Esquema de codificación

Codificación						
Ubicación	Planta	Sección	Categoría	Clase	Tipo	Id
XX	XX	XX	XX	XX	XX	-XXX

Nota. Fuente: Elaboración propia

En el apéndice A se adjuntan las tablas donde se especifican los códigos de acuerdo con la taxonomía establecida.

5.1.4 Levantamiento de información

Se realizó un levantamiento de los componentes del sistema RCI de la planta de Ipiales el cual se detalla en el apéndice B.

5.1.5 Análisis de criticidad

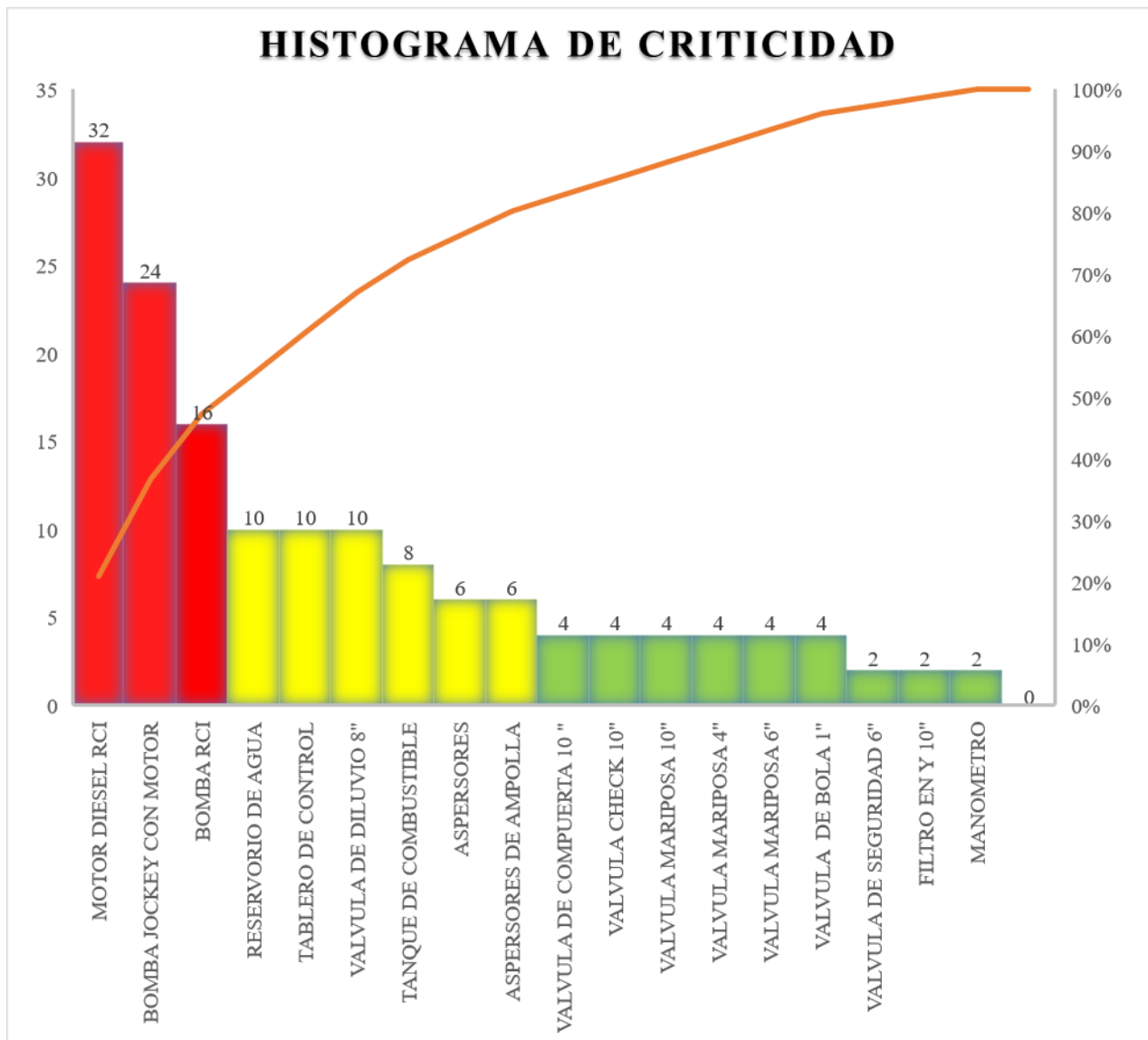
Previamente a elegir una estrategia de mantenimiento adecuada para cada equipo de la red contra incendios de la planta, se analiza cuáles son los equipos que tienen un alto impacto en el proceso operativo de protección a la planta en caso de presentarse una eventualidad, para enfocar la estrategia hacia estos.

Ante la falta de datos históricos es imposible utilizar un método cuantitativo, por lo que se manejó el método cualitativo bajo el modelo de matriz de criticidad cualitativa de riesgo (MCCR) basado en la NTC 5254 (ICONTEC, 2004).

En el apéndice C se ejecutó el análisis de criticidad definiendo los criterios y la matriz de valoración. En la figura 15 podemos observar que los equipos críticos son el motor Diesel RCI, la bomba jockey y bomba líder RCI.

Figura 15

Criticidad de equipos



Nota. Fuente: Elaboración propia

5.2 Desarrollo de la metodología

En esta etapa de desarrollo a partir de la información recolectada y los preliminares planteados se realizó la aplicación del análisis FMECA y RCM a los equipos críticos los cuales representan un mayor impacto operacional, para determinar las tareas y frecuencias de mantenimiento y apoyados en la NFPA 25 para aquellos equipos de criticidad media y baja.

En esta misma etapa se realizó un análisis ABC para gestión de stock mínimo de repuestos que puedan requerirse en las actividades de mantenimiento.

Adicional a lo anterior se proyectó el costo anual de ejecución del plan de mantenimiento para el sistema de protección contra incendios.

5.2.1 Motor Diesel RCI COD 140310020246-005

El motor para la bomba principal de la red contraincendios es un motor Diesel de velocidad variable Baudouin con 4 cilindros en línea de 4 tiempos, inyección directa y turbo aspirado. Este equipo viene diseñado para trabajar en aplicaciones de sistemas contraincendios.

En la figura 16 se muestra el motor Diesel instalado en el sistema de red contra incendios.

Figura 16

Motor Diesel sistema RCI



5.2.1.1 Características técnicas

- Modelo 6m11v4d0
- Tipo 4 Cilindros En Línea, 4 Tiempos, Inyección Directa
- Potencia Máxima 225 Hp @ 1800 Rpm 245 Hp @ 2200 Rpm
- Potencia Continua 188 Hp @ 1800 Rpm 201 Hp @ 2200 Rpm
- Alimentación Turbo-Aftercooled
- Diámetro 105 mm / Carrera 130 mm
- Desplazamiento 6.750 c.c.
- Consumo Mínimo 198.9 g/kw-h
- Velocidad Ralentí 800 ± 50 Rpm
- Capacidad Aceite 17 Litros
- Sistema de arranque eléctrico, 12 voltios de corriente directa
- Lubricación forzada por bomba
- Refrigeración por liquido – sistema cerrado con radiador
- Tipo De Acople SAE 3 - diámetro de volante 11.5”
- Peso Seco 710 kg

5.2.1.2 Condiciones operacionales

Temperatura de trabajo: 140 °F (60 °C) a 203 °F (95 °C)

RPM de trabajo: 1750 rpm a 1850 rpm

Presión de aceite \geq a 100 Kpa

5.2.1.3 Análisis funcional

En la tabla 4 se especifican las funciones y fallas funcionales del motor Diesel.

Tabla 4

Análisis funcional del motor Diesel

Cod E	Equipo	Cod F	Función	Cod FF	Falla funcional
140310020246-005	MOTOR	F-005	Transmitir potencia	FF-051	Estancamiento
	DIESEL		mecánica a la bomba		por sobrecarga
	RCI		RCI a una velocidad de	FF-052	Presenta sobre
			rotación de 1750 rpm		velocidad
		F-006	Contener el aceite	FF-061	Presenta
			requerido para lubricar		humedad y fuga
			en su operación		de aceite
		F-007	Contener y recircular el	FF-071	Presenta fuga de
			refrigerante para		refrigerante
			mantener la temperatura		
			de trabajo entre 75°C y		
			100 °C		
		F-007	Contener y recircular el	FF-081	No recircula
			refrigerante para		refrigerante
			mantener la temperatura		
			de trabajo entre 75°C y		
			100 °C		

Nota. Fuente: Elaboración propia

5.2.1.4 Modos y efectos de falla

A continuación, en la tabla 5 se describen los modos y efectos de falla del motor Diesel.

Tabla 5

Modos y efectos de falla del motor Diesel

Cod MF	Modo de falla	Efectos de la falla	Consecuencias de la falla
MF-051	Motor no mueve eje de salida	Sistema RCI sin flujo de agua	Sistema RCI fuera de servicio
MF-052	Temperatura de trabajo del motor es elevada	Sobre presión en el sistema	Afectaciones a la operación del sistema RCI
MF-061	Goteo y humedad de aceite en el motor	Baja presión de aceite y presencia de humedad o goteos	Contaminación de aceite en el área de bombas
MF-071	Goteo y humedad de refrigerante en el motor	Perdida considerable del nivel de refrigerante	Afectaciones a la operación del sistema RCI
MF-081	Temperatura de trabajo del motor es elevada	Afectaciones en la operación del motor	Afectaciones a la operación del sistema RCI

Nota. Fuente: Elaboración propia

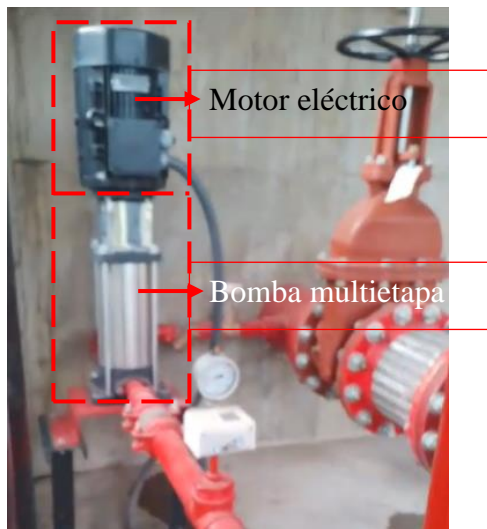
5.2.2 Bomba Jockey COD 140310022748-003

La bomba Jockey es una bomba vertical multietapas con motor eléctrico acoplada al sistema RCI para mantener la presión en las tuberías de los rociadores pilotos. Esto es para asegurar que, si se activa un rociador, haya una caída de presión, que será detectada por el controlador automático de la bomba principal contra incendios, lo que provocará el arranque de esta.

En la figura 17 se muestra la bomba jockey instalada en el sistema de red contra incendios y se definen sus fronteras.

Figura 17

Bomba jockey con motor eléctrico trifásico



5.2.2.1 Características técnicas

5.2.2.1.1 Bomba vertical multietapa

- Capacidades de flujo de hasta 75 GPM (16.5 m³/h)
- CDT de hasta 755 pies/230 m

5.2.2.1.2 Motor eléctrico

- Rango de Potencia 1-5.5HP

- Configuración Estándar 230/460V
- Motor trifásicos - TEFC
- Protección del Motor grado IP55
- Aislamiento clase F
- Máxima temperatura 400C
- IE2: Alta Eficiencia

5.2.2.2 Condiciones operacionales

- Temperatura del líquido: 5 °F (-15 °C) a 190 °F (90 °C)
- Presión de trabajo: 110 psi
- Sentido de rotación: a favor de las manecillas del reloj, vista la bomba desde arriba

5.2.2.3 Análisis funcional

En la tabla 6 se precisan las funciones y fallas funcionales de la bomba jockey.

Tabla 6

Análisis funcional de la bomba jockey

Cod E	Equipo	Cod F	Función	Cod FF	Falla funcional
140310022748-003	BOMBA JOCKEY	F-002	Suministro de agua a la línea piloto del sistema RCI	FF-021	No suministra agua a la línea piloto
		F-003	Presurización de la línea piloto del sistema RCI a 110 psi +/- 10 psi	FF-031	Presuriza la línea piloto por debajo de 100 psi

Nota. Fuente: Elaboración propia

5.2.2.4 Modos y efectos de falla

En la tabla 7 se describen los modos y efectos de falla de la bomba jockey.

Tabla 7

Modos y efectos de falla en la bomba jockey

Cod MF	Modo de falla	Efectos de la falla	Consecuencias de la falla
MF-021	La bomba no arranca	Línea piloto del sistema RCI seca sin flujo de agua	Sistema RCI sin activación automática
MF-022	La bomba gira, pero no suministra agua	línea piloto del sistema RCI seca despresurizada y sin flujo de agua	Sistema RCI sin activación automática
MF-023	Disparo del interruptor termomagnético	Se apaga la bomba y la línea piloto del sistema RCI seca despresurizada y sin flujo de agua	Sistema RCI sin activación automática
MF-024	Se dispara la protección térmica del arrancador del motor	Se apaga la bomba y la línea piloto del sistema RCI seca despresurizada y sin flujo de agua	Sistema RCI sin activación automática
MF-031	La bomba no produce suficiente presión	activación automática del sistema RCI y manómetro de la línea piloto muestra lectura de presión por debajo de 100 psi	Perdida de agua almacenada en el reservorio
MF-032	La bomba vibra	Inestabilidad en el sistema jockey	Perdida de agua almacenada en el reservorio
MF-033	La velocidad de flujo no es consistente	Inestabilidad en el sistema jockey	Perdida de agua almacenada en el reservorio

Nota. Fuente: Elaboración propia

5.2.3 Bomba RCI COD 140310022713-004

La bomba principal de la red contraincendios es una bomba centrífuga de única etapa, aspiración simple horizontal y descarga vertical hacia arriba, acoplada a un motor diésel y al sistema RCI para suministrar el caudal de agua suficiente al sistema de aspersión. Esta se activa automáticamente cuando hay una caída de presión en la línea piloto o manualmente desde el tablero de control.

En la figura 18 se muestra la bomba principal instalada en el sistema de red contra incendios y se definen sus fronteras.

Figura 18

Bomba principal RCI



5.2.3.1 Características técnicas

- Capacidades de flujo de hasta 3082 GPM (700 m³/h)
- CDT de hasta 295 pies/90 m
- Soportes de cojinetes 6313 C3
- Paso de solidos de hasta 25 mm

- Presión máxima de descarga 310 psi
- Presión máxima de succión 150 psi
- Lubricada por aceite (1 lt aproximadamente) la mirilla debe estar a la mitad

5.2.3.2 Condiciones operacionales

- Temperatura del líquido: 86 °F (30 °C) a 482 °F (250 °C)
- Presión de trabajo: 60 psi
- Sentido de rotación: a favor de las manecillas del reloj, vista la bomba desde arriba

5.2.3.3 Análisis funcional

En la tabla 8 se detallan las funciones y fallas funcionales de la bomba RCI líder.

Tabla 8

Análisis funcional de la bomba RCI líder

Cod E	Equipo	Cod F	Función	Cod FF	Falla funcional
140310022713-004	BOMBA RCI	F-004	Impulsar caudal de agua requerido a la línea de aspersión y al hidrante del sistema RCI	FF-041	No impulsa caudal al sistema RCI

Nota. Fuente: Elaboración propia

5.2.3.4 Modos y efectos de falla

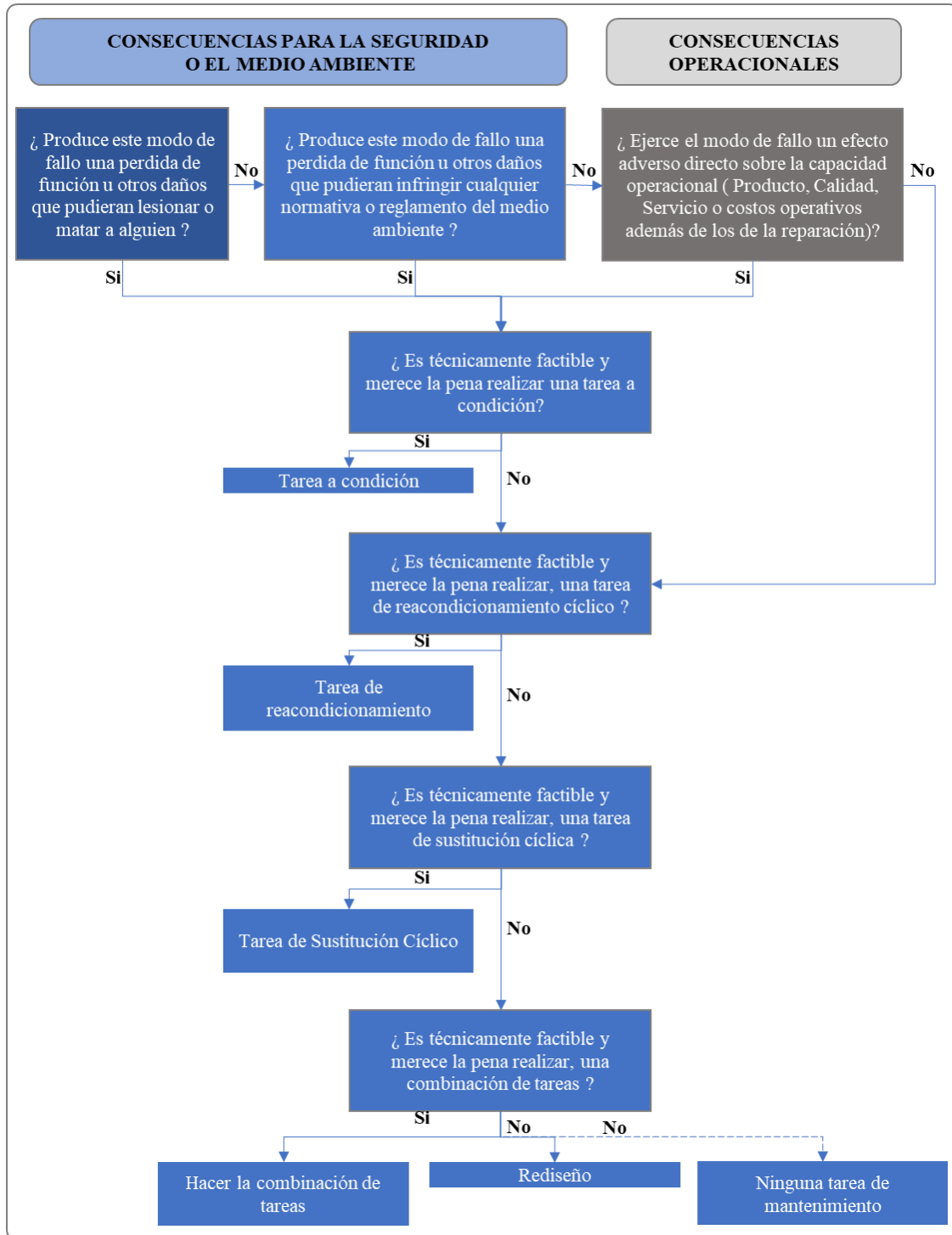
En la tabla 9 se describen los modos y efectos de falla de la bomba RCI líder.

Tabla 9*Modos y efectos de falla en la bomba CRI líder*

Cod MF	Modo de falla	Efectos de la falla	Consecuencias de la falla
MF-041	Bajo caudal en la línea de aspersión	La bomba no impulsa suficiente caudal a la red	Operación ineficiente del sistema RCI
MF-042	La bomba vibra	La bomba funciona con irregularidad	Operación ineficiente del sistema RCI

Nota. Fuente: Elaboración propia**5.2.4 Tareas de Mantenimiento**

Ya definidas las funciones y fallas funcionales, basados en el diagrama de decisión que se muestra en la figura 19 se establecieron las tareas de mantenimiento que se debe llevar a cabo a los equipos críticos del sistema RCI y apoyados en las recomendaciones de la NFPA 25 (National Fire Protection Association, 2020) se trazaron las actividades para los equipos de criticidad media y baja.

Figura 19*Diagrama de decisión RCM*

Nota. Fuente: Modificado de (Moubray Traducido Por Ellmann & Asociados, 2004)

5.2.4.1 Equipos de criticidad alta

A continuación, en la tabla 10, se muestran las tareas de mantenimiento para la Bomba principal RCI.

Tabla 10

Tareas de mantenimiento Bomba RCI

Cod T	Tarea de mantenimiento	Descripción de la tarea	Periodicidad
T-001	Monitoreo	- Verificar punto de ajuste de servicio - Inspeccionar obstrucciones en tubería de alimentación y rodete - Verificar fugas en la carcasa y bomba en general	Semanal
T-004	Cambio	Realizar cambio de aceite de los rodamientos	Anual
T-003	Reacondicionamiento	- Reemplazar piezas desgastadas - Alinear grupo bomba motor - Completar nivel de lubricante - Limpiar rodete y balancear - Cambiar cojinetes defectuosos - Realizar prueba de flujo	Anual

En el apéndice D se puede ver detalladamente cada una de las tareas establecidas por el RCM para los demás equipos críticos. Las frecuencias para los procesos de inspección de los

equipos corresponden a recomendaciones de la NFPA 25 (National Fire Protection Association, 2020) y recomendaciones del fabricante.

5.2.4.1.1 *Monitoreo de variables*

En la tabla 11 se resume el número de actividades de monitoreo a realizar y la periodicidad.

Tabla 11

Frecuencias de las tareas de monitoreo

Equipo	Semanal	Mensual	Trimestral	Anual	Total, general
Bomba jockey			1	3	4
Bomba RCI	1				1
Motor Diesel RCI	8	3		4	15
Total, general	9	3	1	7	20

Nota. Fuente: Elaboración propia

5.2.4.1.2 *Pruebas de funcionamiento*

En la tabla 12 se resume el número de pruebas a realizar y la periodicidad.

Tabla 12

Frecuencias de las pruebas a realizar

Equipo	Semanal	Mensual	Semestral	Anual	Total, general
Motor Diesel RCI	1	2		2	5
Total, general	1	2		2	5

Nota. Fuente: Elaboración propia

5.2.4.1.3 *Reacondicionamiento de equipos*

En la tabla 13 se resume el número de reacondicionamientos a realizar.

Tabla 13*Frecuencias de reacondicionamientos a realizar*

Equipo	Semestral	Mensual	Trimestral	Anual	Total, general
Bomba jockey				3	3
Bomba RCI				1	1
Motor Diesel RCI	2		1	11	14
Total, general	2	1	1	15	18

Nota. Fuente: Elaboración propia**5.2.4.1.4 Cambio de repuestos**

En la tabla 14 se muestra el número de tareas de cambio de repuestos o consumibles a reemplazar.

Tabla 14*Frecuencias de remplazo de consumibles*

Equipo	Anual	Total, general
Bomba RCI	1	1
Motor Diesel RCI	5	5
Total, general	6	6

Nota. Fuente: Elaboración propia**5.2.4.2 Equipos de criticidad media y baja**

Para estos equipos se plantearon tareas con frecuencias de mantenimiento de acuerdo con la NFPA 25 (National Fire Protection Association, 2020) para cada tipo de equipo, en el apéndice E se puede ver más detallada cada una de las tareas.

En la tabla 15 se muestran las frecuencias de tareas para cada en equipo.

Tabla 15

Frecuencias mantenimiento preventivo

Equipo	Semanal	Mensual	Semestral	Anual	5 años	Total, general
Aspersores de ampolla				1		1
Filtro en y 10"				1		1
Reservorio de agua	2			1		3
Tablero de control	1					1
Tanque de combustible	1			1		2
Válvula bola 1"			1			1
Válvula compuerta 10 "			1			1
Válvula de diluvio 8"		1			1	2
Válvula de seguridad 6"			1			1
Válvula mariposa 10"			1			1
Válvula mariposa 4"			1			1
Válvula mariposa 6"			1			1
Total, general	4	1	6	4	1	16

Nota. Fuente: Elaboración propia

5.2.5 *Stock mínimo de repuestos*

Una de las causas por la que no se puede restablecer la disponibilidad de un equipo es la cantidad de retrasos en ocasiones por la falta de repuestos y consumibles para las tareas de mantenimiento.

Para evitar esto se plantea la selección de un stock mínimo de repuestos teniendo en cuenta lo que representa tener un costo de inventario inmóvil y la disminución de la disponibilidad del sistema RCI.

5.2.5.1 Clasificación de los repuestos

Para la clasificación de los repuestos se realiza un análisis ABC donde de acuerdo con (Santiago García Garrido, 2003) los repuestos de clase A son repuestos que se deben tener en stock, los repuestos de clase B no es necesario mantener en stock, pero deben estar localizados por si se requiere y los repuestos de clase C son aquellos que no es necesario mantener en el stock de repuestos. En el apéndice F se muestra el análisis ABC realizado para los repuestos de cada uno de los equipos críticos dando como resultado el stock mínimo de los repuestos y consumibles a mantener en bodega mostrados en la tabla 16.

Tabla 16*Stock mínimo de repuestos*

Cod equipo	Equipo	Repuesto / consumible	Cantidad	Unidad
140310022713-004	Bomba RCI	Empaquetadura de los prensaestopas	1	Kit
		Juego de juntas planas	1	Kit
140310020246-005	Motor Diesel	Filtro de aire	1	Und
	RCI	Filtro de aceite	1	Und
		Filtro Diesel	1	Und
		Aceite de motor Diesel API CF 4 SAE 15w40	17	L
		Refrigerante	1	L
140310033300-006	Tanque de combustible	Diesel	30	Gal
140310010300-007	Tablero de control	Fusibles	5	Und
140310043822-011	Válvula de diluvio 8"	Kit de diafragma	1	Und
		Kit de asientos	1	Und

Nota. Fuente: Elaboración propia

5.2.6 Costos de mantenimiento para el sistema RCI

Para la determinación de los costos de mantenimiento se tomó como base la proyección anual de los costos directos para la ejecución del mantenimiento para el sistema RCI, en estos costos directos se contemplan los costos de mano de obra, y costo del stock de repuestos.

5.2.6.1 Costos de mano de obra

En la tabla 17 se muestran los costos de mano de obra directa y subcontratada de acuerdo con las actividades y los tiempos establecidos para las tareas de mantenimiento para la ejecución del plan RCM.

Tabla 17*Costos de mano de obra RCM*

Recurso humano	Frecuencia de la actividad					Totales	
	Semanal	Mensual	Anual	Trimestral	Semestral	Total (hr) anual	Costo Anual
Técnico 1	4,7	3	16,4	1,8	1	306	\$ 3.523.896
Técnico 2	4,7	3	16,4	1,8	1	306	\$ 3.523.896
Tercerizado			23,8			23,8	\$ 2.810.000
Total, general						635,8	\$ 9.857.792

Nota. Fuente: Elaboración propia

En la tabla 18 se muestran los costos de mano de obra directa de acuerdo con las actividades y los tiempos establecidos para las tareas de mantenimiento para la ejecución del plan preventivo y correctivo a los equipos menos críticos.

Tabla 18*Costos de mano de obra mantenimiento preventivo*

Recurso humano	Frecuencia de la actividad					Totales	
	5 años	Anual	Mensual	Semanal	Semestral	Total (hr) anual	Costo Anual
Técnico 1	1	2	0,3	1,2	1,8	71,8	\$ 826.849
Técnico 2	1	2	0,3	1,2	1,8	71,8	\$ 826.849
Total, general	2	4	0,6	2,4	3,6	143,6	\$ 1.653.698

Nota. Fuente: Elaboración propia

5.2.6.2 Costos de repuestos e insumos

El stock mínimo de repuesto se seleccionó teniendo en cuenta aquellos que se requieren para los equipos de mayor criticidad. En la tabla 19 se muestra el costo anual de repuestos e insumos para la operación y el mantenimiento del sistema RCI.

Tabla 19

Costos de repuestos y consumibles

Cod Equipo	Detalle	Cantidad	Unidad	Costo unitario	Costo total
Repuestos					
140310022713-004	Empaquetadura de los prensaestopas	1	Und	\$ 70.000	\$ 70.000
	Juego de juntas planas	1	Und	\$ 60.000	\$ 60.000
140310020246-005	Filtro de aire	1	Und	\$ 80.000	\$ 80.000
	Filtro de aceite	1	Und	\$ 170.000	\$ 170.000
	Filtro Diesel	1	Und	\$ 162.000	\$ 162.000
140310010300-007	Fusibles	5	Und	\$ 2.000	\$ 10.000
140310043822-011	Kit de diafragma	1	Und	\$ 160.000	\$ 160.000
	Kit de asientos	1	Und	\$ 120.000	\$ 120.000
Consumibles					
140310020246-005	Aceite de motor Diesel API CF 4 SAE 15w40	17	L	\$ 19.500	\$ 331.500
	Refrigerante tipo Glicol servicio pesado	3,7	L	\$ 19.000	\$ 70.300
140310033300-006	Diesel	983	L	\$ 2.437	\$ 2.395.945
Total, general					\$ 3.629.745

Nota. Fuente: Elaboración propia

Esta evaluación de costos contempla el stock de repuestos que debe permanecer en bodega, el stock para realizar los cambios o reemplazos programados (por ejemplo, cambio de filtros,

aceite, etc.), costos de los consumibles necesarios, más el costo de la mano de obra directa y el costo del mantenimiento subcontratado con terceros.

Para la ejecución de este plan en el sistema red contra incendios se debe contemplar un presupuesto anual de quince millones ciento cuarenta y un mil doscientos treinta y cinco pesos (\$ 15.141.235).

5.2.7 Viabilidad económica de implementación

Para analizar la viabilidad económica, los resultados de este presupuesto se compararon con lo que costaría si se subcontratara un mantenimiento preventivo al año para el sistema RCI a todo costo por parte del contratista.

En la tabla 20 se evaluó el costo con tres empresas diferentes que prestan este servicio.

Tabla 20

Costos mantenimiento preventivo subcontratados

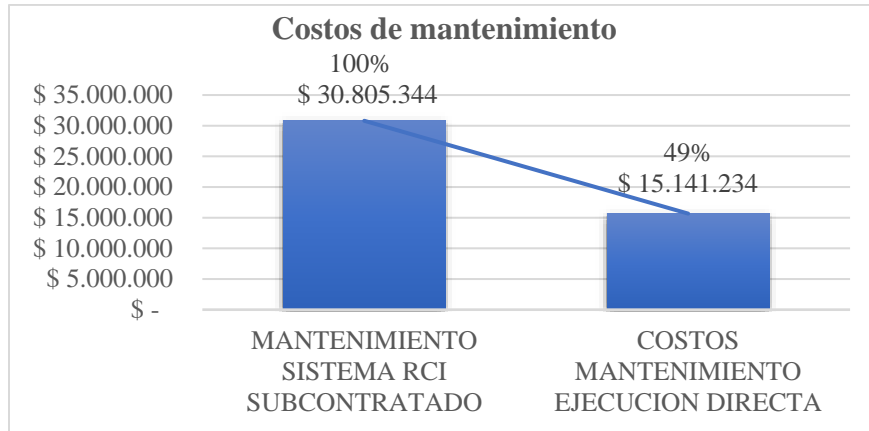
Empresa Contratista	Costo del mantenimiento preventivo (IVA incluido)
Agnis S.A.S	\$ 29.952.932
Proxel Colombia S.A.S	\$ 28.250.600
Electroagro S.A.S	\$ 34.212.500
Promedio general	\$ 30.805.344

Nota. Fuente: Elaboración propia

Como resultado de la revisión de la información de costos del mantenimiento RCM con ejecución directa y un mantenimiento preventivo subcontratado se obtiene una disminución en costos de un 51% ejecutando el RCM directamente como se puede evidenciar en la figura 20.

Figura 20

Comparativo costos mantenimiento subcontratado y mantenimiento directo



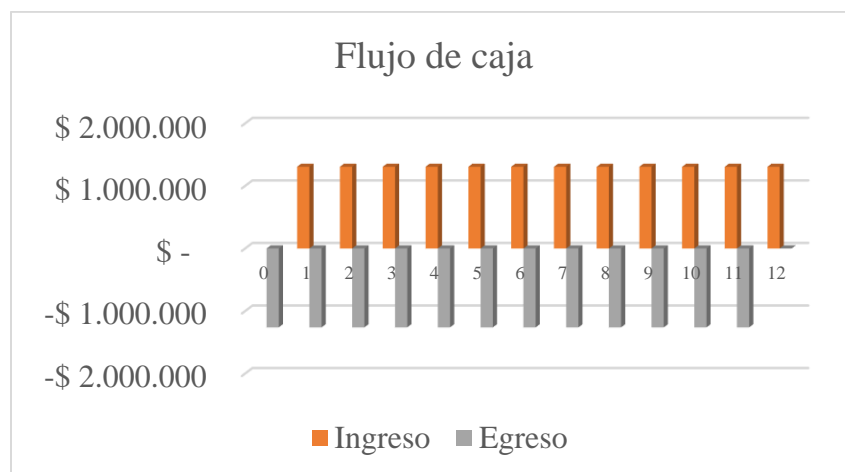
Nota. Fuente: Elaboración propia

5.2.7.1 Estimación de VPN y TIR

Para determinar la viabilidad se calcula el valor presente neto (VPN) y la tasa interna de retorno (TIR) del flujo de efectivo mensual en la ejecución del mantenimiento con mano de obra directa y con mano de obra subcontratada. En la figura 21 se muestra el flujo de caja mensual

Figura 21

Flujo de caja mensual



Nota. Fuente: Elaboración propia

En el apéndice G se muestra el calculo de los indicadores de viabilidad económica para los cuales se obtuvieron los valores presentados en la tabla 21.

Tabla 21

Indicadores financieros

Indicador	Valor
TIR	3,5% EM
i	2,59% EM
VNA	\$ 1.372.893
VPN	\$ 111.123
PR	12 meses

Nota. Fuente: Elaboración propia

Analizando el VPN se observa un valor positivo de \$ 111.123, lo que quiere decir que hay una recuperación de la inversión, el valor de la TIR de 3,5% respecto a la tasa mensual de capital (2,59%) es mayor, lo cual confirma la viabilidad al implementar el plan de mantenimiento.

6 Conclusiones

Se planteó un modelo de gestión de mantenimiento bajo la metodología RCM que incluye los componentes críticos en una red de protección contra incendios para una planta de almacenamiento de GLP y la importancia en la confiabilidad y disponibilidad que esta debe tener.

Se codificaron los equipos que componen la red contraincendios y se esquematizó el modelo para una fácil implementación en los demás activos de la empresa.

La metodología RCM, plantea identificar los equipos más importantes dentro de su contexto operacional mediante, desarrollando un sistema de gestión del mantenimiento adaptable a las necesidades reales de la empresa, implicando la seguridad del personal, el medio ambiente, confiabilidad operacional y la relación costo-beneficio de las acciones a realizar.

De acuerdo con los resultados de costos evaluados, se concluye que las actividades de mantenimiento atendidas con recursos directos requieren menor inversión, en consecuencia, incentiva a la generación de conocimiento y mayor compromiso por parte del personal de mantenimiento, por lo tanto, es viable realizar la implementación del sistema.

Se estableció un stock de repuestos mínimo requeridos en el sistema RCI para generar una mayor disponibilidad y confiabilidad operativa.

7 Recomendaciones

Implementar y retroalimentar de manera constante el sistema de gestión de mantenimiento, para lograr la disponibilidad y confiabilidad esperada.

Evaluar la posibilidad de adquirir un sistema de información digitales como un CMMS (Computerized Maintenance Management System) para la gestión del mantenimiento computarizado.

Diseñar las bases de datos requeridas para la gestión documental que debe tener el sistema de información y en lo posible enlazarlo al sistema integrado de gestión de la empresa para llevar un mejor control de las actividades de mantenimiento.

Recopilar datos de mantenimiento como mínimo durante un año para retroalimentar y mejorar las rutinas programadas y ajustar el plan de mantenimiento al finalizar el ciclo de acuerdo a los indicadores definidos para medir la efectividad.

Referencias Bibliográficas

- Benbekhaled, Abdelkader, Mehdi El Guerchi, Morocco I, Alex Evans, France I, Kelly, & Michael. (2015). *The World LPG Association Acknowledgements LPG and the Global Energy Transition*.
- ICONTEC. (2004). *NORMA TÉCNICA NTC COLOMBIANA 5254*.
- ISO 14224. (2016). *BS EN ISO 14224:2016 : petroleum, petrochemical and natural gas industries -- collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment*. British Standards Institution.
- José Bernardo Durán. (2010). *Gestión de Mantenimiento bajo estándares Internacionales como PAS 55 Asset Management*. www.twpl.com
- Lou Dupont. (2020). *Analyse, Recherche et Information sur les Accidents (ARIA)* - data.gouv.fr. 12 de enero de 2020. <https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/analyse-recherche-et-information-sur-les-accidents/>
- Márquez, A. C., De León, P. M., Fernández, J. F. G., Márquez, C. P., & Campos, M. L. (2009). The maintenance management framework: A practical view to maintenance management. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 15(2), 167-178. <https://doi.org/10.1108/13552510910961110>
- Ministerio de Minas y Energía MME. (2016). *Resolucion-40246-7Mar2016*.
- Mora Gutiérrez, L. Alberto. (2009). *Mantenimiento : planeación, ejecución y control*. Alfaomega.
- Moubray Traducido Por Ellmann, J., & Asociados, S. Y. (2004). *RCM II Mantenimiento Centrado en Confiabilidad*.
- National Fire Protection Association. (2017). *NFPA 15: Norma para Sistemas Fijos de Agua Pulverizada para Protección contra Incendios*. www.nfpa.org,

- National Fire Protection Association. (2020). *NFPA 25: Norma para la Inspección, Prueba, y Mantenimiento de Sistemas de Protección contra Incendios a Base de Agua*. www.nfpa.org/
- National Fire Protection Association, & Technical Committee on Liquefied Petroleum Gases. (2020). *NFPA 58: liquefied petroleum gas code, 2020*. National Fire Protection Association.
- Ortiz Ruiz Consultores. (2022). *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad*.
- Osinergmin, & Luis Merino Novoa, J. (2021). *Jorge Luis Merino Novoa*.
- Robertz. (2001). *ExxonMobil Safety in LPG Design*.
- Santiago García Garrido. (2003). *Organización y gestión integral de mantenimiento*.
- Villafañe Santander, D., & Casal Fàbrega Juan Antonio Vílchez, J. (2013). *Estudio de la dispersión e incendio de nubes inflamables de gas (GNL y GLP)*.
- Zapata, J., & Cotes, M. (2021). *Gobierno de Colombia expide Ley para promoción y uso de gas combustible*.