

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA



“PROGRAMA DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN
CONFIABILIDAD PARA AUMENTAR LA DISPONIBILIDAD DE
LA BOMBA CENTRÍFUGA HORIZONTAL WARMAN 6"X4" AH
DE LA PLANTA DE ESPESAMIENTO DE RELAVES DE UNA
UNIDAD MINERA EN LA PROVINCIA DE OYÓN - LIMA”

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
MECÁNICO

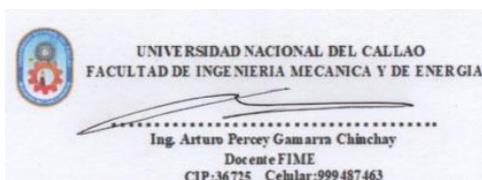
AUTORES:

MICHAEL JUNIOR PALPA MAYORCA
WALTER ALEXIS NUÑEZ RIVERA

ASESOR:

ING. ARTURO PERCEY GAMARRA CHINCHAY

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO



Callao, 2022
PERÚ

(Resolución N° 019-2021-CU del 20 de enero de 2021)

ACTA N°085 DE SUSTENTACIÓN DE TESIS CON CICLO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO E INGENIERO EN ENERGÍA

LIBRO 001 FOLIO N° 111, ACTA N° 085 DE SUSTENTACIÓN DE TESIS DEL I CICLO TALLER DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO

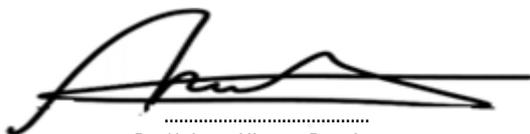
A los 20 días del mes de agosto, del año 2022, siendo las 10:27 horas, se reunieron, en la sala meet: <https://meet.google.com/civ-nwjd-nfn>, el **JURADO DE SUSTENTACION DE TESIS** para la obtención del **TÍTULO** profesional de Ingeniero Mecánico de la Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía conformado por los siguientes docentes ordinarios de la Universidad Nacional del Callao:

Dr.	Nelson Alberto Diaz Leiva	: Presidente
Msc.	Gustavo Ordoñez Cárdenas	: Secretario
Mag.	Juan Adolfo Bravo Félix	: Miembro
Mag.	Arturo Percey Gamarra Chinchay	: Asesor

Se dio inicio al acto de sustentación de la tesis del Bachiller **PALPA MAYORCA, MICHAEL JUNIOR** quien habiendo cumplido con los requisitos para optar el Título Profesional de **INGENIERO MECÁNICO**, sustenta la tesis titulada **“PROGRAMA DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD PARA AUMENTAR LA DISPONIBILIDAD DE LA BOMBA CENTRÍFUGA HORIZONTAL WARMAN 6"X4" AH DE LA PLANTA DE ESPESAMIENTO DE RELAVES DE UNA UNIDAD MINERA EN LA PROVINCIA DE OYÓN - LIMA”** cumpliendo con la sustentación en acto público, de manera no presencial a través de la Plataforma Virtual, en cumplimiento de la declaración de emergencia adoptada por el Poder Ejecutivo para afrontar la pandemia del Covid- 19, a través del D.S. N° 044-2020-PCM y lo dispuesto en el DU N° 026-2020 y en concordancia con la Resolución del Consejo Directivo N°039-2020-SUNEDU-CD y la Resolución Viceministerial N° 085-2020-MINEDU, que aprueba las "Orientaciones para la continuidad del servicio educativosuperior universitario";

Con el quórum reglamentario de ley, se dio inicio a la sustentación de conformidad con lo establecido por el Reglamento de Grados y Títulos vigente. Luego de la exposición, y la absolución de las preguntas formuladas por el Jurado y efectuadas las deliberaciones pertinentes, acordó: Dar por **APROBADO** con la escala de calificación cualitativa de **BUENO** y calificación cuantitativa de **DIECISEIS (16)**, la presente Tesis, conforme a lo dispuesto en el Art. 27 del Reglamento de Grados y Títulos de la UNAC, aprobado por Resolución de Consejo Universitario N° 099-2021-CU del 30 de junio del 2021.

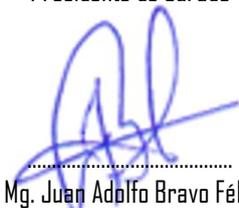
Se dio por cerrada la Sesión a las 10:45 horas del día 20 del mes y año en curso.



Dr. Nelson Alberto Díaz Leiva
Presidente de Jurado



Msc. Gustavo Ordoñez Cárdenas
Secretario de Jurado



Mg. Juan Adolfo Bravo Félix
Miembro de Jurado



Mg. Arturo Percey Gamarra Chinchay
Asesor

INFORMACIÓN BÁSICA

FACULTAD:

Ingeniería mecánica y de energía.

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN:

Informe final de tesis.

TÍTULO:

“Programa de mantenimiento centrado en confiabilidad para aumentar la disponibilidad de la bomba centrífuga horizontal WARMAN 6"X4" AH de la planta de espesamiento de relaves de una unidad minera en la provincia de Oyón - Lima”.

AUTORES:

Michael Junior Palpa Mayorca / ORCID: 0000-0003-1075-575X / DNI: 47978418.

Walter Alexis Nuñez Rivera / ORCID: 0000-0002-7664-6954 / DNI: 71927015.

ASESOR:

Ing. Arturo Percey Gamarra Chinchay / ORCID: 0000-0003-4470-0028 / DNI: 08787195.

LUGAR DE EJECUCIÓN:

Planta de espesamiento de relaves de una unidad minera ubicada en la provincia de Oyón – Lima.

UNIDAD DE ANÁLISIS

Bomba centrífuga horizontal Warman 6"X4" AH.

TIPO / ENFOQUE / DISEÑO DE INVESTIGACIÓN:

Tecnológica - Aplicada / Cuantitativo / Pre – experimental.

TEMA OCDE

Ingeniería y Tecnología – Ingeniería Mecánica.

DEDICATORIA

A nuestros padres

Por habernos inculcado una formación con valores, para ser profesionales de bien aportando al conocimiento y desarrollo de nuestra sociedad.

ÍNDICE

ÍNDICE	1
ÍNDICE DE FIGURAS	4
ÍNDICE DE TABLAS	7
RESUMEN	9
ABSTRACT	10
INTRODUCCCIÓN.....	11
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
1.1 Descripción de la realidad problemática.....	13
1.2 Formulación del problema	15
1.2.1 Problema general.....	15
1.2.2 Problemas específicos.....	15
1.3 Objetivos	16
1.3.1 Objetivo general.....	16
1.3.2 Objetivos específicos	16
1.4 Justificación.....	16
1.4.1 Justificación Teórica	16
1.4.2 Justificación Tecnológica	16
1.4.3 Justificación Económica.....	17
1.5 Delimitantes de la investigación	17
1.5.1 Teórica.....	17
1.5.2 Temporal.....	17
1.5.3 Espacial	17
II. MARCO TEÓRICO	18
2.1 Antecedentes	18
2.1.1 Antecedentes Internacionales.....	18
2.1.2 Antecedentes Nacionales	20
2.2 Bases teóricas.....	22

2.2.1	Generalidades de las máquinas hidráulicas	22
2.2.2	Definiciones de mantenimiento	27
2.2.3	Tipos de mantenimiento.....	28
2.2.4	Metodología del RCM	33
2.2.5	Conceptos asociados a la confiabilidad	44
2.2.6	Estrategias de gestión de mantenimiento	48
2.3	Marco conceptual	53
2.4	Definición de términos básicos	55
III.	HIPÓTESIS Y VARIABLES	56
3.1	Hipótesis.....	56
3.1.1	Hipótesis General	56
3.1.2	Hipótesis específicas	56
3.2	Definición conceptual de variables	56
3.2.1	Operacionalización de variables	57
IV.	METODOLOGÍA DEL PROYECTO	59
4.1	Diseño metodológico	59
4.1.1	Tipo de investigación	59
4.1.2	Enfoque de la investigación	59
4.1.3	Diseño de la investigación	59
4.1.4	Tipo de estudio de la investigación	60
4.2	Método de investigación.....	60
4.3	Población y muestra	61
4.4	Lugar de estudio.....	62
4.5	Técnicas e instrumentos para la recolección de la información	62
4.6	Análisis y procesamiento de datos	63
4.6.1	Análisis de criticidad y selección del equipo	64
4.6.2	Determinación de la disponibilidad inicial de los trenes de bombeo	67
4.6.3	Diseño del Programa de Mantenimiento.....	69
4.6.4	Diagrama de dispersión del tiempo – Diagrama Jack Knife.....	77
4.6.5	Análisis de datos – Distribución de Weibull	78

4.6.6	Diseño del Programa de Mantenimiento centrado en confiabilidad	88
4.6.7	Control de repuestos críticos	99
4.7	Aspectos éticos en investigación.....	102
V.	RESULTADOS	103
5.1	Resultados descriptivos.....	103
5.1.1	Fallas mecánicas críticas	103
5.1.2	Tiempo de intervención óptimo de mantenimiento.....	103
5.1.3	Disponibilidad de los trenes de Bombeo	104
5.2	Resultados inferenciales	105
5.2.1	Prueba de Normalidad	105
5.2.2	Contrastación de Hipótesis General	106
VI.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	109
6.1	Contrastación de hipótesis con los resultados	109
6.1.1	Contrastación de hipótesis general.....	109
6.1.2	Contrastación de hipótesis específicas.....	111
6.2	Contrastación de los resultados con otros estudios similares	113
6.3	Responsabilidad ética	113
VII.	CONCLUSIONES	114
VIII.	RECOMENDACIONES	116
IX.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	117
X.	ANEXOS.....	120

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Derrame de relave producido inicialmente por falla de la bomba centrífuga horizontal Warman 6"x4" AH N° 12	15
Figura 2.1 Tipos de máquinas.....	22
Figura 2.2 Clasificación de las máquinas hidráulicas.....	24
Figura 2.3 Esquema de una bomba centrífuga	25
Figura 2.4 Bomba para lodos centrífuga horizontal Warman AH	26
Figura 2.5 Secuencia de intervención de mantenimiento correctivo	29
Figura 2.6 Secuencia de intervención de mantenimiento preventivo	30
Figura 2.7 Secuencia de intervención de mantenimiento condicional.....	31
Figura 2.8 Patrones de falla de repuestos y/o equipos	37
Figura 2.9 Curva P-F.....	38
Figura 2.10 Intervalo P-F	39
Figura 2.11 Hoja de información de RCM	41
Figura 2.12 Diagrama de decisión de RCM	42
Figura 2.13 Hoja de decisión de RCM	43
Figura 2.14 Representación gráfica de los tiempos asociados a la gestión de mantenimiento.....	46
Figura 2.15 Diagrama de dispersión de fallas.....	49
Figura 2.16 Modelo de la gráfica de dispersión Jack-Knife.....	50
Figura 2.17 Modelos de distribuciones de confiabilidad de Weibull para distintos parámetros de forma β	52
Figura 4.1 Bomba centrífuga horizontal WARMAN 6"x4" AH - N°06.....	62
Figura 4.2 Flujograma proceso de gestión de mantenimiento aplicado al RCM	

Figura 4.3 Sistemas de falla de las bombas centrífugas horizontales WARMAN 6"X4" AH	67
Figura 4.4 Flowsheet sistema de bombeo de relave.....	68
Figura 4.5 Diagrama de Dispersión.....	78
Figura 4.6 Ajuste de Weibull de los Forros	81
Figura 4.7 Confiabilidad de los Forros	83
Figura 4.8 Ajuste de Weibull del impulsor	84
Figura 4.9 Confiabilidad del impulsor	85
Figura 4.10 Ajuste de Weibull del cilindro portarodamientos	86
Figura 4.11 Confiabilidad del cilindro portarodamientos	88
Figura 4.12 Confiabilidad de repuestos de componentes húmedos de la bomba	89
Figura 4.13 Confiabilidad de elementos de estanqueidad de cilindro portarodamientos	89
Figura 4.14 Inspección de bomba a las 300 Horas de funcionamiento.....	90
Figura 4.15 Inspección de bomba a las 300 Horas de funcionamiento.....	90
Figura 4.16 Mantenimiento programado de bomba a las 600 Horas de funcionamiento.....	91
Figura 4.17 Elementos húmedos desgastados	91
Figura 4.18 Mantenimiento programado de bomba a las 600 Horas de funcionamiento.....	92
Figura 4.19 Instalación de espárragos para cambio de forros	92
Figura 4.20 Inspección de cilindro portarodamiento y sistema transmisión por poleas	93
Figura 4.21 Armado de cilindro portarodamiento, para stand by.....	93
Figura 4.22 Mantenimiento de cilindro portarodamiento	94

Figura 4.23 Desmontaje de poleas para cambio de cilindro portarodamiento .	94
Figura 4.24 Cartilla de mantenimiento preventivo – Tareas Tipo A.....	95
Figura 4.25 Cartilla de mantenimiento preventivo – Tareas Tipo B.....	96
Figura 4.26 Cartilla de mantenimiento preventivo – Tareas Tipo C	98
Figura 5.1 Histórico mensual de disponibilidad del Tren N°01 (Durante la aplicación del RCM)	104
Figura 5.2 Histórico mensual de disponibilidad del Tren N°02 (Durante la aplicación del RCM)	105
Figura 5.3 Prueba de normalidad de la disponibilidad del Tren N°01	106
Figura 5.4 Prueba de normalidad de la disponibilidad del Tren N°02	106
Figura 5.5 Prueba T-Student a la muestra - disponibilidad del Tren N°01	107
Figura 5.6 Prueba T-Student a la muestra - disponibilidad del Tren N°02	108
Figura 6.1 Histórico mensual de disponibilidad del Tren de bombeo N°01	110
Figura 6.2 Histórico mensual de disponibilidad del Tren de bombeo N°02	111

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Datos técnicos de la bomba centrífuga horizontal Warman 6"x4" AH 27	
Tabla 2.2 Datos operacionales de la bomba centrífuga horizontal Warman 6"x4" AH 27	
Tabla 3.1 Operacionalización de variables	58
Tabla 4.1 Esquema del diseño de la investigación	61
Tabla 4.2 Tabla de criticidad – Unidad Minera	65
Tabla 4.3 Sistema de criticidad de equipos - Unidad Minera (Primeros 20 ítems) 66	
Tabla 4.4 Disponibilidad del Tren N°01 de bombeo	68
Tabla 4.5 Disponibilidad del Tren N°02 de bombeo	69
Tabla 4.6 Hoja de información para la bomba centrífuga horizontal WARMAN 6"X4" AH	70
Tabla 4.7 Hoja de Decisión para la bomba centrífuga horizontal WARMAN 6"X4" AH 74	
Tabla 4.8 Modos de falla de la bomba centrífuga horizontal WARMAN 6"X4" AH 77	
Tabla 4.9 Datos para el análisis de Weibull referente las fallas evidenciadas en los Forros	80
Tabla 4.10 Parámetros de Weibull para los Forros	81
Tabla 4.11 Datos de confiabilidad de los Forros	82
Tabla 4.12 Datos para el análisis de Weibull referente las fallas evidenciadas en el impulsor	83
Tabla 4.13 Parámetros de Weibull para el impulsor	84
Tabla 4.14 Datos de confiabilidad del impulsor	84

Tabla 4.15 Datos para el análisis de Weibull fallas evidenciadas en el cilindro portarodamientos	86
Tabla 4.16 Parámetros de Weibull para el cilindro portarodamientos	87
Tabla 4.17 Datos de confiabilidad del cilindro portarodamientos	87
Tabla 4.18 Seguimiento de repuestos críticos de la bomba centrífuga horizontal Warman 6"x4" AH	101
Tabla 5.1 Tiempo de intervención para el desgaste de partes húmedas de la bomba	103
Tabla 5.2 Tiempo de intervención para el desgaste de elementos de estanqueidad de cilindro portarodamientos	103
Tabla 5.3 Disponibilidad del Tren N°01 de bombeo (Durante la aplicación del RCM).....	104
Tabla 5.4 Disponibilidad del Tren N°02 de bombeo (Durante la aplicación del RCM).....	104
Tabla 5.5 Estadígrafos	106
Tabla 6.1 Disponibilidad del Tren N°01 de bombeo (Antes de aplicación del RCM) 109	
Tabla 6.2 Disponibilidad del Tren N°01 de bombeo (Posterior a la aplicación del RCM).....	109
Tabla 6.3 Disponibilidad del Tren N°02 de bombeo (Antes de aplicación del RCM) 110	
Tabla 6.4 Disponibilidad del Tren N°02 de bombeo (Posterior a la aplicación del RCM).....	110
Tabla 6.5 Tiempo de intervención para el desgaste de partes húmedas de la bomba	112
Tabla 6.6 Tiempo de intervención para el desgaste de elementos de estanqueidad de cilindro portarodamientos	112

RESUMEN

El presente trabajo de investigación buscó analizar y evaluar los diferentes modos de falla que presenta la bomba centrífuga horizontal WARMAN 6"X4" AH; con el objetivo de aumentar la disponibilidad de este equipo mediante un programa de mantenimiento centrado en confiabilidad.

La metodología de la investigación es de tipo tecnológica de nivel aplicada, con un enfoque cuantitativo y de diseño pre-experimental. La muestra estuvo conformada por doce (12) bombas centrífugas horizontales WARMAN 6"X4" AH, las cuales conforman las dos líneas de bombeo de la planta de espesamiento de relaves (06 bombas distribuidas en serie para cada línea de bombeo). La técnica utilizada para la recolección de datos fue documental y como instrumentos se utilizaron las Fichas de Reportes diarios de Operación, así como también el uso del programa MS Excel.

El presente trabajo fue desarrollado en tres (03) etapas específicas. En la primera etapa se realizó un análisis situacional del sistema de bombeo y la determinación del equipo crítico. En la segunda etapa, se elaboró y aplicó el programa de mantenimiento centrado en confiabilidad, tomando como punto de partida las 7 preguntas que formula el RCM y el uso de herramientas de gestión de mantenimiento. En la tercera etapa, se procedió a realizar un análisis de los resultados obtenidos con la aplicación del programa, obteniendo un aumento de la disponibilidad de 3.96% y 2.82%, para las líneas de bombeo N°01 y N°02 respectivamente.

Palabras claves: Disponibilidad, Mantenimiento centrado en Confiabilidad, Modos de Falla, Efectos de Falla, Tiempo de Intervención, Confiabilidad.

ABSTRACT

The present research work "Reliability-centered maintenance program to increase the availability of the WARMAN 6 "X4" AH horizontal centrifugal pump of the tailings thickening plant of a mining unit in the province of Oyón - Lima" sought to analyze and evaluate the different failure modes of the WARMAN 6 "X4" AH horizontal centrifugal pump; with the objective of increasing the availability of this equipment through a reliability-centered maintenance program.

The research methodology is of a technological type of applied level, with a quantitative approach and a pre-experimental design. The sample consisted of twelve (12) WARMAN 6 "X4" AH horizontal centrifugal pumps, which make up the two pumping lines of the tailings thickening plant (06 pumps distributed in series for each pumping line). The technique used for data collection was documentary and the instruments used were the Daily Operation Report Cards, as well as the use of the MS Excel program.

The present work was developed in three (03) specific stages. In the first stage, a situational analysis of the pumping system was carried out and the critical equipment was determined. In the second stage, the maintenance program focused on reliability was elaborated and applied, taking as a starting point the 7 questions formulated by the RCM and the use of maintenance management tools. In the third stage, an analysis of the results obtained with the application of the program was carried out, obtaining an increase in availability of 3.96% and 2.82% for pumping lines N°01 and N°02 respectively.

Key words: Availability, Reliability Centered Maintenance, Failure Modes, Failure Effects, Intervention Time, Reliability.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación que lleva por título “Programa de mantenimiento centrado en confiabilidad para aumentar la disponibilidad de la bomba centrífuga horizontal WARMAN 6"X4" AH en la planta de espesamiento de relaves de una unidad minera ubicada en la provincia de Oyón - Lima”, tuvo por finalidad optimizar la disponibilidad de la bomba centrífuga horizontal Warman 6"X4" AH, a través de un programa de mantenimiento centrado en confiabilidad para garantizar el buen desempeño del activo como parte fundamental del sistema de bombeo de relave minero con densidades desde 1600 hasta 1650 gr/L.

El trabajo de investigación es de tipo tecnológico de nivel aplicativo, buscándose diseñar una nueva metodología de mantenimiento que permita mitigar las fallas que generan mayor indisponibilidad de la bomba centrífuga horizontal Warman 6"X4" AH, logrando así el aumento de la disponibilidad del equipo. Con un método cuantitativo y diseño Pre - experimental, evidenciando el estado de la variable dependiente (antes de aplicado el programa de mantenimiento), luego se aplicó un tratamiento (Programa de mantenimiento centrado en confiabilidad) y finalmente se evidenció el estado final de la variable dependiente (después de aplicado el programa de mantenimiento). Así mismo el presente trabajo de investigación se desarrolló en forma ordenada y sistematizada, y consta de seis capítulos.

El primer capítulo trata sobre el planteamiento del problema, describiendo la realidad problemática y evidenciando la necesidad de una gestión del mantenimiento en la unidad minera, formulando el problema general: “¿La implementación de un programa de mantenimiento centrado en confiabilidad aumentará la disponibilidad de la bomba centrífuga horizontal Warman 6"X4" AH en la planta de espesamiento de relaves de una unidad minera en la provincia de Oyón – Lima?”; para ello se planteó el siguiente objetivo general: “Implementar un programa de mantenimiento centrado en confiabilidad para aumentar la disponibilidad de la bomba centrífuga horizontal Warman 6"X4" AH en la planta de espesamiento de relaves de una unidad minera en la provincia de Oyón – Lima”. Adicionalmente se describe la justificación y las delimitantes del trabajo de investigación.

El segundo capítulo, describe el marco teórico, tomando como referencia tres (03) antecedentes internacionales y tres (03) antecedentes nacionales, relacionados con el trabajo de investigación; además de describir los conceptos fundamentales para poder entender y aplicar la metodología del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM).

El tercer capítulo, expone las hipótesis planteadas para resolver los problemas de esta investigación y describe las variables identificadas. Teniendo como hipótesis general: “La implementación de un programa de mantenimiento centrado en confiabilidad aumentará la disponibilidad de la bomba centrífuga horizontal Warman 6”X4” AH en la planta de espesamiento de relaves de una unidad minera en la provincia de Oyón – Lima”, como variable independiente: “Programa de mantenimiento centrado en confiabilidad” y variable dependiente: “Disponibilidad de la bomba centrífuga horizontal Warman 6”X4” AH”.

El cuarto capítulo, desarrolla la metodología de la investigación, describiendo el diseño metodológico como tecnológico de nivel aplicado y el método de la investigación como cuantitativo de diseño pre - experimental. Así mismo se describe las técnicas e instrumentos de recolección de datos y el análisis y procesamiento de los mismos.

El quinto capítulo, describe los resultados del desarrollo de la metodología del mantenimiento centrado en confiabilidad para la bomba centrífuga horizontal Warman 6”X4” AH, de forma descriptiva y/o inferencial.

El sexto capítulo, trata sobre las discusiones e interpretaciones de los resultados obtenidos en el capítulo anterior, contrastando y demostrando las hipótesis planteadas.

Finalmente se presenta las conclusiones con sus respectivas recomendaciones, además de la bibliografía y los anexos.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática

A nivel mundial, la primera industria en tener en cuenta los criterios de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), por sus siglas en inglés Reliability Centred Maintenance, fue la industria de la aviación civil internacional. Es por ello que uno de los acontecimientos principales de su desarrollo fue un reporte comisionado por el departamento de defensa de los estados unidos para United Airlines en el año 1978, brindando una descripción integral del desarrollo y la aplicación del RCM a la aeronáutica. A partir de 1990, esta metodología, se desarrolló para otras industrias fuera de la industria de la aviación, tal es el caso de la industria minera.

El banco interamericano de Desarrollo, en su estudio “América Latina y el Caribe 2050”, publicado en 2021, estima que para el año 2026, la demanda por minerales clave para la transición energética será más del doble que la registrada en 2015. Ese estudio también concluye que América Latina y el Caribe (ALC) tiene una oportunidad de colocarse como un suplidor mundial de metales debido a la abundancia de sus recursos minerales.

En el Perú, en mayo del 2016, el Ingeniero Jaime Collantes, docente del Departamento de Ingeniería de la PUCP, ganó el Premio ACIEM a la Ingeniería de Mantenimiento por su trabajo “Plan de mantenimiento basado en la confiabilidad para una nueva planta de procesos”. La metodología consiste en considerar la confiabilidad desde la concepción de cada proyecto, llevando a cabo el uso de herramientas de ingeniería de confiabilidad.

En nuestro país el mantenimiento, en muchas ocasiones, aún forma parte de un taller en el cual no se emplean estrategias de mantenimiento, análisis de datos, etc. Sin embargo, en las grandes empresas como las del rubro minero, la alta gerencia apuesta por la gestión del mantenimiento debido al alto costo de sus equipos y pérdidas de producción que origina una parada de toda la planta.

Es por ello que la gestión del mantenimiento es un determinante importante en la eficiencia y la competitividad de una empresa, planteamiento que no es indiferente para su aplicación en la unidad minera, lugar de aplicación del presente trabajo, ubicada en la provincia de Oyón-Lima. Por lo tanto, para incrementar el potencial de creación de valor en esta empresa intensiva en el uso de activos, hace falta optimizar la gestión del mantenimiento, a través de la incorporación de mejores técnicas, de la ingeniería y de las personas.

En la Planta Concentradora de Zinc de la unidad minera, lugar de aplicación del presente trabajo, el agua es empleada desde el área de molienda primaria,

molienda secundaria, remolienda, flotación, espesadores de Zinc, servicios auxiliares, etc. En todos los procesos mencionados el agua se contamina por sustancias químicas, metales y óxidos que derivan de los procesos químicos y metalúrgicos. Sin embargo, la empresa minera es responsable en su compromiso con el medio ambiente y en consecuencia a ello el agua contaminada no es vertida al medio ambiente, por el contrario, se reutiliza el agua industrial, denominada así por dejar de ser agua para consumo humano y uso agrario, para ello se cuenta con una laguna artificial donde se almacena el agua recuperada. Esta recuperación de agua se realiza mediante un proceso físico (decantación) por medio de un espesador en el cual se adiciona un aditivo químico (floculante) que acelera la decantación. Por el diseño y dimensionamiento de la planta de espesamiento de relaves el agua se recupera hasta un 75% del volumen total. El resto, que corresponde al 25% del concentrado entre agua y relave, es enviada por un sistema de bombeo a un botadero hermético de material geosintético.

Por consiguiente, en la planta de espesamiento de relaves, el sistema de bombeo de relave es fundamental en el flujo de la línea de procesamiento. Para el bombeo de relaves según Warman International LTD, la bomba Warman AH es el estándar mundial para soluciones de bombeo de lodos de aplicaciones abrasivas.

El sistema de bombeo, de la unidad minera evaluada, cuenta con dos trenes de bombeo, cada uno con seis bombas horizontales WARMAN 6"X4" AH distribuidas en serie; lo que implica que, si una bomba deja de operar, esta compromete al tren de bombeo asociado, paralizando directamente el bombeo de relave y ocasionando la posterior paralización de la línea de producción.

En la Figura 1.1 se aprecia el derrame de relave en la planta de espesamiento, con fecha 28 de octubre del 2020 siendo las 20:43 horas se produce el derrame de relave por forro lado succión de la bomba Warman N° 12 del Tren N° 02 de bombeo y posteriormente se alterna la línea de bombeo al Tren N°01, el cual también falla por derrame de relave de la bomba Warman N° 05; en consecuencia, se tuvo una parada no programada de la Planta por 3.5 horas.

Figura 1.1 Derrame de relave producido inicialmente por falla de la bomba centrífuga horizontal Warman 6"x4" AH N° 12



Por tal motivo, en el presente trabajo de investigación se llevó a cabo un programa de mantenimiento centrado en confiabilidad para las bombas centrífugas horizontales Warman 6"X4" AH de la planta de espesamiento de relaves en una unidad minera ubicada en la provincia de Oyón – Lima, y de esta forma se pudo aumentar la disponibilidad de las mismas, logrando reducir paradas no programadas y de esta manera contribuir a la mejora del rendimiento operacional.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿La implementación de un programa de mantenimiento centrado en confiabilidad aumentará la disponibilidad de la bomba centrífuga horizontal Warman 6"X4" AH en la planta de espesamiento de relaves de una unidad minera en la provincia de Oyón – Lima?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿El análisis de las fallas mecánicas críticas aumentará la disponibilidad de la bomba centrífuga horizontal Warman 6"X4" AH en la planta de espesamiento de relaves de una unidad minera en la provincia de Oyón – Lima?

- ¿La determinación de un tiempo de intervención óptimo de mantenimiento aumentará la disponibilidad de la bomba centrífuga horizontal Warman 6"X4" AH en la planta de espesamiento de relaves de una unidad minera en la provincia de Oyón – Lima?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Implementar un programa de mantenimiento centrado en confiabilidad para aumentar la disponibilidad de la bomba centrífuga horizontal Warman 6"X4" AH en la planta de espesamiento de relaves de una unidad minera en la provincia de Oyón – Lima.

1.3.2 Objetivos específicos

- Analizar las fallas mecánicas críticas para aumentar la disponibilidad de la bomba centrífuga horizontal Warman 6"X4" AH en la planta de espesamiento de relaves de una unidad minera en la provincia de Oyón – Lima.
- Determinar un tiempo de intervención óptimo de mantenimiento para aumentar la disponibilidad de la bomba centrífuga horizontal Warman 6"X4" AH en la planta de espesamiento de relaves de una unidad minera en la provincia de Oyón – Lima.

1.4 Justificación

1.4.1 Justificación Teórica

Actualmente los planificadores del mantenimiento buscan optimizar sus planes maestros de mantenimiento y estar a la vanguardia de las nuevas investigaciones. La aplicación de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM emplea estrategias de mantenimiento con el fin de optimizar el plan maestro de mantenimiento y con ello aumentar la disponibilidad de los equipos.

Es por ello que esta investigación tuvo como propósito aportar al conocimiento sobre el análisis de confiabilidad aplicado al mantenimiento de la bomba centrífuga horizontal Warman 6"X4" AH.

1.4.2 Justificación Tecnológica

La implementación del programa de mantenimiento centrado en confiabilidad, garantiza una mejora en la disponibilidad de los equipos,

identificando las fallas, consecuencias y de este modo realizar un programa de mantenimiento para prevenir y/o disminuir la frecuencia de las fallas.

1.4.3 Justificación Económica

En el Perú las industrias del rubro minero se preocupan por la gestión del mantenimiento debido al gran impacto económico que ocasionan las fallas en los equipos y con ello la pérdida de producción.

La unidad minera, lugar de aplicación del presente trabajo, ubicada en la provincia de Oyón-Lima, procesa un promedio de 200 Tn/hr de mineral, obteniendo concentrado de Zinc a razón de 20 Tn/hr, cada tonelada tiene un costo aproximado de USD 4,000, en conclusión, por una hora que la planta deja de producir por falla de equipos o por motivos de carga, genera una pérdida en la producción de USD 80,000, dicha pérdida se puede repetir semanalmente y al mes tendría costos acumulados muy altos.

1.5 Delimitantes de la investigación

1.5.1 Teórica

El presente trabajo está limitado bajo la metodología del mantenimiento basado en la confiabilidad para bombas centrífugas horizontales teniendo como fluido operante al relave minero con densidades desde 1600 hasta 1650 gr/L.

1.5.2 Temporal

Para la realización del presente trabajo de investigación, se contó con información de operación del activo desde octubre de 2020, fecha de inicio de registros de mantenimiento, hasta mayo de 2021, debido a que, la empresa dio por paralizada sus operaciones por factores económicos, políticos y sociales.

1.5.3 Espacial

El presente trabajo de investigación se empleó para las bombas centrífugas horizontales WARMAN 6"X4" AH de la planta de espesamiento de relaves de una unidad minera ubicada en la provincia de Oyón-Lima a más de 4500 msnm.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación se tomó como referencia tres (03) antecedentes internacionales y tres (03) antecedentes nacionales, como son:

2.1.1 Antecedentes Internacionales

- Castillo Santillán (2017), en su Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo que lleva por título “PROPUESTA DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD DE LAS UNIDADES DE BOMBEO HORIZONTAL MULTITAPAS DEL SISTEMA POWER OIL DE LA ESTACIÓN ATACAPI DEL B57-LI DE PETROAMAZONAS EP”, realizó un estudio para optar el grado de Magister en Gestión del Mantenimiento Industrial, en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

El objetivo general del estudio fue, “Proponer un plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad para la unidad de bombeo horizontal multietapas del sistema Power Oil de la Estación Atacapi del B57-LI de Petroamazonas EP, en base al análisis de los modos de falla recomendados por la norma ISO 14224-2006, varios de los cuales se han presentado en los equipos durante los años 2014 y 2015 de operación”. La muestra estuvo constituida por la unidad de bombeo horizontal HPS del sistema Power Oil de la estación Atacapi. La técnica e instrumento para la recolección de información se basó en las 7 preguntas del RCM y en el análisis documental respectivamente.

Finalmente concluye, con la aplicación del RCM se pasaría de tener un tiempo medio entre fallas de 29 a 69 días, al analizar esta afirmación en porcentaje se obtuvo una reducción de la tasa de fallas del 57,95 %.

El aporte que brindó este antecedente al presente trabajo de investigación fue, ejemplificar la aplicación de la metodología del RCM, dando respuesta a las 7 preguntas formuladas, elaborando la hoja de información y de decisión del activo para la propuesta de mantenimiento.

- Merlin Bedoya (2020), en su Trabajo de Titulación que lleva por título “DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM) EN UNA EMPRESA CAMARONERA DEL CANTÓN DURÁN”, realizó un estudio para optar el título profesional de Ingeniero Industrial en la Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador.

El objetivo general del estudio fue, “Diseñar un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) para el proceso de bombeo del área de mantenimiento de una empresa camaronera en el cantón Duran”. La muestra estuvo constituida por cuatro (04) estaciones de bombeo con una cantidad de 330 órdenes de mantenimiento correspondientes al año 2019. Según el autor, utilizó la metodología descriptiva, deductiva.

Finalmente concluye, la viabilidad mediante la evaluación económica de la implementación del RCM con un costo de implementación de \$42,421.8 frente a un total de pérdidas por tiempos improductivos estimados en \$104,499.92. Lo que deriva automáticamente, según el autor, a una reducción en las horas y costos de mantenimiento ayudando a optimizar los recursos tales como horas hombre, repuestos y materiales.

El aporte que brindó este antecedente al presente trabajo de investigación fue, ejemplificar la aplicación de la metodología del RCM, dando respuesta a las 7 preguntas formuladas, elaborando la hoja de información y de decisión del activo.

- Montalvo Rojas (2017), en su Trabajo Teórico Práctico que lleva por título “MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD PARA EL CONTROL DE FALLAS EN MOTOCOMPRESORES RECIPROCANTES”, realizó un estudio para optar el grado de Maestro en Ingeniería de la Calidad, en la Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz, México.

El objetivo general del estudio fue, “Proponer acciones para el incremento del Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF) en Motocompresores recíprocos por encima de la meta de la empresa EXTERRAN establecida en 720 horas”. La muestra estuvo constituida por once (11) Motocompresores recíprocos de la gerencia Veracruz con registros correspondientes al año 2016.

Finalmente concluye, que mediante la aplicación del mantenimiento centrado en confiabilidad hace posible mejorar los indicadores de mantenimiento como: MTBF, MTTR y Disponibilidad. Como resultado se obtuvo un MTBF de 720.51 horas cumpliéndose de esta manera lo proyectado superior a 720 horas, también un aumento de la disponibilidad desde 99.53% hasta 99.78%.

El aporte que brindó este antecedente al presente trabajo de investigación fue, dar una estructura de los diferentes indicadores de mantenimiento que influyen en la disponibilidad de un activo y optimizarlas a través del uso de herramientas de gestión.

2.1.2 Antecedentes Nacionales

- Santillan Armas (2017), en su Tesis que lleva por título “PROGRAMA DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD PARA BOMBAS CENTRIFUGAS HORIZONTALES WARMAN 450 MCR EN MINERA CERRO CORONA”, realizó un estudio para optar el título de Ingeniero Mecánico, en la Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú.

El objetivo general del estudio fue, “Elaborar un Programa de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad RCM para aumentar la disponibilidad de las bombas horizontales Warman 450 MCR dentro del proceso de producción”. La muestra estuvo constituida por la Bomba Centrifuga Horizontal Warman 450 MCR. Con un tipo de investigación, según el autor, descriptivo de diseño comparativo; utilizando la técnica documental y análisis estadístico.

Finalmente concluye, que al realizar un programa de mantenimiento basado en la confiabilidad se pueden tomar decisiones para evitar la ocurrencia de fallas y que centrándose en las fallas críticas se optimizan los tiempos de intervención y así lograr aumentar la disponibilidad del activo.

El aporte que brindó este antecedente al presente trabajo de investigación fue, la estructura elaborada para la hoja de información y de decisión del equipo, así como también por las herramientas de gestión de mantenimiento utilizadas, como son: Análisis de dispersión y análisis de distribución de Weibull.

- Salazar Franco (2018), en su Tesis que lleva por título “IMPLEMENTACIÓN DEL RCM PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE LA BOMBA GEHO TZPM 400 EN UNIDAD OPERATIVA SELENE”, realizó un estudio para optar el título de Ingeniero Mecánico, en la Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú.

El objetivo general del estudio fue, “Mejorar la disponibilidad de la Bomba Geho Tzpm 400 en la Unidad Operativa Selene”. La muestra estuvo constituida por la Bomba Geho Tzpm 400. Con un tipo de investigación, según el autor, tecnológica de nivel aplicada; utilizando la técnica documental y análisis de la metodología del RCM.

Finalmente concluye, que aplicando el RCM se evidenció una mejora en la disponibilidad de la operación de la Bomba Geho TZPM 400 en 5.4 %, garantizando un funcionamiento eficiente.

El aporte que brindó este antecedente al presente trabajo de investigación fue, ejemplificar la aplicación de la metodología del RCM, dando respuesta a las 7 preguntas formuladas, elaborando la hoja de información y de decisión del activo. Asimismo, fue de gran aporte para evidenciar el aumento considerable de la disponibilidad que se puede lograr en la aplicación de la metodología.

- Cruzado Valladares (2020), en su Tesis que lleva por título “APLICACIÓN DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM) A BOMBAS DE CARGA EN UNA REFINERÍA”, realizó un estudio para optar el título de Ingeniero Mecánico - Eléctrico en la Universidad de Piura, Piura, Perú.

El objetivo general del estudio fue, “El desarrollo de un programa de mantenimiento centrado en la confiabilidad siguiendo la metodología del RCM aplicado a las bombas de carga P-100 D y P-100 E de una refinería”. La muestra estuvo constituida por 02 bombas centrífugas horizontales modelo Goulds Pumps 3700.

Finalmente concluye, con la aplicación del programa de mantenimiento centrado en la confiabilidad el cual se desarrolló en base a la hoja de información y de decisión, determinado por la falla crítica de la bomba que corresponde a la falla del sello mecánico; determinando el tiempo óptimo para el reemplazo del activo correspondiente a 12 años con un costo total mínimo para la bomba

P-100 D, mientras que para la bomba P-100 E corresponde el cambio a unos 16 años.

El aporte que brindó este antecedente al presente trabajo de investigación fue, ejemplificar la aplicación de la metodología del RCM, dando respuesta a las 7 preguntas formuladas, elaborando la hoja de información y de decisión del activo.

2.2 Bases teóricas

En este capítulo se desarrollan los conceptos teóricos que fueron de utilidad para la realización del presente trabajo de investigación y cómo estos se relacionan para fundamentar el desarrollo de un programa de mantenimiento centrado en la confiabilidad, con el objetivo de aumentar la disponibilidad de la bomba centrífuga horizontal Warman 6"X4" AH y con ello, mejorar la disponibilidad de la línea de bombeo de relaves.

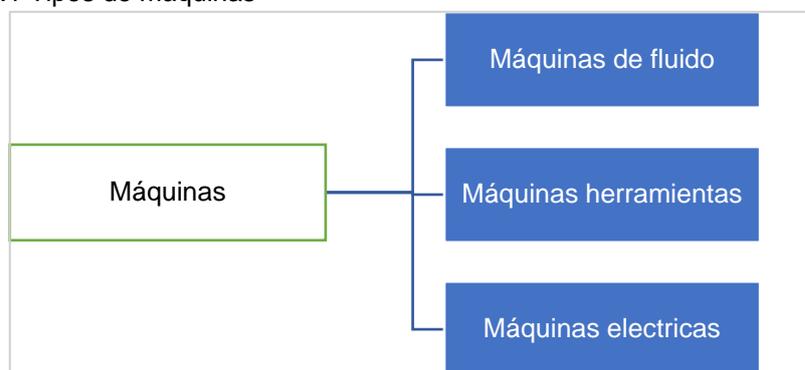
2.2.1 Generalidades de las máquinas hidráulicas

¿Qué es una máquina?

Una máquina es un transformador de energía, una máquina absorbe energía de una clase y restituye energía de otra clase (un motor eléctrico, por ejemplo, absorbe energía eléctrica y restituye energía mecánica) o de la misma clase, pero transformada.

Las máquinas se clasifican en grupos: máquinas de fluido, máquinas herramientas, máquinas eléctricas (Mataix, 1986, p.355).

Figura 2.1 Tipos de máquinas



Máquinas Hidráulicas

Las máquinas hidráulicas pertenecen a un grupo muy importante de máquinas que se llaman máquinas de fluido. Son aquellas máquinas donde el fluido proporciona la energía que absorbe la máquina (por ejemplo, el agua que se suministra a una turbina posee una energía preferentemente de presión, proveniente de la energía geodésica que poseía en el embalse y que a su vez la turbina transforma esa energía en energía mecánica) o bien aquellas en que el fluido es el receptor de energía, al que la máquina restituye de la energía mecánica absorbida (Mataix, 1986).

Clasificación de las máquinas hidráulicas

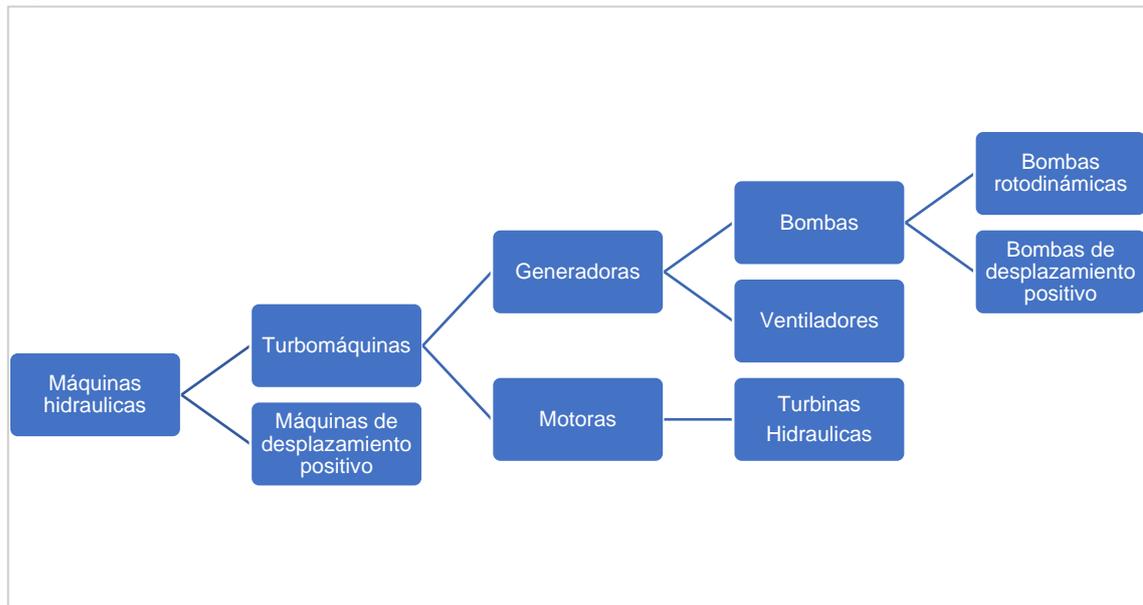
Para clasificar las máquinas hidráulicas se atiende al órgano principal de la máquina, o sea al órgano en que intercambia la energía mecánica en energía de fluido o viceversa. Este órgano, según los casos, se llama rodete o émbolo.

Las máquinas hidráulicas se clasifican en turbo máquinas y máquinas de desplazamiento positivo.

- Máquinas de desplazamiento positivo, también llamadas máquinas volumétricas, el órgano intercambiador de energía cede energía al fluido o el fluido a él en forma de energía de presión creada por la variación de volumen. Los cambios en la dirección y valor absoluto de la velocidad del fluido no juegan papel esencial alguno.
- Turbo máquinas, denominadas también máquinas de corriente, los cambios en la dirección y valor absoluto de la velocidad del fluido juegan un papel esencial. En este grupo el órgano transmisor de energía siempre se mueve de forma rotativo.

En las máquinas hidráulicas tanto turbo máquinas y de desplazamiento positivo se subdividen en motoras y generadoras. Las primeras absorben energía del fluido y restituyen energía mecánica; mientras que las segundas absorben energía mecánica y restituyen energía al fluido (Mataix, 1986, p.357).

Figura 2.2 Clasificación de las máquinas hidráulicas



Fuente: (Mataix, 1986, p.358)

Bombas rotodinámicas

Una bomba es una máquina que absorbe energía mecánica y restituye al líquido que la atraviesa, energía hidráulica. Las bombas se emplean para impulsar toda clase de líquidos (agua, aceites, combustibles, ácidos, etc.). También se emplean las bombas para bombear líquidos espesos en suspensión. Las bombas rotodinámicas son todas rotativas debido a que su funcionamiento se basa en la ecuación de Euler; y su órgano transmisor de energía se llama rodete (Mataix, 1986, p.369).

Clasificación de las bombas rotodinámicas

- Según la dirección del flujo: bombas de flujo radial, de flujo axial y de flujo mixto.
- Según la posición del eje: bombas de eje horizontal, de eje vertical y de eje inclinado.

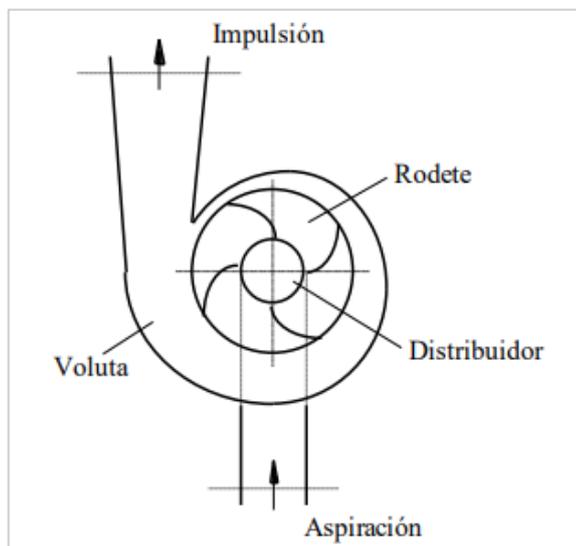
Bomba centrífuga

Una bomba centrífuga está compuesta básicamente por un rodete y una caja espiral.

El rodete es el órgano principal de trabajo de la bomba, el cual, al girar a altas revoluciones, comunica al líquido una energía y lo empuja con velocidad aumentada a la caja espiral. Entre las paletas (álabes) del rodete y el flujo existe una interacción de fuerzas, debido a la cual la

energía mecánica se transforma en energía hidráulica (Jara Tirapegui, 1998, p.132).

Figura 2.3 Esquema de una bomba centrífuga



Fuente: (Zamora Parra y Viedma Robles, 2016, p.5)

En la Figura 2.3 se muestra el esquema de una bomba centrífuga. El distribuidor puede consistir únicamente en un tubo de entrada, o disponer de álabes guía que conducen el flujo hacia el rodete. En la salida se dispone a menudo de una corona de álabes fijos denominada difusor. Sus álabes pueden ser orientables, aunque esto es muy poco frecuente en bombas. Por su forma característica, la voluta también recibe la denominación de caracol (Zamora Parra y Viedma Robles, 2016, p.5).

Bomba centrífuga horizontal Warman 6"x4" AH

Las bombas Warman en sus distintas series y capacidades se emplean en los diferentes procesos de la Unidad Minera. En la planta de Relaves se emplean bombas Warman de la serie AH.

Según Warman International LTD, La bomba Warman AH es el estándar mundial para trabajos pesados. Una amplia variedad de impulsores y sellos de eje proporcionan un ajuste perfecto para una amplia gama de aplicaciones. La bomba AH brinda una excelente vida útil al tiempo que mantiene la eficiencia durante el ciclo de desgaste y brinda el mejor costo operativo total.

La bomba Warman AH, junto con la bomba de la serie Warman MC, proporciona una selección completa para la mayoría de las tareas en el

molino. Desde alimentación ciclónica hasta triturado, flotación y relaves, la bomba Warman AH es la mejor opción («GLOBAL.WEIR», 2022).

Figura 2.4 Bomba para lodos centrífuga horizontal Warman AH



Fuente:

<https://www.global.weir/assets/files/product%20brochures/Warman%20Centrifugal%20Slurry%20AH%20Pump.pdf>

En la planta de espesamiento de relaves, de la Unidad Minera lugar de análisis del presente trabajo de investigación, se cuenta con 02 líneas de bombeo en paralelo. Cada línea conformada por 06 bombas centrífugas horizontales de modelo Warman 6"x4" AH distribuidas en serie, teniendo en su totalidad 12 bombas con las mismas especificaciones técnicas.

En las Tablas 2.1 y 2.2, se presentan los datos técnicos y de operación de la bomba centrífuga horizontal Warman 6"x4" AH en la planta de espesamiento de relaves.

Tabla 2.1 Datos técnicos de la bomba centrífuga horizontal Warman 6"x4" AH

DATO	VALOR
Peso (kg)	420
Caudal (m3/h)	175
Presión (bar)	45
Motor SIEMENS (KW)	152
RPM Motor	1788
Frame de Motor	315M
Densidad del fluido (gr/l)	1650
Aceite caja portarodadientes	Mobil Gear ISO 220
Transmisión mecánica	Correas entre poleas
Correas Transmisión	5VX 950
Tipo de sello	Húmedo
Revestimiento de elastómeros	03 und
Diámetro succión	6" (150mm)
Diámetro descarga	4" (100mm)

Fuente: Manual del fabricante, datos que obran en el Área de Planeamiento de Mantenimiento – Unidad Minera

Tabla 2.2 Datos operacionales de la bomba centrífuga horizontal Warman 6"x4" AH

DATO	VALOR
Presión (bar)	40 - 45
Caudal (m3/h)	170 -175
Densidad del fluido (gr/l)	1600 - 1650
RPM Bomba	1150 -1200

Fuente: Área de Planeamiento de Mantenimiento – Unidad Minera

2.2.2 Definiciones de mantenimiento

Según García Palencia (2006, p.3)

Mantenimiento son todas las actividades que deben ser desarrolladas en orden lógico, con el propósito de conservar en condiciones de funcionamiento seguro, eficiente y económico los equipos de producción, herramientas y demás propiedades físicas de las diferentes instalaciones de una empresa.

Según Moubray (2004, p.7) "Mantenimiento: Asegurar que los activos físicos continúen haciendo lo que sus usuarios quieren que hagan".

En las definiciones propuestas no existen muchas divergencias respecto al significado de la palabra "Mantenimiento" como "acto o efecto de mantener", "medidas necesarias para la conservación o permanencia de alguna cosa o de una situación", sin embargo, a partir de sus subdivisiones surgen las divergencias en el establecimiento de las fronteras entre Mantenimiento Preventivo y Mantenimiento Correctivo (Lourival Augusto, 2000, p.20).

2.2.3 Tipos de mantenimiento

La manera de cómo realizar una actividad o el conjunto de actividades para cumplir el objetivo del mantenimiento se denomina herramienta o estrategia de mantenimiento.

Sin duda lo que define el tipo de mantenimiento que se aplica en una organización dependerá de ciertas características como son: política de la empresa, capacidad de producción, rubro de la empresa, entre otros.

Según la forma de ejecutar las actividades de mantenimiento para el objetivo común se tienen los siguientes tipos de mantenimiento:

Mantenimiento correctivo

Según Knezevic (1996, p.51)

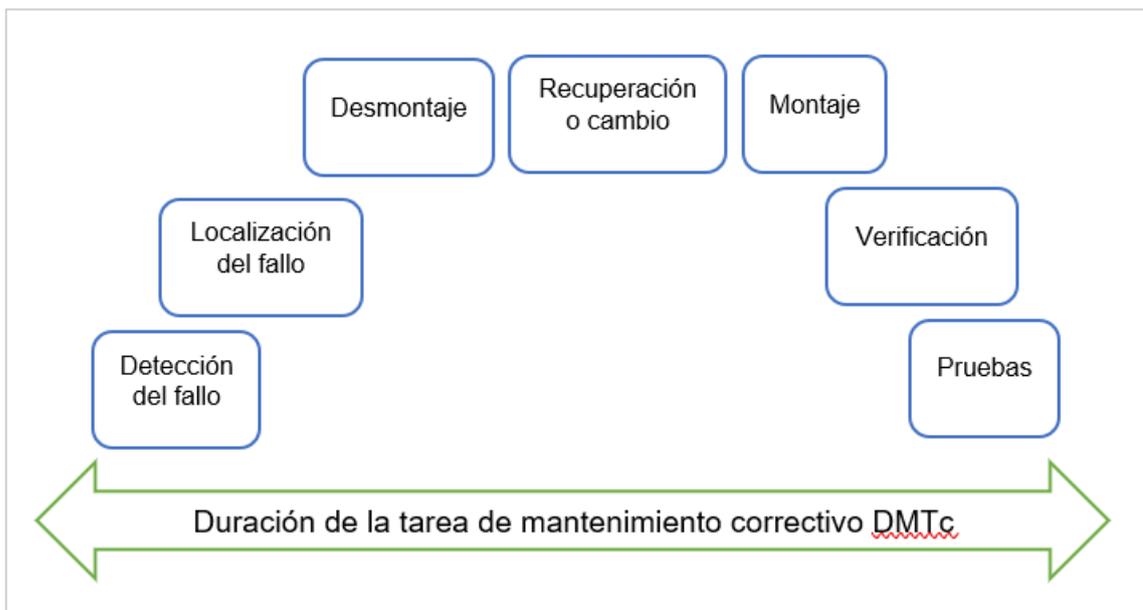
Mantenimiento correctivo son las tareas que se realizan con intención de recuperar la funcionabilidad del elemento o sistema, tras la pérdida de su capacidad para realizar la función o las prestaciones que se requieren. Una tarea de mantenimiento correctivo típica consta de las siguientes actividades:

- Detección del fallo
- Localización del fallo
- Desmontaje total o parcial
- Recuperación o cambio
- Montaje
- Pruebas
- Verificación

En la figura 2.5 Se presenta de forma gráfica el proceso de una tarea de mantenimiento correctivo, siendo DMTc el tiempo total de los eventos a realizar.

Este tipo de mantenimiento da inicio desde la detección de la falla como lo muestra la Figura 2.5, sin embargo, la consecuencia durante el tiempo empleado hasta solucionar el problema y lograr que el equipo vuelva a su operación dentro de sus parámetros normales, traerán consecuencias económicas debido al mantenimiento, a los daños producidos al equipo en caso de existir y daños a la producción en vista de que la planta para sin ser programado, es decir no se tenía previsto parar la producción.

Figura 2.5 Secuencia de intervención de mantenimiento correctivo



Mantenimiento preventivo

Según Knezevic (1996, p.53)

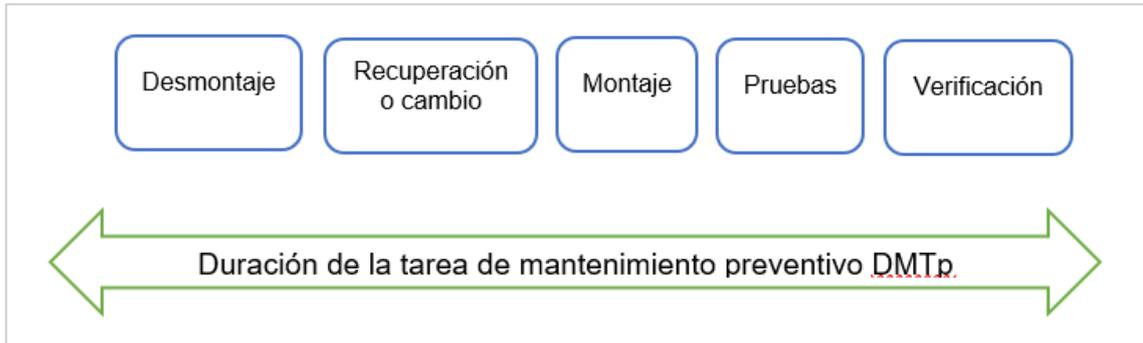
Mantenimiento preventivo (Preventive Task, PRT) consta de tareas que se realizan para reducir la probabilidad de fallo del elemento o sistema, o para maximizar el beneficio operativo. Una tarea de mantenimiento preventivo típica consta de las siguientes actividades de mantenimiento:

- Desmontaje
- Recuperación o sustitución
- Montaje
- Pruebas

- Verificación

En la figura 2.6 Se presenta de forma gráfica el proceso de una tarea de mantenimiento preventivo.

Figura 2.6 Secuencia de intervención de mantenimiento preventivo



En este tipo de mantenimiento no se espera a que la falla ocurra en lo posible, con ello se busca anticipar a una posible ocurrencia impredecible de una anomalía en el equipo. Adicionalmente como ya se tiene planificado la intervención al equipo se realiza coordinaciones para realizar inspecciones o trabajos correctivos menores en el mismo equipo o en el sistema. Con el cumplimiento de un programa de mantenimiento de tipo preventivo se logra tener una eficiencia en el mantenimiento debido a que, se ahorran costos por paradas no programadas, se realiza el mantenimiento con el personal calificado y se interviene al equipo con los repuestos y materiales planificados.

Mantenimiento condicional o predictivo

Tradicionalmente, las políticas de mantenimiento preventivo y correctivo han sido preferidas por los directores de mantenimiento. Sin embargo, durante los últimos veinte años, muchas organizaciones industriales han reconocido los inconvenientes de estos métodos. Por tanto, la necesidad de proporcionar seguridad y de reducir el coste de mantenimiento, ha llevado a un interés creciente en el desarrollo de políticas de mantenimiento alternativas. Entonces, el método que parece ser más atractivo para minimizar las limitaciones de las tareas de mantenimiento existentes es la política de mantenimiento condicional, COT (Conditional Maintenance Task). Este procedimiento de mantenimiento reconoce que la razón principal para realizar el mantenimiento es el cambio en la condición y/o en las prestaciones, y que la ejecución de las tareas de mantenimiento preventivo debe estar basada en el estado real del elemento o sistema. De esta forma, mediante la vigilancia de ciertos parámetros sería posible identificar el momento más conveniente en que

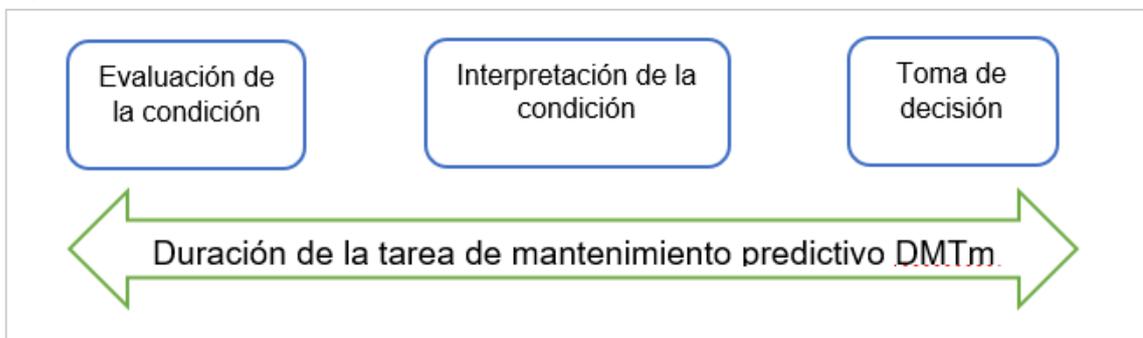
se deben realizar las tareas de mantenimiento preventivo (Knezevic, 1996, p.55).

Una tarea de mantenimiento condicional consta de las siguientes actividades de mantenimiento:

- Evaluación de la condición.
- Interpretación de la condición.
- Toma de decisiones

En la figura 2.7. Se realiza de forma gráfica el proceso de una tarea de mantenimiento condicional, siendo DMTm el tiempo total de los eventos a realizar.

Figura 2.7 Secuencia de intervención de mantenimiento condicional



Todo el proceso de mantenimiento predictivo no altera el funcionamiento del equipo o de la planta, es entonces, la ventaja hacia los demás tipos de mantenimientos mencionados. Para aplicar la inspección y la evaluación de parámetros, estas se tienen que realizar de forma continua para identificar en el tiempo y asociarlos a la ocurrencia de los fallos y estimar el tiempo en que se van a presentar aquellos eventos fuera de los estándares permitidos.

Mantenimiento productivo total

El Mantenimiento Productivo Total (TPM) se puede definir como un programa para mejorar la efectividad global de los equipos, con la participación activa de los operadores.

El concepto total considera la efectividad económica total con la participación de todo el personal.

El TPM se implementó originalmente en Japón (1971), después de la Segunda Guerra Mundial, el cual envuelve el concepto de mirar la

empresa como un todo, lo que llega a disgregar todas las actividades, por ejemplo, el personal de producción es incluido en las tareas de mantenimiento (Pascual J., 2005, p.627).

Según Pascual J. (2005, p.628)

Los objetivos del TPM son:

- Reducir el delay para poner el equipo en operación.
- Mejorar la disponibilidad, incrementando la fracción de tiempo productivo.
- Incrementar la vida de los equipos.
- Incluir a los usuarios de los equipos en su mantención, con el apoyo de los especialistas adecuados.
- Hacer uso balanceado e intensivo de la mantención predictiva y preventiva.
- Mejorar la mantenibilidad de los equipos.

A nivel operativo el TPM logra que:

- Cada operador sea responsable por su(s) máquina(s), y realice tareas de mantención básicas tales como limpiar, lubricar, inspeccionar visualmente, reportar si observa anomalías.
- Formar pequeños grupos de trabajo para discutir problemas de mantención, sugerir mejoras y lograr una visión común del conjunto mantención-empresa.

Mantenimiento centrado en confiabilidad

El mantenimiento centrado en confiabilidad, RCM, o RBM por su denominación anglo (Reliability Centered Maintenance) se originó en las industrias aeronáuticas y nucleares a fines de los años 60. El RCM es una estrategia holística para establecer un programa de mantenimiento. Una definición general puede ser: “estrategia de mantención global de un sistema utilizando métodos de análisis estructurados que permitan asegurar la fiabilidad inherente a un sistema” (Pascual J., 2005, p. 607).

Según Moubray (2004, p.7)

Mantenimiento basado en confiabilidad, RCM, es un proceso utilizado para determinar qué se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual.

El RCM es una estrategia que permite optimizar las acciones de mantenimiento programadas, los criterios a tomar en cuenta son: la seguridad, la disponibilidad, el costo de mantenimiento y la calidad de la producción.

Los objetivos generales de la implementación del RCM, son los siguientes:

- Elaborar un programa de mantenimiento preventivo optimizando que garantice la seguridad de funcionamiento, teniendo en cuenta las restricciones económicas.
- Medio de mejoramiento de la organización.
- Conservación de datos históricos de mantenimiento y producción.

2.2.4 Metodología del RCM

El método para implementar el mantenimiento centrado en confiabilidad formula siete preguntas del activo y su medio operacional al cual se va a someter al análisis (Moubray, 2004, p.7).

- ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?
- ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?
- ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?
- ¿Qué sucede cuando ocurre la falla?
- ¿En qué sentido es importante cada falla?
- ¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada falla?
- ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?

Funciones

Según Moubray (2004, p.8)

Lo primero que debe de hacerse para realizar el análisis del RCM, se debe de conocer lo siguiente:

- Determinar qué es lo que sus usuarios quieren que haga el equipo.
- Asegurar que es capaz de realizar aquello que sus usuarios quieren que haga.

Con la información que se tenga se podrá determinar cuáles son las cosas que los usuarios quieren que el equipo haga o para que funciones el activo

ha sido adquirido y también a esto se suma a que se debe de conocer el contexto operacional de trabajo.

Aquello que los usuarios esperan que un equipo haga se puede dividir en dos categorías:

Funciones primarias

En primera instancia resume el porqué de la adquisición del activo. Estas categorías de funciones cubren temas como, velocidad, producción, capacidad de almacenaje o carga, calidad de producto y servicio al cliente.

Generalmente las funciones primarias de los equipos no son complejos de encontrarlos ya que se encuentran establecidos en sus nombres.

Funciones secundarias

Reconoce lo que se espera que cada activo haga, más que simplemente cumplir sus funciones primarias. Los usuarios también tienen expectativas relacionadas con las áreas de seguridad, control, contención, confort, integridad estructural, economía, protección, eficiencia operacional, cumplimiento de regulaciones ambientales y hasta la apariencia del activo.

Fallas funcionales

Según Moubray (2004, p.8)

Los objetivos del mantenimiento son definidos por las funciones y expectativas de funcionamiento asociadas al activo en cuestión. Pero, ¿Cómo puede el mantenimiento alcanzar estos objetivos?

El único hecho que puede hacer que un activo no pueda desempeñarse conforme a los parámetros requeridos por sus usuarios es alguna clase de falla.

Esto sugiere que el mantenimiento cumple sus objetivos al adoptar una política apropiada para el manejo de una falla. Sin embargo, antes de poder aplicar una combinación adecuada de herramientas para el manejo de una falla, necesitamos identificar que fallas pueden ocurrir.

Modo de falla

Según Moubray (2004, p.9)

Cuando se ha realizado la identificación todas las fallas funcionales el siguiente paso es hacer una lista de posibles hechos que originaron tal modo de falla. A esto se conoce como modos de falla. Para realizar la lista de los posibles modos de falla se puede incluir aquellos que han sucedido en equipos similares e iguales.

La mayoría de las listas tradicionales de modos de falla incorporan fallas causadas por el deterioro o desgaste por uso normal. Sin embargo, para que todas las causas probables de fallas en los equipos puedan ser identificadas y resueltas adecuadamente, esta lista debería incluir fallas causadas por errores humanos tanto como operadores y por el personal de mantenimiento.

Efectos de las fallas

Según Moubray (2004, p.10)

Cuando se identifica cada modo de falla, los efectos de las fallas también deben registrarse, un efecto en otras palabras es lo que pasaría si ocurriera el modo de falla analizado. Este paso permite visualizar la importancia de cada falla y, por lo tanto, decidir qué nivel de intervención (si lo hubiera) sería necesario.

El proceso de contestar sólo a las cuatro primeras preguntas, del mantenimiento centrado en confiabilidad, genera oportunidades sorprendentes y, a menudo, muy importantes para mejorar el funcionamiento y la seguridad, y para eliminar errores. También mejora enormemente los niveles de comprensión acerca del funcionamiento de los equipos.

Consecuencias de la falla

Según Moubray (2004, p.10)

Una vez se hayan determinado funciones, fallas funcionales, modos de falla y los efectos que ocasiona la falla en el activo al cual se realiza el estudio, el próximo paso en el proceso del RCM es preguntar cómo y cuánto importa cada falla. La razón de esto es, porque las consecuencias de cada falla definen si es necesario intervenirlos de manera proactiva. Si la respuesta es positiva, también sugiere con qué nivel de esfuerzo deben analizarse las fallas.

Por lo anterior, en este punto del proceso del RCM, es necesario preguntar si cada falla tiene consecuencias significativas. Si no es así, la

decisión puede llevar a una acción que no sea sistemática. Si por el contrario fuera así, el paso siguiente sería preguntar qué tareas sistemáticas (si las hubiera) se deben realizar. Sin embargo, el proceso de selección de la tarea no solo incluye las consecuencias, debe considerar el modo de falla y su efecto sobre la selección de los diferentes tipos de tareas proactivas.

El RCM hace uso de categorías para clasificar las consecuencias de falla según lo siguiente:

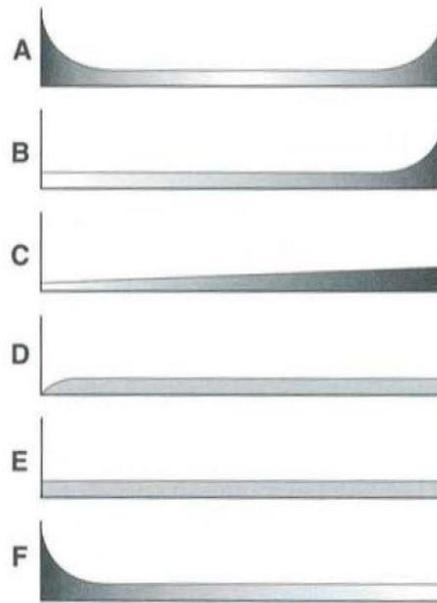
- **Consecuencias de fallas ocultas:** Las fallas ocultas no tienen un impacto directo, pero exponen a la organización a fallas múltiples con consecuencias serias hasta catastróficas.
- **Consecuencias ambientales y para la seguridad:** Una falla tiene consecuencias para la seguridad si es posible que cause daño o la muerte a alguna persona. Tiene consecuencias ambientales si infringe alguna normativa o reglamento ambiental tanto a nivel corporativo como regional, nacional o internacional.
- **Consecuencias operacionales:** Una falla tiene consecuencias operacionales si afecta la producción (cantidad, calidad del producto, atención al cliente, o costos operacionales además del costo por la reparación).
- **Consecuencias No-operacionales:** Las fallas que caen en esta categoría son las que no tienen consecuencias operacionales, ambientales o de seguridad. Estas fallas originan consecuencias con el costo directo a las reparaciones.

Tareas proactivas

Durante los inicios del mantenimiento se ha desarrollado estrategias y teorías para la mejora en la mantención de los equipos, sin embargo, hasta la fecha se piensa que la forma de aumentar la disponibilidad es realizando un programa de mantenimiento proactivo y cambio de componentes a intervalos establecidos. Sin embargo, con las nuevas teorías, el pensamiento hacia el comportamiento de los equipos y componentes no son iguales, es decir, responden y se diferencian según el contexto operacional, la capacidad, la edad del equipo, etc.

Existen algunas teorías acerca del comportamiento de la probabilidad de falla con el tiempo de uso del equipo y/o repuesto, como se muestra en la Figura 2.8.

Figura 2.8 Patrones de falla de repuestos y/o equipos



Fuente: (Moubray, 2004, p.12)

En la Figura 2.8. Se muestran las probabilidades de falla con relación al tiempo de operación. El patrón A, conocido como curva de la bañera, modela a componentes que inician con gran probabilidad de fallas. El patrón B muestra una probabilidad de falla constante hasta llegar a la zona de desgaste. El patrón C, muestra en todo momento un incremento lento de la probabilidad de falla, sin embargo, no se presenta una zona definida por desgaste. El patrón D, establece una probabilidad de falla baja cuando el equipo esta nuevo, para luego presentar una probabilidad de falla constante. El patrón D muestra una probabilidad de falla constante y la falla puede estar presente en cualquier momento. Por último, el patrón F, muestra una alta probabilidad de falla en el comienzo para luego descender y ascender de manera constante (Moubray, 2004, p.13).

El RCM categoriza las tareas proactivas en tres grupos (Moubray, 2004, p.13):

- Tareas de reacondicionamiento cíclicas
- Tareas de sustituciones cíclicas
- Tareas a condición

Las tareas proactivas de reacondicionamiento cíclicas y sustituciones cíclicas son conocidos como mantenimiento preventivo, ya que consiste en fabricar o reparar un repuesto o componente para volver a emplearlo

todo ello sin importar en que condición se encontraba. Por otro lado, el de sustituciones cíclicas, consistía en cambiar un componente sin verificar el estado o la condición de componente a ser reemplazado.

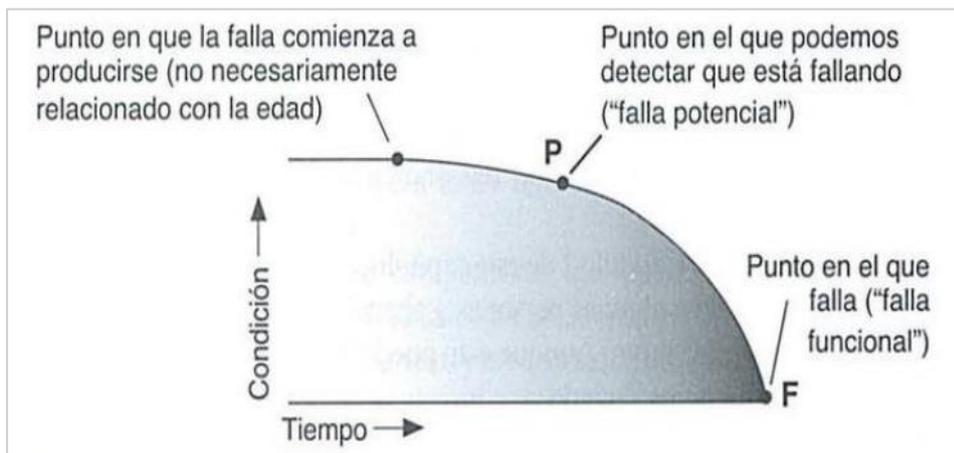
Las fallas antes de llegar a ocurrir presentan anomalías en el desempeño de la máquina y esas anomalías en ciertos casos pueden ser detectables. A medida que el conocimiento crece y las nuevas teorías por buscar la eficiencia del manejo y control de las fallas, han originado que dichas anomalías pueden ser detectados y por ende controlado llevando un seguimiento a los parámetros que indican cuando una máquina está funcionando dentro de sus parámetros físicos aceptables. En consecuencia, sí existe una nueva tarea proactiva denominada **tareas a condición**, que permite evaluar sus parámetros de funcionamiento para evitar que una falla pueda concretarse.

Fallas potenciales y Mantenimiento a condición

Durante el funcionamiento de las máquinas en su contexto operacional muchas fallas no están relacionadas a la edad del equipo o a la edad del material. Sin embargo, durante su funcionamiento una máquina brinda algún tipo de alerta el cual puede ser percibida por los sentidos o en el mayor de los casos esa alerta puede ser detectada y medida mediante un dispositivo.

Las alertas si son detectadas a tiempo pueden prevenir la falla o sus consecuencias (Moubray, 2004, p.148).

Figura 2.9 Curva P-F



Fuente: (Moubray, 2004, p.148)

En la Figura 2.9, se muestra la etapa final de una falla. El punto "F" es cuando la falla ocurre, llamada falla funcional, los puntos antes del punto "F" son

llamados instantes en que la falla es potencial “P”, es decir, es muy probable que suceda la falla.

Las tareas a condición consisten en chequear si hay fallas potenciales, para que se pueda actuar para prevenir la falla funcional o evitar las consecuencias de la falla funcional.

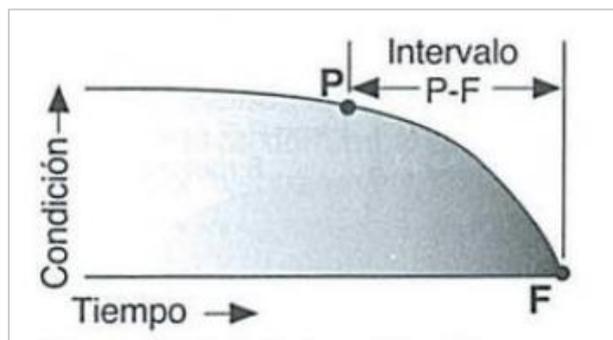
Las tareas a condición se llaman así porque los elementos que se inspeccionan se dejan en servicio a condición de que continúen cumpliendo con los parámetros de funcionamiento especificados. Esto también se conoce como mantenimiento predictivo (porque estamos tratando de predecir si -y posiblemente cuándo- el elemento va a fallar basándonos en su comportamiento actual) o mantenimiento basado en la condición (porque la necesidad de acciones correctivas o para evitar las consecuencias se basa en una evaluación de la condición del elemento) (Moubray, 2004, p.149).

Intervalo P-F

Se necesita determinar o conocer el intervalo desde que existe una falla potencial hasta llegar a ser una falla funcional. A ese tiempo que separa una falla potencial de una falla funcional se conoce como intervalo P-F.

El objetivo es aplicar una tarea basada en la condición cuya frecuencia sea menor al intervalo P-F. En caso aplicamos una tarea a condición de mayor tiempo al intervalo P-F posiblemente en su aplicación no llegaremos a identificar la falla potencial y en consecuencia la falla potencial será una falla funcional. También, si aplicamos una tarea a condición muy corta a la del intervalo P-F, seguramente malgastaríamos recursos (mano de obra, tiempo, etc). Por lo tanto, según el RCM se sugiere que es muy importante aplicar la tarea a condición a la mitad de intervalo P-F (Moubray, 2004, p.149).

Figura 2.10 Intervalo P-F



Fuente: (Moubray, 2004, p.149)

Acciones a falta de

El RCM reconoce tres grandes categorías de acciones a falta de (Moubray, 2004, p.14):

- **Búsqueda de fallas:** las tareas de búsqueda de falla implican revisar periódicamente funciones ocultas para determinar si han fallado.
- **Rediseño:** Rediseñar implica hacer cambios de una sola vez a las capacidades iniciales de un sistema. Esto incluye modificaciones al equipo y también cubre los cambios de una sola vez a los procedimientos.
- **Ningún mantenimiento programado:** como su nombre los indica, aquí no se hace esfuerzo alguno en tratar de anticipar o prevenir los modos de falla y se deja que la falla simplemente ocurra, para luego repararla. Esta tarea a falta de también es llamada mantenimiento “a rotura”.

Estándares de funcionamiento

Según Moubray (2004, p.23)

El objetivo del mantenimiento es asegurarse que los activos físicos continúen haciendo lo que los usuarios quieren que haga. La magnitud de aquello que sus usuarios quieren que el activo haga puede definirse a través de un estándar mínimo de funcionamiento.

Si pudiéramos construir un activo físico capaz de rendir según este funcionamiento mínimo sin deteriorarse en ningún modo, ese sería el fin de la cuestión. La máquina funcionaría continuamente sin necesidad de mantenimiento.

Sin embargo, las leyes de la física nos dicen que cualquier sistema organizado expuesto al mundo real se deteriorará. Entonces si el deterioro es inevitable, debe ser tolerable. Esto significa que cuando cualquier activo físico es puesto en funcionamiento debe ser capaz de rendir más que el estándar mínimo de funcionamiento deseado por el usuario. Lo que el activo físico es capaz de rendir es conocido como capacidad inicial.

Contexto operacional

El plan de mantenimiento basado en confiabilidad, es una metodología que busca determinar los requerimientos de mantenimiento de cualquier activo físico en su contexto operacional, el contexto operacional del activo

muchas veces impacta en las funciones secundarias. Para ello es necesario tener muy claro el contexto operacional para aplicar el RCM (Moubray, 2004, p.29).

Hoja de información de RCM

La hoja de información es un documento donde se registra todo el análisis desde funciones, falla funcional, modo de falla y efecto de la falla. Dicha hoja será empleada para cada sistema o subsistema del equipo. En la figura 2.11 se muestra un modelo de formato de la hoja de información de RCM.

Figura 2.11 Hoja de información de RCM

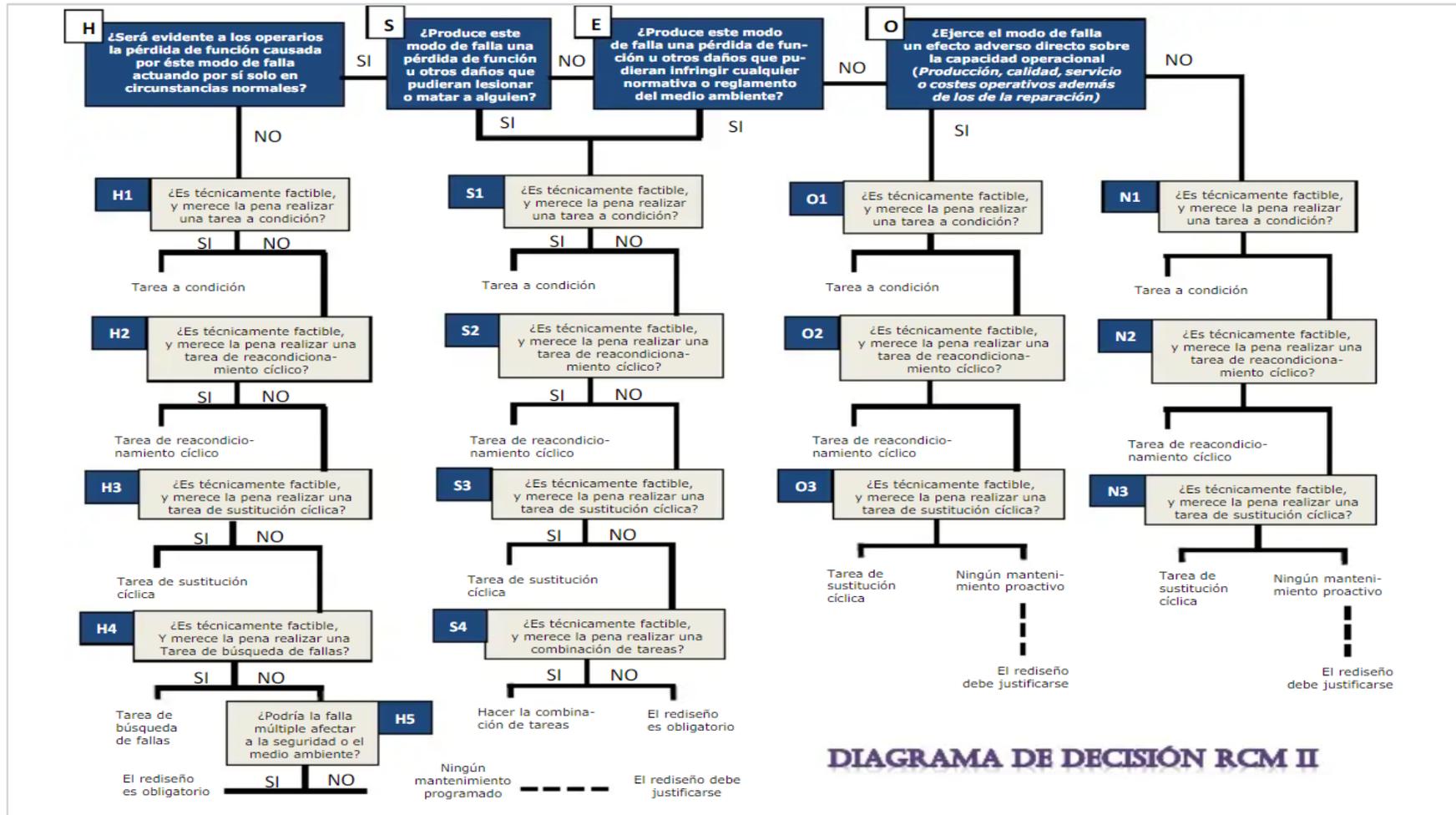
RCM II HOJA DE INFORMACIÓN © 1998 ALADON LTD		ACTIVO	Bomba Centrífuga Horizontal 450 MCR	Sistema N°	1	Facilitador:	Christian Santillan Armas
		SISTEMAS	Sistema Mecánico	Subsistema N°	1	Hoja:	3 - 3
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL (Perdida de Función)	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA (Que sucede cuando se produce la falla)				
		2 Flujo de la bomba por debajo de 3500 m³/h.	Alarma se enciende por bajo flujo y motor se detiene.				
		3 Impulsor desbalanceado.	El motor se detiene y activa una alarma en control, posible rotura de alabes y carcasa de la bomba y daños en la botella.				
		4 Desalineamiento de ejes.	Alta vibración en sentido radial y axial en puntos cercanos al motor, reductor y bomba, acompañado de ruido anormal por engranes del reductor.				
		5 Desgaste de partes húmedas de la bomba.	Se activa la alarma por bajo flujo en la línea, posible falla en la carcasa de la bomba.				
		6 Fuga por tuberías de succión y descarga.	Se activa la alarma por bajo flujo en la línea, motor se detiene y se procede a realizar el mantenimiento de la tubería.				
		7 Fuga por la carcasa de la bomba.	Se activa la alarma por bajo flujo en la línea, motor se detiene y se procede a realizar el mantenimiento de la tubería.				
	E Se producen daños a la estructura, medio ambiente y personas.	1 Acople suelto.	El acople puede ser un proyectil contra las personas que realizan mantenimiento u operación.				
		2 Operación limitada por operadores.	El equipo opera de forma anormal, siendo un riesgo para las personas cercas al punto.				
		3 Fuga de aceite por retenes del reductor.	Se produce la contaminación del medio ambiente por el derrame del mismo.				

Fuente: (Santillan Armas, 2017, p.69)

Diagrama de decisión de RCM

Es un diagrama de flujo que resume los criterios más importantes e integra todos los procesos de decisión en una estructura estratégica única, mediante el cual se aplica la lógica decisional a cada uno de los modos de falla listados en la hoja de información RCM con el fin de detectar en que instancias y con qué medidas se puede evitar o minimizar las consecuencias (Molina Ochoa, 2017, p67).

Figura 2.12 Diagrama de decisión de RCM



Fuente: (Moubray, 2004, p.204)

Hoja de decisión RCM

Este documento se considera el segundo más importante en la aplicación del RCM, siendo el primero la hoja de información, a continuación, se describen los aspectos más importantes a tener en cuenta para realizar su correcto diligenciamiento, la hoja de decisión permite asentar las respuestas a las preguntas formuladas en el diagrama de decisión, en esta se registra información tal como:

- Que tarea a condición puede realizarse, con qué frecuencia será realizada (análisis de intervalo P–F) quien es el responsable de la ejecución de dicha tarea.
- Si aplica algún mantenimiento de rutina, con qué frecuencia será programado y quien lo realiza.
- Si merece la pena realizar una tarea cíclica de búsqueda de fallas para verificar una función oculta, con que intervalos se realizara la inspección y quién es el personal idóneo para verificar si ésta ha fallado o permanece activa.
- Demostrar que las fallas son suficientemente serias como para justificar un rediseño.
- Tomar la decisión de dejar ciertos elementos en función, hasta que fallen.

La hoja de decisión tiene 16 columnas, de las cuales las tres primeras, F (función), FF (falla funcional) y FM (modo de falla) se utilizan para describir la especificación técnica que debe satisfacer el equipo, definir la pérdida de la función y plantear la causa de la falla (Moubray, 2004, p.206).

Figura 2.13 Hoja de decisión de RCM

HOJA DE DECISION RCM II @1990 ALADON LTD			SISTEMA									Sistema N°	Facilitador	Fecha	Hoja N°
			SUBSISTEMA									Subsistema N°	Auditor	Fecha	De
Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Acción de falta de			TAREA PROPUESTA	Intervalo inicial	A realiza rse por
F	FF	FM	H	S	E	O	H4	H5	S4						

2.2.5 Conceptos asociados a la confiabilidad

El diseño de un programa eficiente de mantenimiento (en términos de su costo global) implica la comprensión de los fenómenos de falla de los equipos. Dado que las fallas de los equipos son eventos aleatorios, estudiaremos conceptos y modelos estadísticos que nos permitan controlar y mejorar la confiabilidad y con ello los costos (Pascual J., 2005, p.109).

Confiabilidad

Según (Pascual J., 2005, p.109)

La confiabilidad de un componente en el instante “t”, $R(t)$, es la probabilidad de que un ítem no falle en el intervalo (0, t), dado que era nuevo o como nuevo en el instante $t=0$. Un componente puede tener diferentes confiabilidades, asociados a diferentes funciones.

Considere N componentes supuestamente idénticos, todos nuevos o como nuevos en $t=0$. Sea $N - n$ el número de componentes que fallan en un intervalo (0, t). $R(t)$ puede ser estimada a partir de:

$$R(t) = \frac{n(t)}{N} \quad (2 - 1)$$

Densidad de probabilidad de falla

“La función densidad de probabilidad de fallas $f(t)$, se define como la probabilidad instantánea de que un ítem que no ha fallado en el intervalo (0, t) falle en el intervalo (t, t + dt)” (Pascual J., 2005, p.109).

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} \quad (2 - 2)$$

Probabilidad acumulada de fallas

“La probabilidad acumulada de falla $F(t)$ se define como la probabilidad de que un ítem falle en el intervalo (0, t)” (Pascual J., 2005, p.109).

Entonces:

$$R(t) + F(t) = 1$$

Y puede ser estimada como:

$$F(t) = \frac{N - n(t)}{N} \quad (2 - 3)$$

Tiempo medio hasta hallar o TTF

“Tiempo hasta fallar (se usa en equipos que solo fallan una vez, no reparables)” (Mora Gutiérrez, 2012, p.63).

Tiempo de reparación o TTR

“Tiempo que demora una reparación neta, sin incluir demoras ni tiempos logísticos, ni tiempos invertidos en suministros de repuestos o recursos humanos” (Mora Gutiérrez, 2012, p.63).

Tiempo entre las fallas o TBF

Tiempo entre fallas, es el tiempo entre el inicio de operación del equipo y el momento en que este falle, después de ser restaurado, considerando sólo los tiempos en actividad (Mora Gutiérrez, 2012, p.63).

Tiempo medio entre reparaciones (MTTR)

“Mean Time To Repair, MTTR, es el tiempo promedio entre todos los tiempos que duran las intervenciones después una falla” (Mora Gutiérrez, 2012, p.63).

$$MTTR = \frac{\sum TTR}{n} \quad (2 - 4)$$

Donde:

n : Numero de fallas ocurridas en el tiempo que se evalúa

Tiempo medio entre fallas (MTBF)

“Mean Time Between Failures. MTBF, es el tiempo promedio desde el inicio de una falla hasta su restauración” (Mora Gutiérrez, 2012, p.63).

$$MTBF = \frac{\sum TBF}{m} \quad (2 - 5)$$

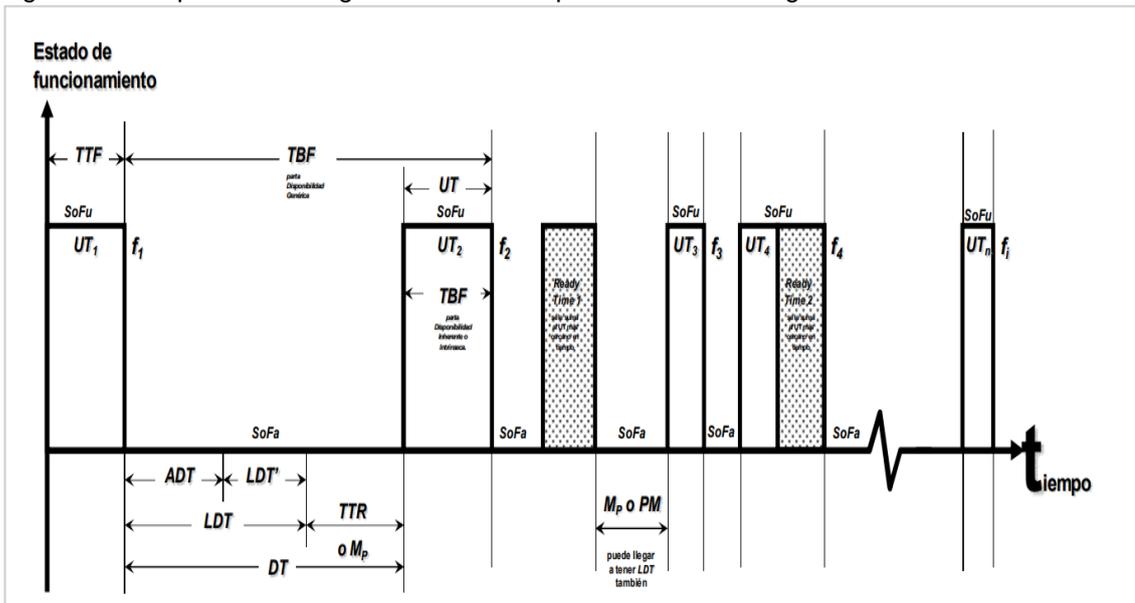
Donde:

m :

Numero de eventos de tiempos útiles ocurridos en el tiempo que se evalúa

Todos estos conceptos, se aprecian de mejor manera en la Figura 2.14

Figura 2.14 Representación gráfica de los tiempos asociados a la gestión de mantenimiento



Fuente: (Mora Gutiérrez, 2012, p.63)

Tasa de fallas $\lambda(t)$

“La tasa de fallas o fallos expresa la cantidad de averías o reparaciones por unidad de tiempo que ocurren en el tiempo en que se estudia un elemento” (Mora Gutiérrez, 2012, p.113)

$$\lambda(t) = \frac{1}{MTBF} \quad (2 - 6)$$

Disponibilidad

Es la probabilidad de que el equipo funcione satisfactoriamente en el momento en que sea requerido después del comienzo de su operación, cuando se usa bajo condiciones estables, donde el tiempo total considerado incluye al tiempo de operación, tiempo activo de reparación, tiempo inactivo, tiempo de mantenimiento preventivo (en algunos casos),

tiempo administrativo, tiempo de funcionamiento sin producir y tiempo logístico se define como disponibilidad (Mora Gutiérrez, 2012, p.60).

La disponibilidad puede calcularse de la siguiente manera:

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100\% \quad (2 - 7)$$

Donde:

MTBF: Tiempo medio entre fallas

MTTR: Tiempo medio para reparar

Mantenibilidad

Según Pascual J. (2005, p.112)

Las normas francesas X60-300 y X60-301 especifican 5 criterios de mantenibilidad.

- El primer criterio se refiere al mantenimiento preventivo: para tales fines es conveniente conocer la accesibilidad de los componentes, su desmontabilidad y su intercambiabilidad.
- El segundo criterio se centra en el mantenimiento correctivo: implica el tiempo para buscar la falla y el tiempo requerido para diagnosticar.
- El tercer criterio se enfoca hacia la organización del mantenimiento a través de la periodicidad de las intervenciones preventivas, el agrupamiento de tareas similares (rutas e intervenciones oportunistas), la homogeneidad de la confiabilidad de los componentes, la presencia de indicadores y contadores y a la complejidad de las intervenciones.
- El cuarto criterio se centra en la calidad de la documentación técnica: su profundidad, su disponibilidad, el modo de transmisión, y los principios generales de redacción y presentación de la documentación técnica.
- El quinto y último criterio tiene relación con el seguimiento del fabricante: evolución del fabricante, calidad del servicio post-venta y obtención de piezas de recambio.

2.2.6 Estrategias de gestión de mantenimiento

De las diferentes estrategias de gestión de mantenimiento centrado en confiabilidad, en el presente trabajo de investigación se tomarán en cuenta, según los objetivos a obtener, las siguientes:

Modelo de dispersión o diagrama Jack Knife

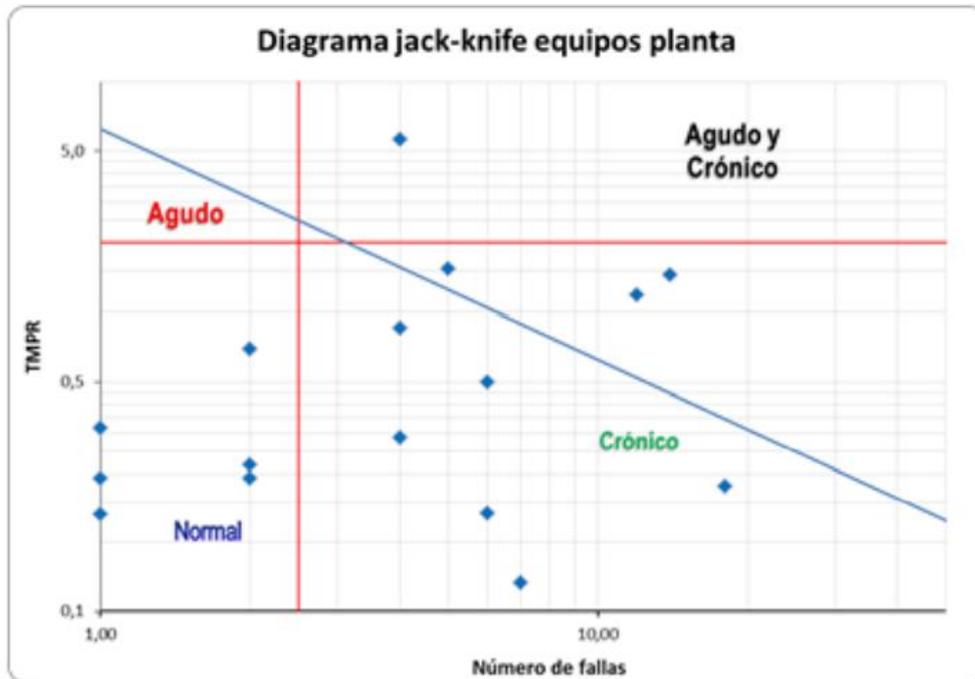
Según (Miranda Vigo, 2021)

Esta estrategia de mantenimiento nos permite analizar el tiempo de inactividad o indisponibilidad de equipos o sistemas usando diagramas de dispersión. Mediante esta estrategia se podrá agrupar e identificar fallas que presenta un activo según cuatro criterios, como son:

- **Fallas normales:** Son aquellas fallas que son de poca frecuencia y son leves para su reparación
- **Fallas agudas:** Las Fallas agudas apuntan a problemas en las fallas de inspección, mantenimiento preventivo, diseño, o disponibilidad de recursos (repuestos, mano de obra, herramientas).
- **Fallas crónicas:** Apuntan a problemas de operación de equipos o de la calidad de materiales usados, es decir, se presentan continuamente.
- **Fallas agudas y crónicas:** Son fallas que mayor indisponibilidad causan en el equipo, es decir, son altos los tiempos de reparación y la frecuencia con que ocurre la falla.

En la Figura 2.15, se muestra el modelo del diagrama Jack Knife o diagrama de dispersión

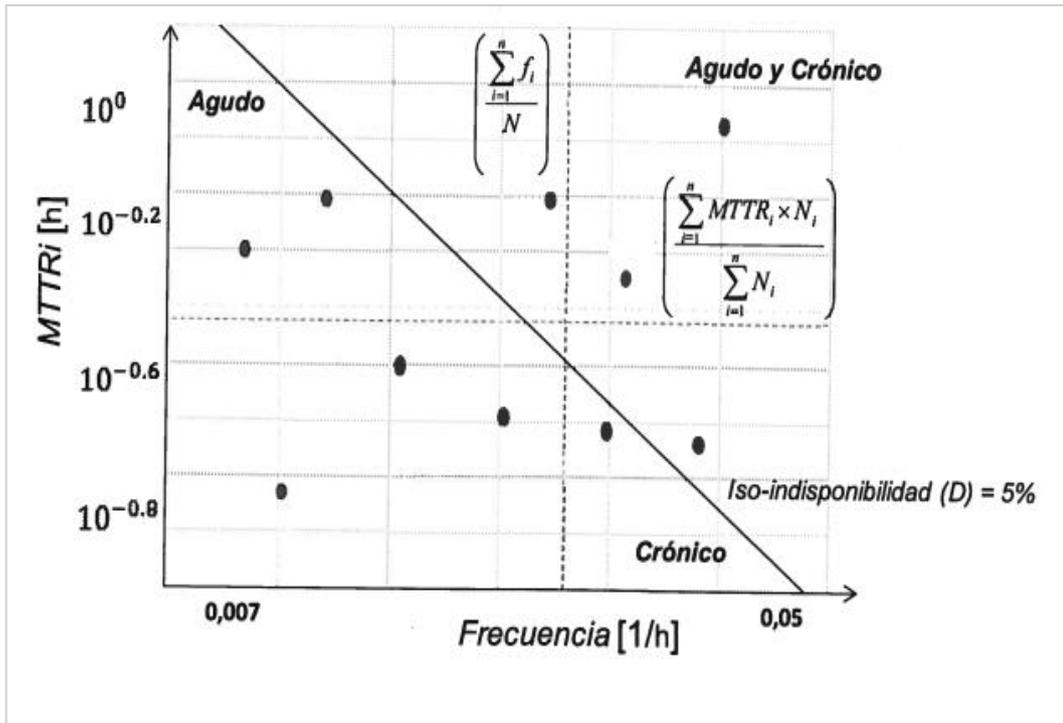
Figura 2.15 Diagrama de dispersión de fallas



Fuente: (Miranda Vigo, 2021, p.50)

El procedimiento para desarrollar el análisis de criticidad de modos de fallas de un sistema, equipo, componente, etc. Según el diagrama de dispersión de Jack Knife, es un análisis de dos o más dimensiones. Dichas dimensiones corresponden a conceptos asociados al mantenimiento. Un caso puede ser el estudio según las dimensiones de tasa de fallas y tiempo medio entre reparaciones (Arata Andreani y Arata Bozzolo, 2013, p.178).

Figura 2.16 Modelo de la gráfica de dispersión Jack-Knife



Fuente: (Arata Andreani y Arata Bozzolo, 2013, p.178)

El primer paso es determinar los modos de falla que son las causas de que un equipo falle. La cantidad o número de veces de ocurrencia de cada modo de falla, así mismo, los tiempos que tardaron en solucionarse.

Para cada modo de falla se deben de determinar las siguientes dimensiones: MTTR, Tasa de falla e Indisponibilidad.

- Tiempo medio entre reparación (MTTR)

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de las fallas}}{\# \text{ de Fallas}} \quad (2 - 8)$$

- Tasa de falla (λ)

$$\lambda = \frac{1}{\frac{\text{Horas Productivas o Operativas}}{\# \text{ de Fallas}}} \quad (2 - 9)$$

- Indisponibilidad de un modo de falla (ID)

$$ID = MTTR * \lambda \quad (2 - 10)$$

Determinado y desarrollado en una hoja de cálculo se procede a realizar la gráfica de dispersión de Jack Knife, con ello se obtendrá una gráfica similar a la Figura 2.16.

Modelo de confiabilidad de Weibull

Es una herramienta que permite al usuario determinar la etapa en el ciclo de vida en que se encuentra un equipo (rodaje, vida útil o desgaste), de manera de determinar las políticas de mantenimiento óptimas para cada caso particular, a partir del comportamiento de falla de los equipos mediante ajuste de distribución de probabilidad (Exponencial o Weibull). Paralelamente, de este análisis es posible conocer las curvas de confiabilidad, tanto de los equipos como de las configuraciones en estudio, lo que representa la probabilidad de buen funcionamiento en el tiempo del elemento en cuestión. El proceso es altamente efectivo para ajustar la frecuencia de intervención, contenida en los planes maestros de mantenimiento (Arata Andreani y Arata Bozzolo, 2013, p.231).

La distribución de Weibull es usada en estudios de confiabilidad, especialmente en sistemas mecánicos. Tiene la ventaja de ser muy flexible y adaptable a una variedad de observaciones experimentales.

La ecuación matemática para determinar la confiabilidad en el tiempo depende de los siguientes parámetros (Pascual J., 2005, p.124):

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}; \quad t > \gamma \quad (2 - 11)$$

Donde:

β es el parametro de forma

η es el parametro de escala

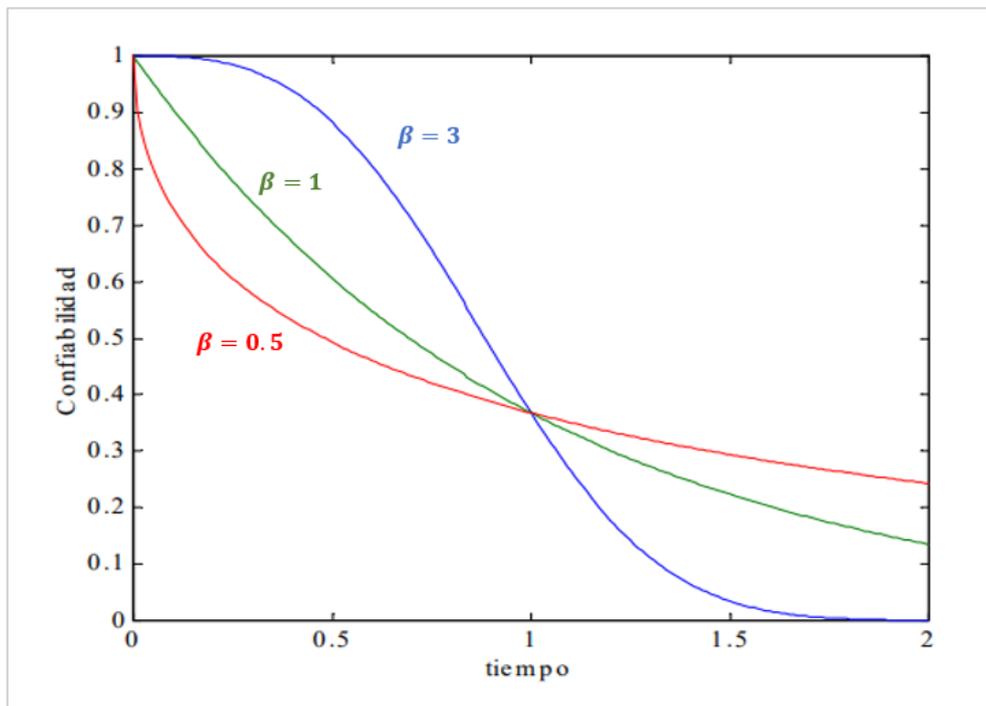
γ es el parametro de localizacion

Parámetros de Weibull, Según Mora Gutiérrez (2012):

- Gamma – Parámetro de posición o de localización (γ): Es el más difícil de estimar y por este motivo se asume con demasiada frecuencia que vale cero. Indica el lapso en el cual la probabilidad de falla es nula.
- Eta - Parámetro de escala o característica de vida útil (η): Su valor es determinante para fijar la vida útil del producto o del sistema. Entre más alto las maquinas pueden ser más robustas o de trabajos de mayor duración.
- Beta – Parámetro de forma (β): Refleja la dispersión de los datos y determina la forma que toma la distribución.

El parámetro beta (β) permite a la distribución de Weibull tomar diversas formas: cuando β es inferior a 1 se le denomina a esta fase como de mortalidad infantil (tasa de fallas decreciente), cuando toma valores cercanos a uno se le describe a la fase con el nombre de vida útil (tasa de fallas constante y aleatoria) y en el evento en el que β toma valores mayores a 1, se le conoce a la fase como de envejecimiento o desgaste (tasa de fallas creciente) (Mora Gutiérrez, 2012).

Figura 2.17 Modelos de distribuciones de confiabilidad de Weibull para distintos parámetros de forma β .



Fuente: (Pascual J., 2005, p.129)

Ventajas del uso del Modelo de Distribución de Weibull.

- Flexibilidad por el ajuste de sus tres parámetros.
- En comparación a otros modelos que son para casos especiales.

2.3 Marco conceptual

En esta sección se definen los conceptos relacionados al trabajo de investigación que lleva por título: “Programa de mantenimiento centrado en confiabilidad para aumentar la disponibilidad de la bomba centrífuga horizontal WARMAN 6"X4" AH en la planta de espesamiento de relaves de una unidad minera ubicada en la provincia de Oyón – Lima”.

Bomba hidráulica

Una bomba hidráulica es una turbo máquina que absorbe energía mecánica que puede provenir de un motor eléctrico, térmico, etc., y la transforma en energía que transfiere a un fluido, en forma de presión o de velocidad y que permite trasladar el fluido de un lugar a otro, puede ser a un mismo nivel o a diferentes niveles, las bombas hidráulicas se clasifican en bombas centrífugas y volumétricas.

Una bomba hidráulica es una máquina que sirve como medio para el transporte de un fluido al convertir energía mecánica en energía fluida o hidráulica, es decir las bombas agregan energía al fluido (Cruz Castilla, 2018, p.19).

Bomba centrífuga horizontal

La bomba centrífuga o rotodinámica, transforma la energía mecánica en hidráulica. Su principal objetivo es mover gran volumen de líquido por dos niveles diferentes, en otras palabras, transforman lo mecánico en hidráulico.

El funcionamiento de una bomba centrífuga consiste, en que el líquido ingresa axialmente por la tubería de aspiración hasta el centro del rodete que trabaja por medio de un motor, logrando así un brusco cambio de dirección, pasando a radial o axial, provocando aceleración y trabajo (Domínguez Valencia, 2020, p.1).

Mantenimiento

Según la Real Academia Española (RAE) podemos definir mantenimiento como el “Conjunto de operaciones y cuidados necesarios para que instalaciones, edificios, industrias, etc., puedan seguir funcionando adecuadamente”.

Diagrama de dispersión

Esta estrategia de mantenimiento nos permite analizar el tiempo de inactividad o indisponibilidad de equipos o sistemas. Mediante esta estrategia se podrá agrupar e identificar fallas que presenta un activo según cuatro criterios, como son: normales, agudas, crónicas y agudas y crónicas (Miranda Vigo, 2021).

Confiabilidad

La medida de la confiabilidad de un equipo, es la frecuencia con la cual ocurren las fallas en el tiempo. Si no hay fallas, el equipo es 100% confiable; si la frecuencia de fallas es muy baja, la confiabilidad del equipo aun es aceptable; pero si la frecuencia de fallas es muy alta, el equipo es poco confiable (Mora Gutiérrez, 2012, p.79).

Tiempo medio entre fallas (MTBF)

“Un indicador útil es el tiempo medio entre fallas (MTBF); o, en otras palabras, el tiempo promedio en que el equipo no falla” (Pascual J., 2005, p.111).

Tiempo medio de reparación (MTTR)

“Es el tiempo promedio entre todos los tiempos que duran las intervenciones después una falla” (Mora Gutiérrez, 2012, p.63).

Disponibilidad

La probabilidad de que el equipo funcione satisfactoriamente en el momento en que sea requerido después del comienzo de su operación, cuando se usa bajo condiciones estables, donde el tiempo total considerado incluye el tiempo de operación, tiempo activo de reparación, tiempo inactivo, tiempo de mantenimiento preventivo (en algunos casos), tiempo administrativo, tiempo de funcionamiento sin producir y tiempo logístico se define como disponibilidad (Mora Gutiérrez, 2012, p.60).

2.4 Definición de términos básicos

Activo

“Un activo es algo que posee valor potencial o real para una organización. El valor puede variar entre diferentes organizaciones y sus partes interesadas y puede ser tangible o intangible, financiero o no financiero” (Organización Internacional de Normalización ISO 55000, 2014).

Fallo

“El fallo o falla es cualquier alteración que impide un correcto funcionamiento de algún activo” (Reaño Ramos, 2019, p.31).

Avería

“La avería es el caso más grave de un fallo, comprendiendo el paro total del sistema, equipo o componente, impidiendo el correcto funcionamiento requerido” (Reaño Ramos, 2019, p.31).

Parada

“Es la aparición violenta o repentina de fallas presentadas el sistema, equipo o componente del proceso de producción” (Reaño Ramos, 2019, p.32).

Equipo crítico

Es un equipo en el que la pérdida de sus funciones impacta directamente en la producción y este bajo parámetros de mantenimiento, reparación, costo, seguridad, contexto operacional, etc., genera mayor indisponibilidad.

Indicadores de mantenimiento

“Los indicadores de mantenimiento son herramientas que se utilizan para medir o cuantificar el estado, condición y evolución de la gestión de mantenimiento” (Reaño Ramos, 2019, p.29).

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1 Hipótesis

3.1.1 Hipótesis General

La implementación de un programa de mantenimiento centrado en confiabilidad aumentará la disponibilidad de la bomba centrífuga horizontal Warman 6"X4" AH en la planta de espesamiento de relaves de una unidad minera en la provincia de Oyón – Lima.

3.1.2 Hipótesis específicas

- El análisis de las fallas mecánicas críticas aumentará la disponibilidad de la bomba centrífuga horizontal Warman 6"X4" AH en la planta de espesamiento de relaves de una unidad minera en la provincia de Oyón – Lima.
- La determinación de un tiempo de intervención óptimo de mantenimiento aumentará la disponibilidad de la bomba centrífuga horizontal Warman 6"X4" AH en la planta de espesamiento de relaves de una unidad minera en la provincia de Oyón – Lima.

3.2 Definición conceptual de variables

El presente informe de tesis, titulado: "Programa de mantenimiento centrado en confiabilidad para aumentar la disponibilidad de la bomba centrífuga horizontal Warman 6"X4" AH de la planta de espesamiento de relaves de una unidad minera en la provincia de Oyón – Lima" cuenta con las siguientes variables.

Variable Independiente X:

Programa de mantenimiento centrado en confiabilidad

El mantenimiento centrado en la confiabilidad es una técnica de mantenimiento empleado en grandes industrias, su proceso se basa en identificar las fallas, consecuencias y de este modo realizar un programa de mantenimiento para prevenir y/o disminuir la frecuencia de las fallas.

"Estrategia de mantención global de un sistema utilizando métodos de análisis estructurados que permitan asegurar la fiabilidad inherente a un sistema" (Pascual J., 2005, p.607).

Variable Dependiente Y:

Disponibilidad de la bomba centrífuga horizontal Warman 6"X4" AH

Es la probabilidad de que el equipo funcione satisfactoriamente en el momento en que sea requerido después del comienzo de su operación, cuando se usa bajo condiciones estables, donde el tiempo total considerado incluye al tiempo de operación, tiempo activo de reparación, tiempo inactivo, tiempo de mantenimiento preventivo (en algunos casos), tiempo administrativo, tiempo de funcionamiento sin producir y tiempo logístico se define como disponibilidad (Mora Gutiérrez, 2012, p.60).

En las industrias se define a las bombas centrífugas horizontales como una máquina hidráulica que emplea la energía eléctrica para transformarla a energía mecánica y obtener fuerza centrífuga que permite mover fluidos a altas presiones.

3.2.1 Operacionalización de variables

Tabla 3.1 Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN	ÍNDICE	TECNICA
Independiente Programa de mantenimiento centrado en confiabilidad	“Estrategia de mantención global de un sistema utilizando métodos de análisis estructurados que permitan asegurar la fiabilidad inherente a un sistema”. (Pascual J., 2005, p.607)	El programa de RCM se evalúa en consideración de las fallas mecánicas críticas y del tiempo de intervención óptimo de mantenimiento que se debe aplicar a estas; en el análisis de los mantenimientos correctivos, preventivos e inspecciones y las fallas que generan mayor indisponibilidad, considerando una confiabilidad aceptable del activo.	Fallas mecánicas críticas	Mantenimientos correctivos, preventivos e inspecciones	Software SAP PM Historial del equipo	# mantenimiento	Documental
				Fallas que generan indisponibilidad	Diagrama de dispersión del tiempo	# fallas	
			Tiempo de intervención óptimo de mantenimiento	Confiabilidad	Análisis de distribución de Weibull	horas	
Dependiente Disponibilidad	“Es la probabilidad de que el equipo funcione satisfactoriamente en el momento en que sea requerido después del comienzo de su operación, cuando se usa bajo condiciones estables” (Mora Gutiérrez, 2012, p.60)	Esta variable se evalúa teniendo en cuenta los aspectos combinados de confiabilidad y mantenibilidad; en el análisis de los tiempos medios entre falla y de reparación respectivamente, suponiendo que los recursos externos requeridos se encuentran asegurados.	Confiabilidad	MTBF (Tiempo medio entre fallas)	Ficha de Reportes diarios de operación, Horómetro	horas	Documental
			Mantenibilidad	MTTR (Tiempo medio en reparación)	Ficha de Reportes diarios de operación, Horómetro	horas	

IV. METODOLOGÍA DEL PROYECTO

4.1 Diseño metodológico

4.1.1 Tipo de investigación

Tomando los conceptos de Espinoza Montes (2014, p.90), el tipo de investigación es **tecnológica**, pues “tiene como propósito aplicar el conocimiento científico para solucionar los diferentes problemas que beneficien a la sociedad”, en este caso particular, aplicar la metodología del RCM para aumentar la disponibilidad de la bomba centrífuga horizontal Warman 6”X4” AH.

El nivel de esta investigación según Espinoza Montes (2014, p.91), es de tipo **aplicada**, pues “tiene como propósito aplicar los resultados de la investigación experimental para diseñar tecnologías de aplicación inmediata en la solución de los problemas de la sociedad, buscando eficiencia y productividad” en este caso particular, aplicar los resultados de las diferentes técnicas de mantenimiento basadas en confiabilidad para garantizar un aumento en la disponibilidad de la bomba centrífuga horizontal Warman 6”X4” AH.

4.1.2 Enfoque de la investigación

El enfoque del presente trabajo de investigación es de tipo **cuantitativo**, según Bernal Torres (2010, p.60)

Método cuantitativo o método tradicional: Se fundamenta en la medición de las características de los fenómenos sociales, lo cual supone derivar de un marco conceptual pertinente al problema analizado, una serie de postulados que expresen relaciones entre las variables estudiadas de forma deductiva. Este método tiende a generalizar y normalizar resultados.

4.1.3 Diseño de la investigación

El presente trabajo de investigación es de diseño **pre - experimental**, según Espinoza Montes (2014, p.98)

Se utilizan estos diseños cuando se sabe que existen variables extrañas que pueden influir en la variable dependiente, pero no se sabe qué variables son y por lo tanto no se pueden controlar. Al utilizar este diseño corremos el riesgo de que la validez interna y externa sea mínima o nula.

Pero ilustran la forma en que las variables extrañas pueden influir en la validez interna. Nos muestra lo que se debe y no debe hacer.

Diseño de un grupo con pre prueba y post prueba

Se evalúa los efectos del tratamiento comparándolo con una medición previa, su diseño es:

$$O1 \rightarrow X \rightarrow O2$$

X: Tratamiento aplicado al grupo experimental (VI).

O1: Observación de la variable dependiente antes de tratamiento.

O2: Observación de la variable dependiente después de tratamiento.

4.1.4 Tipo de estudio de la investigación

El presente trabajo de investigación es de tipo **longitudinal**, según Bernal Torres (2010, p.119)

A diferencia de la investigación seccional que obtiene datos de un objeto en una sola oportunidad, en la investigación longitudinal se obtienen datos de la misma población en distintos momentos durante un período determinado, con la finalidad de examinar sus variaciones en el tiempo.

Los datos recogidos para el presente trabajo de investigación son de tipo **retrospectivo**, según Bernal Torres (2010, p.107), “es necesario determinar cuál será el período, sea retrospectivo o prospectivo, dentro del cual se realizará el estudio del hecho, la situación, el fenómeno o población investigados”.

4.2 Método de investigación

El presente trabajo de investigación presenta un enfoque de investigación **sistémico**, según Espinoza Montes (2014, p.91)

El propósito del método sistémico es estudiar el objeto mediante la determinación de sus elementos, sus relaciones y límites para observar su estructura y la dinámica de su funcionamiento. El enfoque sistémico enfrenta el problema en su complejidad a través de un pensamiento basada en la totalidad, en el estudio de la relación entre las partes y de las propiedades emergentes resultantes.

Tabla 4.1 Esquema del diseño de la investigación

Tipo de investigación	Nivel de investigación	Diseño de la investigación	Método de investigación
<p>Investigación tecnológica:</p> <p>Mediante el análisis de datos estadísticos de las fallas en las bombas centrifugas horizontales Warman 6"X4" AH, se diseñó un programa de mantenimiento centrado en confiabilidad.</p>	<p>Investigación aplicada:</p> <p>Se diseñó una nueva metodología de mantenimiento que permite mitigar las fallas que generan mayor indisponibilidad de la bomba centrifuga horizontal Warman 6"X4" AH.</p>	<p>Experimental – pre experimental:</p> <p>O1 → X → O2</p> <p>Donde:</p> <p>O1: Observación de la disponibilidad de la bomba Warman 6"X4" AH antes del tratamiento.</p> <p>X: Aplicación del RCM</p> <p>O2: Observación de la disponibilidad de la bomba Warman 6"X4" AH después del tratamiento.</p>	<p>Método sistémico</p> <p>A través del histórico de fallas, se analizó la totalidad de los modos de falla que presentan las bombas centrifugas horizontales Warman 6"X4" AH y se identificó la indisponibilidad que estos generan en el funcionamiento del equipo.</p>

4.3 Población y muestra

Población

Sistema de bombeo de relaves de la planta de espesamiento de relaves de una unidad minera ubicada en la provincia de Oyón – Lima, la cual cuenta con dos trenes de bombeo cada uno con 6 bombas centrifugas horizontales Warman 6"X4" AH distribuidas en serie.

Muestra

Para el presente trabajo de investigación la muestra considerada fue igual a la población anteriormente mencionada, es decir, 12 bombas centrifugas horizontales warman 6"X4" AH. Registros obtenidos de la totalidad de las bombas centrifugas horizontales Warman 6"X4" consideradas en ambos trenes de bombeo.

Figura 4.1 Bomba centrífuga horizontal WARMAN 6"x4" AH - N°06



4.4 Lugar de estudio

El lugar donde se realizó un programa de mantenimiento centrado en la confiabilidad para la bomba centrífuga horizontal Warman 6"X4" AH fue en las oficinas de planeamiento del departamento de mantenimiento de una unidad minera ubicada en la provincia de Oyón – Lima.

4.5 Técnicas e instrumentos para la recolección de la información

La técnica de recolección de información utilizada en el presente trabajo de investigación es de tipo **Documental**, según Espinoza Montes (2014, p.107)

La técnica documental permite la recopilación de evidencias para demostrar las hipótesis de investigación. Está formada por documentos de diferente tipo: revistas, memorias, actas, registros, datos e información estadísticas y cualquier documento de instituciones y empresas que registran datos de su funcionamiento.

Para la recolección de la información teórica, la cual consiste en realizar un programa centrado en confiabilidad, permite la búsqueda de la información en libros, informes y tesis con el mismo objeto de estudio.

Para la recolección de datos de mantenimiento del activo se descargó los registros del programa SAP PM y para los datos de las fallas e intervenciones, se recopiló la información de los reportes diarios de mantenimiento.

Para conocer los sistemas, comprender el funcionamiento y familiarizarse con los componentes del equipo, se consideró lo indicado en los manuales de operación y mantenimiento y listado de partes del mismo.

Según Espinoza Montes (2014, p.147), “en una medición efectiva, el instrumento de recolección de datos debe representar a los indicadores de las variables que se pretende medir. Es decir, un instrumento apropiado debe tener los siguientes requisitos: validez y confiabilidad”. Por tal motivo los instrumentos utilizados en el presente trabajo fueron: Fichas de Reportes diarios de Operación y el programa MS Excel; todo ello para poder monitorear nuestra variable dependiente que es la Disponibilidad.

4.6 Análisis y procesamiento de datos

El procedimiento aplicado para la obtención de un programa de mantenimiento centrado en confiabilidad para aumentar la disponibilidad de la bomba centrífuga horizontal Warman 6”X4” AH de la planta de espesamiento de relaves en la unidad minera ubicada en la provincia de Oyón – Lima, se llevó a cabo en tres (03) etapas, las cuales fueron:

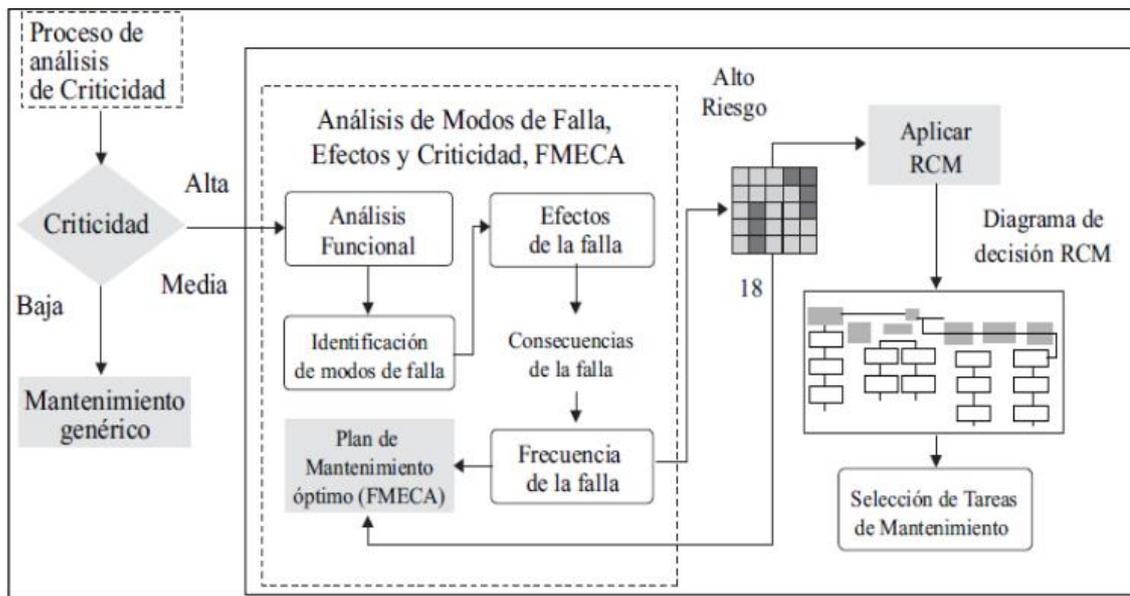
- **Etapa 1:** En la primera etapa se realizó la selección del equipo y sistema crítico al cual se aplicará el RCM según la jerarquía de criticidad diseñada por el área de planeamiento de mantenimiento de la Unidad Minera. Posteriormente se recopiló toda la información del historial de mantenimiento de la bomba centrífuga horizontal Warman 6”x4” AH, correspondiente a los meses de octubre, noviembre y diciembre del año 2020, con la finalidad de determinar la disponibilidad de las líneas de bombeo de relave.
- **Etapa 2:** En esta segunda etapa, se desarrolló el programa de mantenimiento centrado en la confiabilidad, respondiendo las siete preguntas en las que se basa el RCM. Después de haber listado las respuestas a las siete preguntas del RCM se obtuvo la Hoja de información y la Hoja de decisión para el equipo en estudio. Como complemento y mejora al programa de mantenimiento centrado en confiabilidad se aplicó estrategias de mantenimiento con la finalidad de optimizar los tiempos de intervención del programa de mantenimiento. Las estrategias que se emplearon son: Análisis de dispersión de datos o diagrama de Jack Knife y análisis de confiabilidad de Weibull. Listada las tareas proactivas en la Hoja de decisión se rediseñó el programa de mantenimiento en base a los tiempos óptimos de mantenimiento obtenidos del análisis de Weibull.

Adicionalmente como estrategia en la gestión de mantenimiento se desarrolló un control de repuestos, que fue de utilidad para asegurar el cumplimiento de las tareas de mantenimiento.

- **Etapa 3:** En la tercera etapa, se desarrolló el análisis de los datos después y durante la aplicación del programa de mantenimiento centrado en confiabilidad. Con ello se determina la disponibilidad de las líneas de bombeo durante los 05 primeros meses del año 2021 de aplicación del RCM.

El procedimiento para el desarrollo del programa de mantenimiento centrado en confiabilidad descrito líneas arriba se detalla de manera gráfica en la Figura 4.2.

Figura 4.2 Flujoograma proceso de gestión de mantenimiento aplicado al RCM



Fuente: (Santillan Armas, 2017, p.57)

4.6.1 Análisis de criticidad y selección del equipo

El sistema de criticidad tiene por finalidad clasificar los equipos usados de acuerdo con su importancia en la empresa o en caso de fallar, según los posibles daños o accidentes que pudieran ocasionar.

La unidad minera, como parte de su sistema de gestión de mantenimiento, cuenta con una plantilla de su sistema de criticidad de equipos que forman parte de su flujo operativo y que se representa en la Tabla N° 4.3, basada en una ponderación de variables definidas en una tabla de criticidad, según se aprecia en la Tabla N° 4.2.

Tabla 4.2 Tabla de criticidad – Unidad Minera

TABLA DE CRITICIDAD UNIDAD MINERA				
ITEM	VARIABLES	CONCEPTO	PONDERACION	OBSERVACIONES
1	Impacto riesgo a la producción			
		Detiene	4	Detiene la producción
		Reduce	2	Reduce la producción
		No detiene	0	No afecta a la producción
2	Impacto técnico- Económico			
	Considerar costos por adquisición y mantenimiento	Alto	3	Mayor a \$ 100,000
		Medio	2	
		Bajo	1	Menor a \$ 50,000
3	Impacto de la falla			
	a. Al equipo en si	SI	1	Deteriora otros componentes del equipo
		NO	0	
	b. Al servicio	SI	1	Origina problemas a otros equipos
		NO	0	
	c. A la seguridad en general	SI	1	Origina daños a personas u otros equipos
		NO	0	
	d. Al medio ambiente	SI	1	Origina daños al medio ambiente
		NO	0	
	4	Probabilidad de Falla (Confiabilidad)		
		Alto	4	60%-100% del total de horas paradas
		Medio	2	20%-60% del total de horas paradas
		Bajo	0	0-20% del total de horas paradas
5	Flexibilidad del Equipo en el Sistema			
		Único	2	No existe otro igual
		By Pass	1	No se ve afectado el sistema
		Stand By	0	Otro equipo a la espera
6	Dependencia Logística			
		Extranjero	2	Repuestos y/o componentes importados
		Local/ Extranjero	1	Repuestos y/o componentes importados o nacionales
		Local	0	Repuestos y/o componentes nacionales
7	Dependencia de Mano de Obra			
		Especialista	2	Para el mantenimiento se requiere contratar especialistas y/o terceros.
		Especialista / Propia	1	Para el mantenimiento se requiere personal especializado para ciertas tareas específicas.
		Propia	0	Para el mantenimiento es suficiente utilizar personal de la empresa.
8	Mantenibilidad			
		Baja	1	Mantenimiento dificultoso
		Alta	0	Mantenimiento fácil

Fuente: Área de Planeamiento de Mantenimiento – Unidad Minera

Tabla 4.3 Sistema de criticidad de equipos - Unidad Minera (Primeros 20 items)

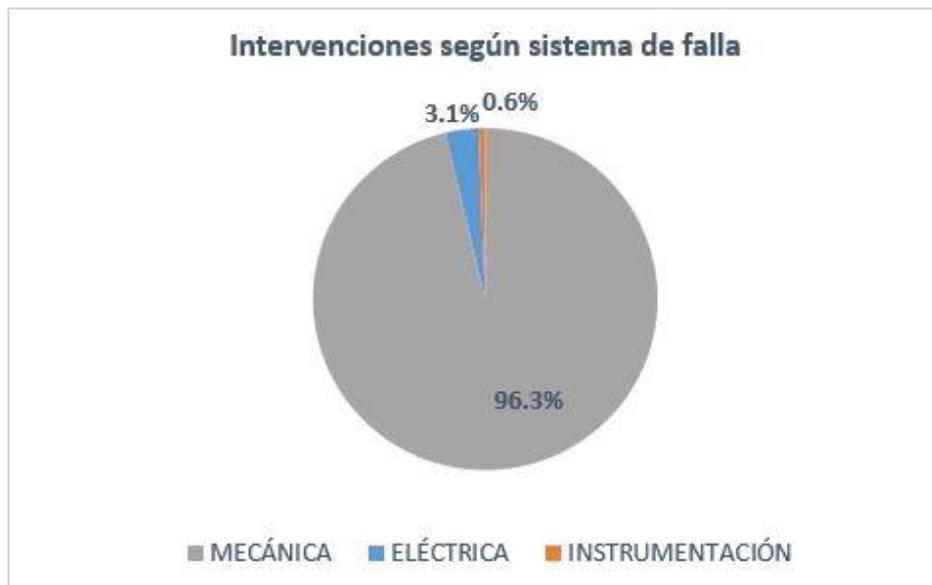
ANALISIS DE CRITICIDAD DE EQUIPOS UNIDAD MINERA															
ITEM	EQUIPO	ÁREA	PONDERACION											ESCALA REFERENCIA	
			1	2	3a	3b	3c	3d	4	5	6	7	8		TOTAL
1	CHANCADORA DE QUIJADAS C-106	Chancado Primario	4	3	1	1	0	0	2	2	2	1	1	17	CRITICO
3	MOLINO DE BARRAS 10 1/2'X14	Molienda	4	3	1	1	1	1	0	2	2	1	1	17	CRITICO
4	MOLINO DE BOLAS 9 1/2'X16'	Molienda	4	3	1	1	1	1	0	2	2	1	1	17	CRITICO
5	MOLINO DE BOLAS 8'X12'	Molienda	4	3	1	1	1	1	0	2	2	1	1	17	CRITICO
6	CHANCADORA CONICA HP-400	Chancado Secundario	4	3	1	1	0	0	0	2	2	1	1	15	CRITICO
8	ESPEADOR SUPLAFO OUTOKUMPU	Planta Relaves	4	3	1	0	1	1	0	2	1	1	1	15	CRITICO
10	MOLINO DE BARRAS 8'X12'	Molienda	2	3	1	1	1	1	0	1	2	1	1	14	IMPORTANTE
11	BOMBA HORIZONTAL ASH-200	Planta Relaves	4	2	1	0	1	1	2	0	1	1	0	13	IMPORTANTE
12	BOMBAS HORIZONTAL WARMAN 6"X4"	Planta Relaves	2	2	1	1	0	1	2	1	1	1	0	12	IMPORTANTE
13	ZARANDA VIBRATORIA TYCAN	Chancado Secundario	4	3	1	0	0	0	0	2	1	0	0	11	IMPORTANTE
14	BOMBA ASH-200 N°01	Molienda	4	2	1	0	1	1	0	0	1	1	0	11	IMPORTANTE
15	BOMBA ASH-150 N°01	Molienda	4	2	1	0	1	1	0	0	1	1	0	11	IMPORTANTE
16	BOMBA MILLMAX	Flotación Zn	4	1	0	0	1	1	2	0	1	1	0	11	IMPORTANTE
17	BOMBA DENVER SALA SPVC-4"	Flotación Zn	2	3	0	0	1	1	2	0	1	1	0	11	IMPORTANTE
18	BOMBA DENVER SALA SPVC-8"	Flotación Zn	2	3	0	0	1	1	2	0	1	1	0	11	IMPORTANTE
19	APROM FEEDER	Chancado Primario	4	2	0	0	0	0	0	2	1	0	1	10	IMPORTANTE
20	FAJA TRANSPORTADORA N°02	Chancado Secundario	4	1	0	0	0	1	0	2	1	1	0	10	IMPORTANTE

Fuente: Área de Planeamiento de Mantenimiento – Unidad Minera

Al tener en cuenta ciertas variables como son el impacto a la producción y el impacto técnico económico considerando los costos por mantenimiento, se optó por seleccionar a la bomba centrífuga horizontal WARMAN 6"X4" AH ya que se considera esencial para poder estudiar y aplicar la metodología del RCM.

Definido el equipo crítico, se procedió a revisar el historial de fallas que presentaron las 12 bombas centrífugas horizontales WARMAN 6"X4" AH en el periodo de tiempo del 01 de octubre al 31 de diciembre 2020, para evidenciar los diferentes sistemas de falla asociados al equipo, los cuales se evidencian en la Figura 4.3.

Figura 4.3 Sistemas de falla de las bombas centrífugas horizontales WARMAN 6"X4" AH

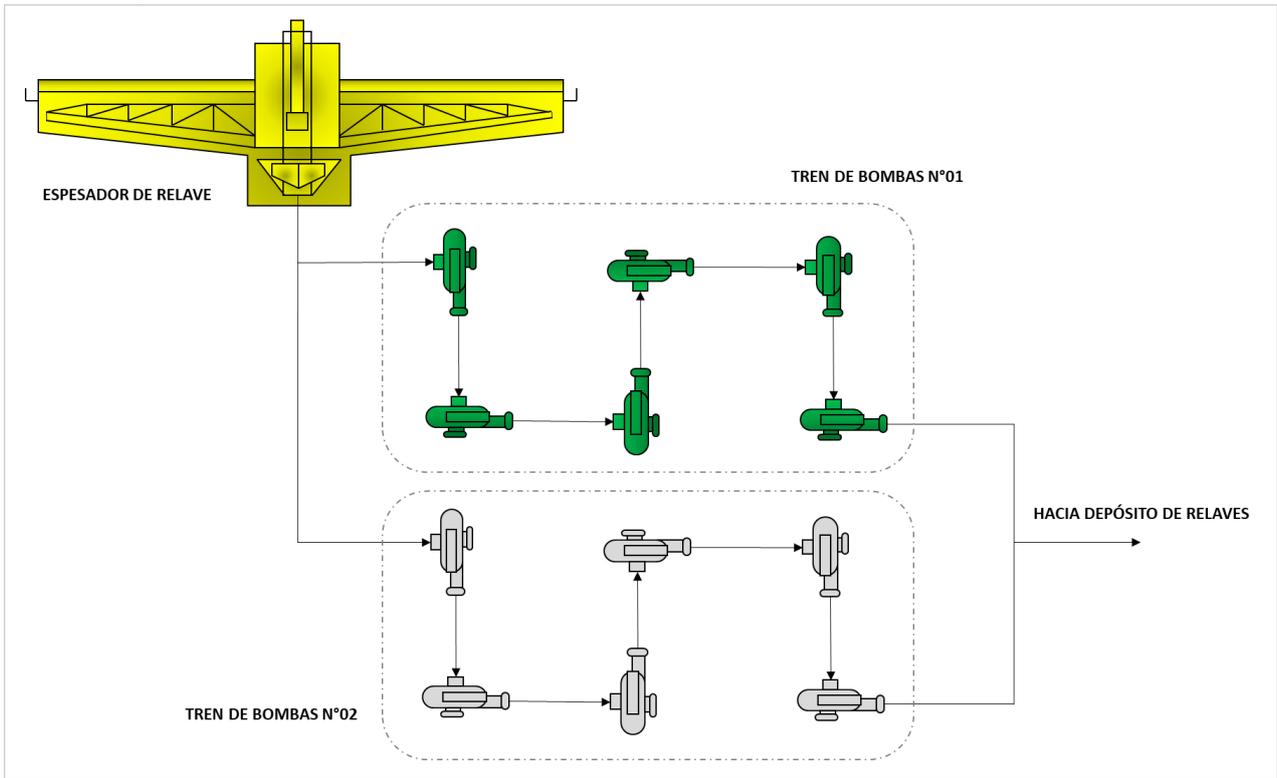


Se evidencia que el sistema crítico asociado a las bombas centrífugas horizontales WARMAN 6"X4" AH, es el sistema mecánico.

4.6.2 Determinación de la disponibilidad inicial de los trenes de bombeo

En base a los históricos de falla de las bombas centrífugas horizontales WARMAN 6"X4" AH, y considerando que estas se encuentran distribuidas en serie, las primeras 6 correspondientes al tren N°01 (Línea 1) de bombeo y las últimas 6 correspondientes al tren N°02 (Línea 2) usado como backup, tal como se puede apreciar en la Figura 4.4; y haciendo uso de la ecuación (2-7):

Figura 4.4 Flowsheet sistema de bombeo de relave



$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100\%$$

Donde:

MTBF: Tiempo medio entre fallas

MTTR: Tiempo medio para reparar

se obtuvo los indicadores que se muestran en las Tablas 4.4; 4.5.

Tabla 4.4 Disponibilidad del Tren N°01 de bombeo

Mes	Horas Operativas	# Fallas	MTBF	TTR	MTTR	Disponibilidad
Oct-20	352.00	5	70.40	14.50	2.90	96.04%
Nov-20	369.50	4	92.38	11.50	2.88	96.98%
Dic-20	288.00	6	48.00	25.50	4.25	91.87%
PROMEDIO						94.96%

Tabla 4.5 Disponibilidad del Tren N°02 de bombeo

Mes	Horas Operativas	# Fallas	MTBF	TTR	MTTR	Disponibilidad
Oct-20	339.00	4	84.75	12.00	3.00	96.58%
Nov-20	301.50	5	60.30	16.00	3.20	94.96%
Dic-20	403.50	3	134.50	12.50	4.17	97.00%
PROMEDIO						96.18%

Donde:

TTR: Tiempo de reparación total

Se evidencia que en promedio la disponibilidad tanto del Tren N°01 como del Tren N°02 son de 94.96% y 96.18% respectivamente, según los registros de octubre a diciembre de 2020.

4.6.3 Diseño del Programa de Mantenimiento

Hoja de información del RCM

Los resultados que se plasmaron en la hoja de información se han basado en la información obtenida del manual de mantenimiento de la bomba centrífuga horizontal WARMAN 6"X4" AH, listado de partes, la experiencia del personal de mantenimiento y el historial de operaciones del equipo.

La hoja de información tiene como objetivo plantear la función del equipo, sus fallas potenciales, las causas que las generan, y los efectos que estas producen.

La Tabla 4.6 muestra la hoja de información planteada para la bomba centrífuga horizontal WARMAN 6"X4" AH.

Tabla 4.6 Hoja de información para la bomba centrífuga horizontal WARMAN 6"X4" AH

RCM II HOJA DE INFORMACIÓN <small>© 1998 ALADON LTD</small>	ACTIVO:	Bomba Centrífuga Horizontal Warman 6"x4" AH	Sistema N°	1	Facilitador:	Núñez Rivera Walter Alexis Palpa Mayorca Michael Junior
	SISTEMA:	Sistema Mecánico	Subsistema N°	1	Hoja:	
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL (Pérdida de la función)	MODO DE FALLA (Causa de la Falla)	EFECTOS DE FALLA (Que sucede cuando se produce la Falla)			
1 Bombear relave desde el Tanque Espesador de relaves con un caudal de 190 m3/h a 195 m3/h con eficiencia de la bomba aproximadamente 71%. Todo ello asegurando que no exista daños a los trabajadores, equipos, infraestructura y al medio ambiente.	A Equipo incapaz de enviar el fluido.	1 Impulsor Atascado por algún cuerpo extraño. 2 Rodamientos del cilindro portarodamientos desgastados. 3 Rodamientos del motor desgastados. 4 Motor quemado 5 Deficiente tensado de las correas de transmisión. 6 Rotura de correas de transmisión	El impulsor no gira, no se envía carga y el operador para la línea. Inmediatamente reporta a mantenimiento para intervenir. Eje de portarodamientos no gira, se puede originar rotura del eje. Altas vibraciones en el cilindro portarodamientos. Alta ruido, alta vibración el cual no permite el giro del eje motriz del motor. Se detiene el motor y se percibe un olor a quemado. El eje motriz deja de girar. Polea lado portarodamiento no gira y no transmite la energía mecánica al eje del cilindro portarodamiento. Sonido extraño de la guarda de seguridad, ocasionado por el golpe de las correas con la estructura de la guarda de seguridad. No se transmite la energía al cilindro portarodamientos.			

	B Flujo de bombeo por debajo de 190 m3/h	<p>1 Tuberías de 6" presentan desgaste y/o están deterioradas.</p> <p>2 Desgaste de los elementos internos de la bomba (forros lado succión, forro lado prensa, impulsor, disco succión).</p> <p>3 Fuga de carga por la carcasa de la bomba.</p> <p>4 Fuga de carga por prensa estopa.</p> <p>5 Rotura y/o soldadura parcial de las fajas de transmisión.</p> <p>6 Fatiga y/o desgaste de espárragos de la carcasa</p>	<p>Derrame de carga por las tuberías, se enciende la alarma de bajo flujo antes que el impulsor presenta cavitación y se detiene el equipo.</p> <p>Fuga de carga por la carcasa, el cual activa la alarma por bajo flujo y el motor se detiene.</p> <p>Derrame de carga al medio ambiente el cual disminuye el caudal de lodo, se activa la alarma y el equipo se para.</p> <p>Derrame de carga al medio ambiente el cual disminuye el caudal de lodo y activa la alarma. Carga deteriora las prensas estopa y las partículas de relave desgastan la bocina y contaminan el aceite de cilindro portarodamientos.</p> <p>Perdida de potencia del eje de cilindro portarodamiento y las revoluciones disminuyen, se procede a cambiar correas nuevas.</p> <p>Soltura de los espárragos de la bomba, derrame de la carga al medio ambiente, activación de la alarma de bajo flujo y se detiene el equipo.</p>
--	--	--	--

	C Eficiencia de la bomba por debajo de los 71%	<p>1 Cavitación en la bomba.</p> <p>2 Caudal por debajo de 190 m³/h.</p> <p>3 Desgaste del impulsor por horas de trabajo.</p> <p>4 Derrame de la carga por la carcasa.</p> <p>5 Derrame de la carga por las tuberías de succión y descarga.</p>	<p>Desgaste de los elementos internos de la bomba, se disminuye el caudal, se enciende la alarma y se apaga el equipo.</p> <p>Posible desgaste de los elementos internos, derrame de la carga al medio ambiente, se enciende la alarma por bajo caudal y se detiene el equipo. Se activa la alarma por bajo caudal y se detiene el equipo.</p> <p>Disminución en el caudal, se enciende la alarma de bajo caudal y se detiene el equipo.</p> <p>Disminución del caudal, se enciende la alarma de bajo caudal y se detiene el equipo.</p>
--	--	--	--

D	Se producen daños a los trabajadores, medio ambiente y a otros equipos.	1	Derrame de carga por forro lado presan estopa.	Se produce derrame de relave al piso el cual puede causar revelamiento del personal operador de la planta y se detiene el equipo.
		2	Derrame de carga por forro lado succión.	Se produce derrame de relave al piso el cual puede causar revelamiento del personal operador de la planta y se detiene el equipo.
		3	Derrame de carga por la carcasa.	Se produce derrame de relave al piso el cual puede causar revelamiento del personal operador de la planta y se detiene el equipo.
		4	Derrame de aceite lubricante por los retenes del cilindro portarodamientos.	Se produce la contaminación al ambiente, puede ser un peligro de resbalamiento para el personal operador y de mantenimiento.
		5	Derrame de aceite lubricante por el cilindro portarodamientos.	Se produce la contaminación al ambiente, puede ser un peligro de resbalamiento para el personal operador y de mantenimiento.
		6	Mala operación en el arranque y cambio de línea de bombeo por parte de los operadores.	Funcionamiento incorrecto de las bombas, que pueden causar su deterioro. Componentes se pueden deteriorar antes de su ciclo de vida e involucrar el desgaste de componentes más importantes.
		7	Deficiente cambio y ensamble en el mantenimiento por parte del personal de mantenimiento.	Poleas en malas condiciones pueden ser agentes de generar golpes al personal de mantenimiento y operación.
		8	Polea motriz y conducida pueden estar sueltos y/o deteriorados.	

Hoja de Decisión del RCM

Tabla 4.7 Hoja de Decisión para la bomba centrífuga horizontal WARMAN 6"X4" AH

			ACTIVO:				BOMBA CENTRIGUGA HORIZONTAL WARMAN 6"X4" AH				Sistema N°		Facilitador:		Fecha		Hoja N°					
			SISTEMA:				SISTEMA MECÁNICO				Subsistema N°		Auditor									
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Acción de falta de					TAREA PROPUESTA				Intervalo inicial		A realizarse por	
							S1	S2	S3													
F	FF	FM	H	S	E	O	O1	O2	O3	N1	N2	N3	H4	H5	S4							
1	A	1	S	N	N	S	S									Inspeccionar funcionamiento adecuado sin anomalías de la bomba.	Diario	Oper.				
1	A	2	S	N	N	S			S							Cumplir con el programa de lubricación, rellenar aceite ISO 220 de ser necesario.	7 días	Plan. / Mec.				
																Inspeccionar la condición de trabajo, vibraciones y temperatura del cilindro portarodamientos.	7 días	Plan. / Mec.				
																Tomar muestra de aceite lubricante ISO 220 en frasco hermético para envío a laboratorio.	Cada parada de planta	Mec. / Terceros				
1	A	3	S	N	N	S	S									Cumplir con el mantenimiento eléctrico.	600 horas	Elec.				
1	A	4	S	N	N	S		S								Cumplir con el mantenimiento eléctrico.	600 horas	Elec.				
1	A	5	S	N	N	S	S									Inspeccionar funcionamiento y tensado de las correas de transmisión.	300 horas	Mec.				
1	A	6	S	N	N	S			S							Inspeccionar el estado de las correas y cumplir con el cambio cuando se requiera (1500 horas).	600 horas	Mec.				
																Inspeccionar espesor de tuberías de succión y descarga, resanar con Wearing Compound de ser necesario.	600 horas	Mec.				
1	B	1	S	S					S							Preparar tuberías de succión y descarga para realizar el cambio.	600 horas	Mec.				
																Realizar seguimiento de horas de operación de los forros, impulsores y cumplir con el cambio establecido en los programas.	300 horas	Plan. / Mec.				
1	B	3	S	N	N	S	S									Inspeccionar y cambiar los forros según se requiera cumpliendo los programas.	300 horas	Mec.				

1	B	4	S	N	N	S		S					Inspeccionar las empaquetaduras de la prensa estopa y realizar el cambio cuando presenta desgaste y fuga de carga.	Diario	Oper. / Mec.
													Inspeccionar manómetro y flujómetro de bombas de sello de agua.	Diario	Oper. / Mec.
													Inspeccionar y/o cambiar bocina si presenta desgaste (cuello)	600 horas	Mec.
1	B	5	S	N	N	S	S						Inspeccionar alineamiento de las poleas de transmisión, conducida y conductora.	600 horas	Oper. / Mec.
													Inspeccionar el estado de las poleas.	600 horas	Oper. / Mec.
1	B	6	S	N	N	S	S						Inspeccionar elementos de sujeción de la carcasa y realizar ajuste si lo requiere.	300 horas	Mec.
1	C	1	S	N	N	S			S				Optimizar los tiempos de ciclo de vida del impulsor y cumplir con el cambio según los programas de mantenimiento.	300 horas	Plan. / Mec.
1	C	2	S	N	N	S			S				Realizar seguimiento de horas de operación de los forros, impulsores y cumplir con el cambio establecido en los programas.	300 horas	Plan. / Mec.
1	C	3	S	N	N	S			S				Realizar seguimiento de horas de operación de los forros, impulsores y cumplir con el cambio establecido en los programas.	300 horas	Plan. / Mec.
1	C	4	S	N	N	S			S				Inspeccionar y cambiar los forros según se requiera cumpliendo los programas, para evitar el deterioro de la carcasa.	300 horas	Mec.
1	C	5	S	N	N	S	S						Programar inspecciones de ensayos NDT	Cada parada de planta	Terceros
1	D	1	S	S				S					Cumplir con el programa de mantenimiento de las bombas cat de sellos de agua.	300 horas	Plan. / Sup. / Mec.
1	D	2	S	S					S				Realizar seguimiento de horas de operación de los forros, impulsores y cumplir con el cambio establecido en los programas.	300 horas	Plan. / Mec.
1	D	3	S	S					S				Inspeccionar y cambiar los forros según se requiera cumpliendo los programas, para evitar el deterioro de la carcasa.	300 horas	Mec.
1	D	4	S		S				S				Inspeccionar retenes doble labio del cilindro portarodamientos.	300 horas	Mec.
													Eliminar derrame de aceite ISO 220 y completar el mismo si lo requiere.	300 horas	Mec.

1	D	5	S		S				S				Programar e inspeccionar para el cambio de los retenes doble labio del cilindro portarodamientos.	300 horas	Plan. / Sup. / Mec.
													Inspeccionar y/o ajustar plato prensa estopa.	7 días	Mec.
1	D	6	S	N	N	S	S						Capacitar al personal nuevo de operaciones acerca del procedimiento de intercambio de línea de bombeo.	3 meses	Operaciones
1	D	7	N				S						Verificar el sentido correcto de la rotación del impulsor y el giro libre a mano.	Cada mantenimiento	Mec.
													Después de cada mantenimiento, el líder mecánico deberá verificar el ensamble correcto según el manual de partes y mantenimiento del equipo.	Cada mantenimiento	Mec.
													Comprobar la luz entre el impulsor y el forro lado succión.	Cada mantenimiento	Mec.
1	D	8	N	S									Inspeccionar el ajuste de las poleas.	600 horas	Mec.
													Inspeccionar el estado de las guardas de seguridad de las poleas y los pernos de sujeción.	600 horas	Mec.

La hoja de decisión se elabora a partir de la hoja de información anteriormente mostrada, la cual abarca la función del equipo, sus fallas potenciales, las causas que las generan, y los efectos que estas producen, relacionándola con el diagrama de decisión del RCM respondiendo a las preguntas citadas, mostrado en la Figura 2.12.

Esta hoja tiene por finalidad proponer una tarea por cada modo de falla, de cada falla funcional, que en principio ayudaría a mitigar el efecto del mismo. La Tabla 4.7 muestra la hoja de decisión.

4.6.4 Diagrama de dispersión del tiempo – Diagrama Jack Knife

Una de las estrategias de mantenimiento que nos ayuda a tomar decisiones es el diagrama de dispersión del tiempo o también llamado diagrama de Jack Knife, mediante esta estrategia se podrá agrupar e identificar los modos de falla que presenta la bomba centrífuga horizontal WARMAN 6"X4" AH. Este diagrama se enfoca en hacer un análisis de los modos de falla en el tiempo, es decir nos ayuda a identificar problemas.

En la figura 4.5 se muestra el diagrama de dispersión elaborado, el cual relaciona las tareas de mantenimiento que están generando mayor indisponibilidad a la bomba, según cuatro criterios: Fallas agudas, crónicas, normales y agudas – crónicas.

Tabla 4.8 Modos de falla de la bomba centrífuga horizontal WARMAN 6"X4" AH

ITEM	MODOS DE FALLA	# Intervenciones	Tiempo de Intervenciones (horas)	MTRR (horas)	Tasa Fallas	Indisponibilidad
1	DESGASTE DE RETENES DE CILINDRO PORTARODAMIENTOS	15	63.00	4.20	0.00730	3.07%
2	DESGASTE DE PARTES HUMEDAS DE LA BOMBA	12	44.00	3.67	0.00584	2.14%
3	DETERIORO DE EMPAQUES DE BOMBA	5	10.50	2.10	0.00243	0.51%
4	DEFICIENCIA DE MOTOR ELECTRICO	5	15.00	3.00	0.00243	0.73%
5	DETERIORO DE TUBERIAS	4	25.50	6.38	0.00195	1.24%
6	DESGASTE DE RODAMIENTOS DE CILINDRO PORTARODAMIENTOS	3	13.00	4.33	0.00146	0.63%
7	DERRAME DE CARGA POR NIPLES BRIDADOS	2	11.50	5.75	0.00097	0.56%
8	DESGASTE Y CAMBIO DE BOCINA	2	9.00	4.50	0.00097	0.44%
9	BAJO PRESION DE AGUA	1	2.00	2.00	0.00049	0.10%
10	DESGASTE DE POLEAS	1	3.50	3.50	0.00049	0.17%
11	AJUSTES EN LA PRENSA ESTOPA	1	1.00	1.00	0.00049	0.05%
12	INSPECCION DE CILINDRO PORTARODAMIENTOS	1	4.00	4.00	0.00049	0.19%

Figura 4.5 Diagrama de Dispersión



Se evidencian dos modos de falla en la zona Aguda – crónica, en los cuales nos vamos a enfocar considerándolas como fallas mecánicas críticas, estas son:

- DESGASTE DE PARTES HUMEDAS DE LA BOMBA
- DESGASTE DE ELEMENTOS DE ESTANQUEIDAD DE CILINDRO PORTARODAMIENTOS

4.6.5 Análisis de datos – Distribución de Weibull

Según el diagrama de dispersión del tiempo realizado anteriormente, se detectó que los modos de falla que generan mayor indisponibilidad, consideradas como fallas mecánicas críticas son: Desgaste de partes húmedas de la bomba y desgaste de elementos de estanqueidad de cilindro portarodamientos.

Por lo tanto, nos enfocaremos en estos dos modos de falla, de tal forma que podamos comprobar y corregir el tiempo óptimo de intervención para las actividades de mantenimiento relacionadas a los mencionados modos de falla.

De la ecuación (2-11):

$$R_{(t)} = e^{-(\frac{t}{n})^\beta}$$

Aplicando logaritmo natural a ambos lados y resolviendo obtenemos:

$$\ln(R_{(t)}) = \ln \left(e^{-\left(\frac{t}{n}\right)^\beta} \right)$$

$$-\ln(R_{(t)}) = \frac{t^\beta}{n^\beta}$$

$$\ln(-\ln(R_{(t)})) = \beta \ln(t) - \beta \ln(n)$$

Lo cual representa una función lineal de la forma:

$$y = mx - k$$

Donde:

$$y = \ln(-\ln(R_{(t)}))$$

$$x = \ln(t)$$

$$m = \beta$$

$$k = \text{constante}$$

La constante asociada a la función lineal, representada por k, se puede representar por:

$$k = \beta \ln(n)$$

Despejando se puede representar el valor de n, de la siguiente forma:

$$n = e^{\left(\frac{k}{\beta}\right)}$$

Luego utilizando el programa Excel, procedemos a graficar los valores para obtener los parámetros de Weibull β , k y n; que nos ayudarán para realizar el análisis de cada modo de falla.

Para obtener los parámetros de Weibull, se tomó las siguientes consideraciones.

- Obtener una lista de todos los tiempos de vida de los repuestos.
- Se deberá calcular la función de distribución de fallas F(t).

Para estimar la función de distribución de fallas, se realizó por el método de rangos medios (rango corresponde a la posición relativa de la falla con respecto a las demás, la primera falla en ocurrir tiene rango 1, la segunda falla, rango 2, etc.), para el caso de una población pequeña se emplea la siguiente igualdad (Pascual J., 2005, p.131).

$$F(i) = RM = \frac{i - 0.3}{n + 0.4}$$

Donde:

$$i = \text{Jerarquía de la falla}$$

Finalmente se realizó la secuencia que se debe seguir en la aplicación del método de los mínimos cuadrados, para calcular una recta de regresión lineal y de esta manera obtener el parámetro de forma (β) y escala (n).

Para ahondar aún más en la metodología de cálculo de los parámetros de Weibull a través del método de los mínimos cuadrados y utilizando el programa MS Excel, se recomienda visitar la página web: <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/calculo-de-los-parametros-de-la-distribucion-de-weibull> (RELIABILITYWEB.COM, 2022)

Desgaste de partes húmedas de la bomba

Al analizar este modo de falla, se realizó el análisis de confiabilidad mediante la distribución de Weibull a los siguientes repuestos: Forros e impulsor, se pasa a representar el análisis de Weibull para cada caso:

Tabla 4.9 Datos para el análisis de Weibull referente las fallas evidenciadas en los Forros

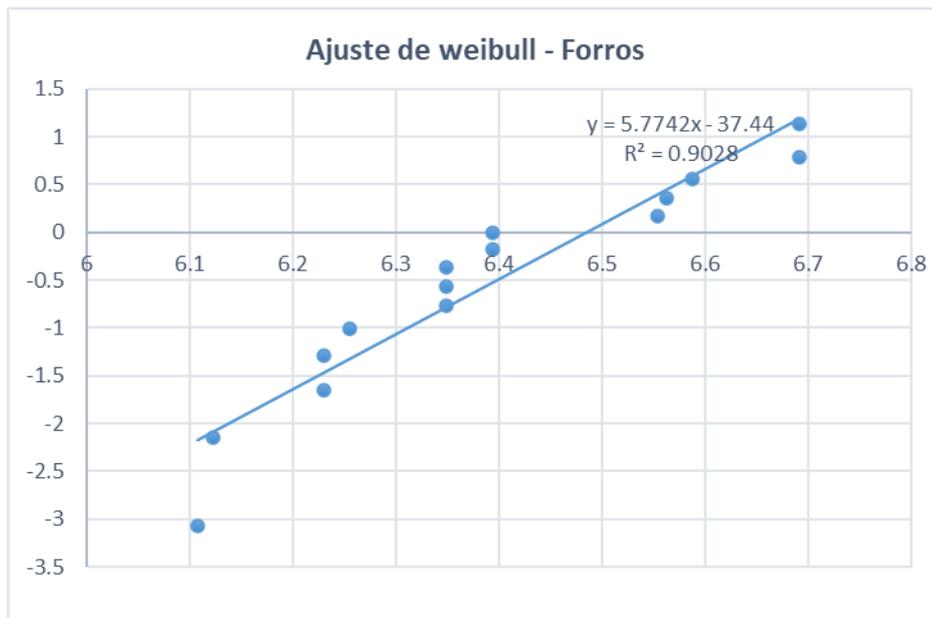
Forros					
ITEM	i	HORAS (t)	RM	X(LNt)	y(LN(-LNR))
FALLA1	1	449.50	0.04545	6.108136	-3.06787262
FALLA2	2	456.00	0.11039	6.122493	-2.14582345
FALLA3	3	508.00	0.17532	6.230481	-1.64628077
FALLA4	4	508.00	0.24026	6.230481	-1.29178935
FALLA5	5	520.50	0.30519	6.25479	-1.01026145
FALLA6	6	572.00	0.37013	6.349139	-0.77166753

FALLA7	7	572.00	0.43506	6.349139	-0.56028817
FALLA8	8	572.00	0.50000	6.349139	-0.36651292
FALLA9	9	598.00	0.56494	6.393591	-0.18361041
FALLA10	10	598.00	0.62987	6.393591	-0.00611734
FALLA11	11	701.50	0.69481	6.553221	0.17126482
FALLA12	12	708.50	0.75974	6.56315	0.35489765
FALLA13	13	726.00	0.82468	6.58755	0.55452614
FALLA14	14	805.00	0.88961	6.690842	0.79015558
FALLA15	15	805.00	0.95455	6.690842	1.1285084

Se puede apreciar en la Tabla 4.9, según la disposición de los tiempos hasta la falla, que i coincide con el número de Item representado; ya que estos tiempos están representados de forma ascendente.

Con los datos representados en la Tabla 4.9, se obtiene el ajuste de Weibull para este tipo de repuesto, representado en la Figura 4.6.

Figura 4.6 Ajuste de Weibull de los Forros



Del cálculo realizado, se obtienen los parámetros de Weibull que modelarán el comportamiento de los forros en el tiempo:

Tabla 4.10 Parámetros de Weibull para los Forros

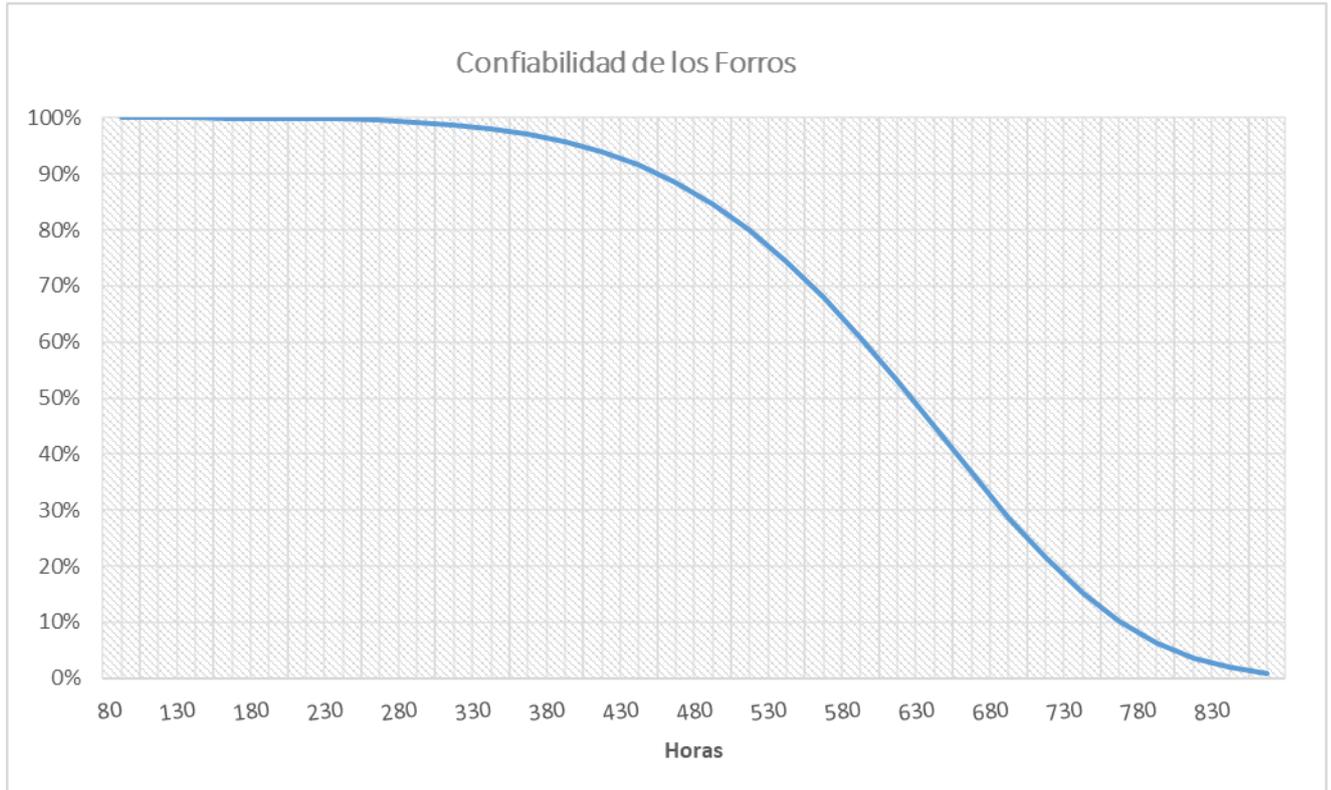
β	5.774
k	37.440
n	654.594

Según los parámetros de Weibull obtenidos, se procedió a estimar la confiabilidad de los forros con la fórmula mencionada anteriormente de confiabilidad, según los datos representados en la Tabla 4.11.

Tabla 4.11 Datos de confiabilidad de los Forros

t	R(t) - Forros
80	0.999995
105	0.999974
130	0.999912
155	0.999756
180	0.999422
205	0.998775
230	0.997620
255	0.995686
280	0.992608
305	0.987916
330	0.981021
355	0.971212
380	0.957651
405	0.939399
430	0.915444
455	0.884764
480	0.846420
505	0.799681
530	0.744174
555	0.680058
580	0.608183
605	0.530205
630	0.448603
655	0.366562
680	0.287678
705	0.215517
730	0.153082
755	0.102327
780	0.063841
805	0.036842
830	0.019473
855	0.009326

Figura 4.7 Confiabilidad de los Forros



Luego se procedió a realizar el mismo análisis para el impulsor:

Tabla 4.12 Datos para el análisis de Weibull referente las fallas evidenciadas en el impulsor

Impulsor					
ITEM	i	HORAS (t)	RM	X(LNt)	y(LN(-LNR))
FALLA1	1	413.00	0.061404	6.023448	-2.75877081
FALLA2	2	438.00	0.149123	6.082219	-1.82332773
FALLA3	3	483.00	0.236842	6.180017	-1.3082586
FALLA4	4	508.00	0.324561	6.230481	-0.93549132
FALLA5	5	598.00	0.412281	6.393591	-0.63204111
FALLA6	6	604.00	0.500000	6.403574	-0.36651292
FALLA7	7	781.50	0.587719	6.661215	-0.12098094
FALLA8	8	805.00	0.675439	6.690842	0.11803237
FALLA9	9	806.00	0.763158	6.692084	0.36489418
FALLA10	10	807.50	0.850877	6.693943	0.64342376
FALLA11	11	815.00	0.938596	6.703188	1.02614492

Figura 4.8 Ajuste de Weibull del impulsor

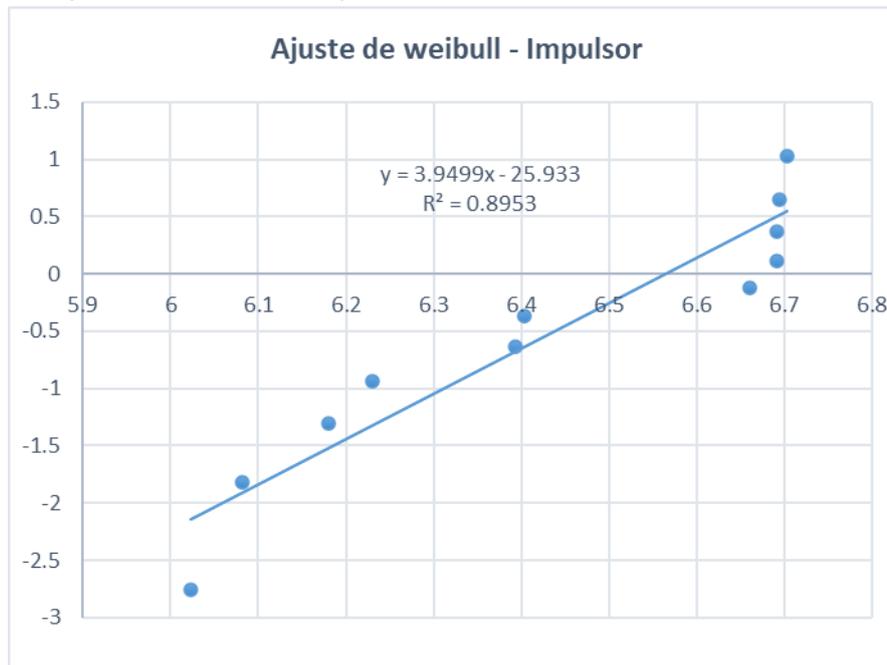


Tabla 4.13 Parámetros de Weibull para el impulsor

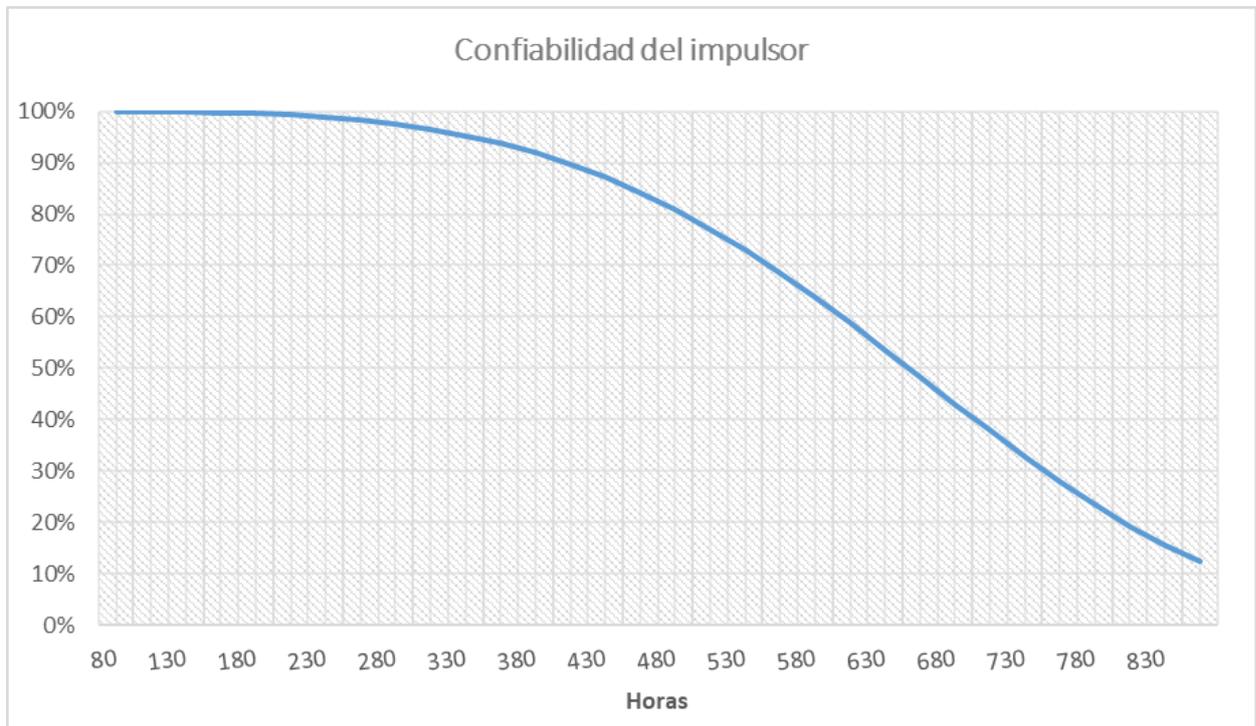
β	3.950
k	25.933
n	710.155

Tabla 4.14 Datos de confiabilidad del impulsor

t	R(t) - Impulsor
80	0.9998
105	0.9995
130	0.9988
155	0.9976
180	0.9956
205	0.9926
230	0.9884
255	0.9827
280	0.9750
305	0.9651
330	0.9527
355	0.9374
380	0.9189
405	0.8969

430	0.8712
455	0.8417
480	0.8083
505	0.7710
530	0.7299
555	0.6854
580	0.6380
605	0.5880
630	0.5363
655	0.4835
680	0.4306
705	0.3785
730	0.3279
755	0.2798
780	0.2349
805	0.1938
830	0.1570
855	0.1247

Figura 4.9 Confiabilidad del impulsor



Desgaste de elementos de estanqueidad de cilindro portarodamientos

De la misma manera, se realizó el análisis de confiabilidad mediante la distribución de Weibull al siguiente repuesto: Cilindro portarodamientos.

Tabla 4.15 Datos para el análisis de Weibull fallas evidenciadas en el cilindro portarodamientos

Cilindro Portarodamientos					
ITEM	i	HORAS (t)	RM	X(LNt)	y(LN(-LNR))
FALLA1	1	369.50	0.045455	5.912151	-3.06787262
FALLA2	2	382.00	0.110390	5.945421	-2.14582345
FALLA3	3	438.00	0.175325	6.082219	-1.64628077
FALLA4	4	469.50	0.240260	6.151668	-1.29178935
FALLA5	5	483.00	0.305195	6.180017	-1.01026145
FALLA6	6	508.00	0.370130	6.230481	-0.77166753
FALLA7	7	575.50	0.435065	6.355239	-0.56028817
FALLA8	8	591.50	0.500000	6.382662	-0.36651292
FALLA9	9	609.50	0.564935	6.412639	-0.18361041
FALLA10	10	611.50	0.629870	6.415915	-0.00611734
FALLA11	11	612.00	0.694805	6.416732	0.17126482
FALLA12	12	657.00	0.759740	6.487684	0.35489765
FALLA13	13	675.50	0.824675	6.515453	0.55452614
FALLA14	14	676.00	0.889610	6.516193	0.79015558
FALLA15	15	678.00	0.954545	6.519147	1.12850840

Figura 4.10 Ajuste de Weibull del cilindro portarodamientos

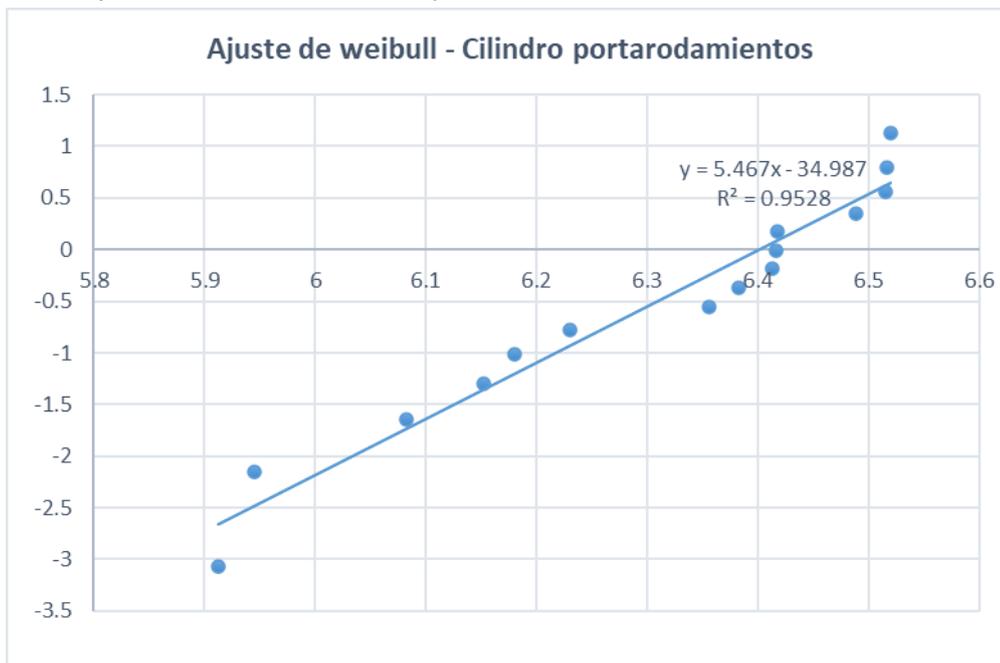


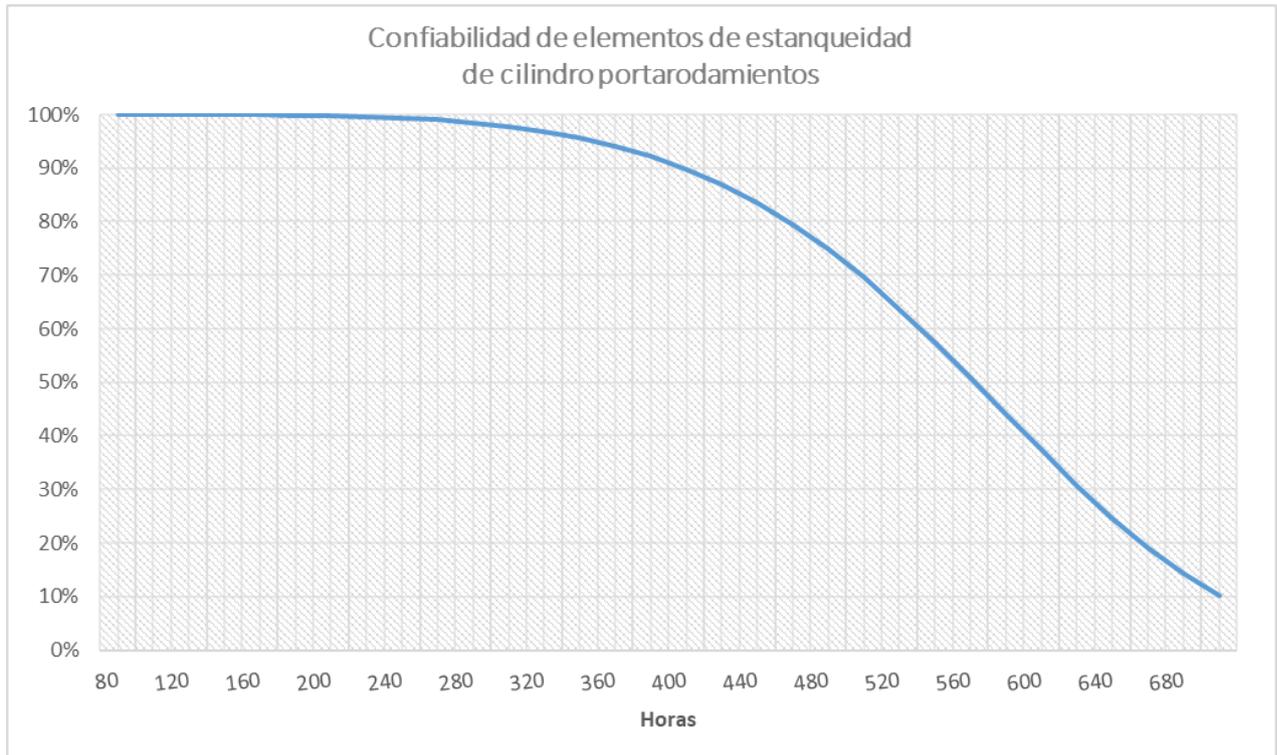
Tabla 4.16 Parámetros de Weibull para el cilindro portarodamientos

β	5.467
k	34.987
n	601.647

Tabla 4.17 Datos de confiabilidad del cilindro portarodamientos

t	R(t) - CPR
80	0.99998
100	0.99995
120	0.99985
140	0.99965
160	0.99928
180	0.99864
200	0.99758
220	0.99592
240	0.99345
260	0.98987
280	0.98484
300	0.97797
320	0.96880
340	0.95681
360	0.94144
380	0.92210
400	0.89821
420	0.86921
440	0.83464
460	0.79415
480	0.74762
500	0.69518
520	0.63729
540	0.57477
560	0.50886
580	0.44111
600	0.37339
620	0.30773
640	0.24612
660	0.19037
680	0.14187
700	0.10145

Figura 4.11 Confiabilidad del cilindro portarrodamientos



4.6.6 Diseño del Programa de Mantenimiento centrado en confiabilidad

Para la realización de las tareas de mantenimiento teniendo como base la Hoja de Decisión del RCM se tiene, en primer lugar, establecer las frecuencias de la aplicación de las tareas, establecidas como frecuencias A, B y C. Tal como se aprecia en las Figuras 4.24; 4.25 y 4.26.

Los tiempos para las frecuencias son establecidas por el análisis de confiabilidad de Weibull para los modos de falla agudas y crónicas. tomando el tiempo de inspección a 300 horas y una frecuencia de cambio a 600 horas con una confiabilidad aceptable de 60%, para los modos de falla de las partes húmedas de la bomba.

De igual manera para el cilindro portarrodamientos se consideró una intervención de inspección a sus componentes a 300 horas y con la finalidad de optimizar los tiempos de intervención, se decidió por parte de planeamiento, aplicar conjuntamente una frecuencia de cambio a las 600 horas. Tal como se puede apreciar en las Figuras 4.12 y 4.13.

Figura 4.12 Confiabilidad de repuestos de componentes húmedos de la bomba

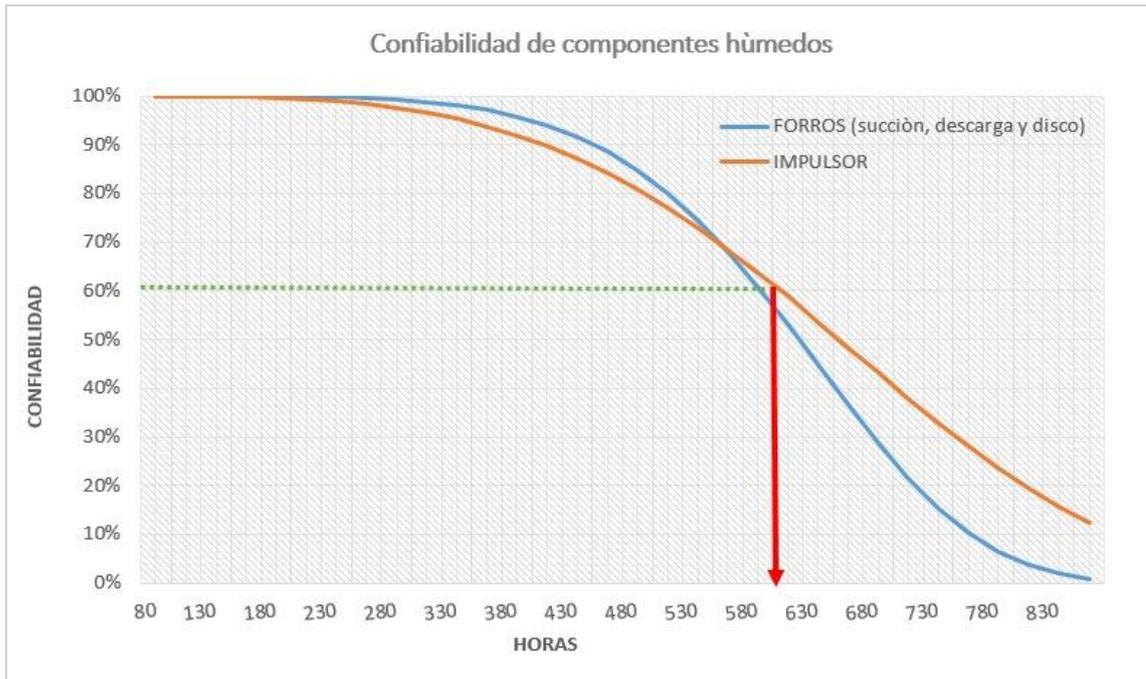
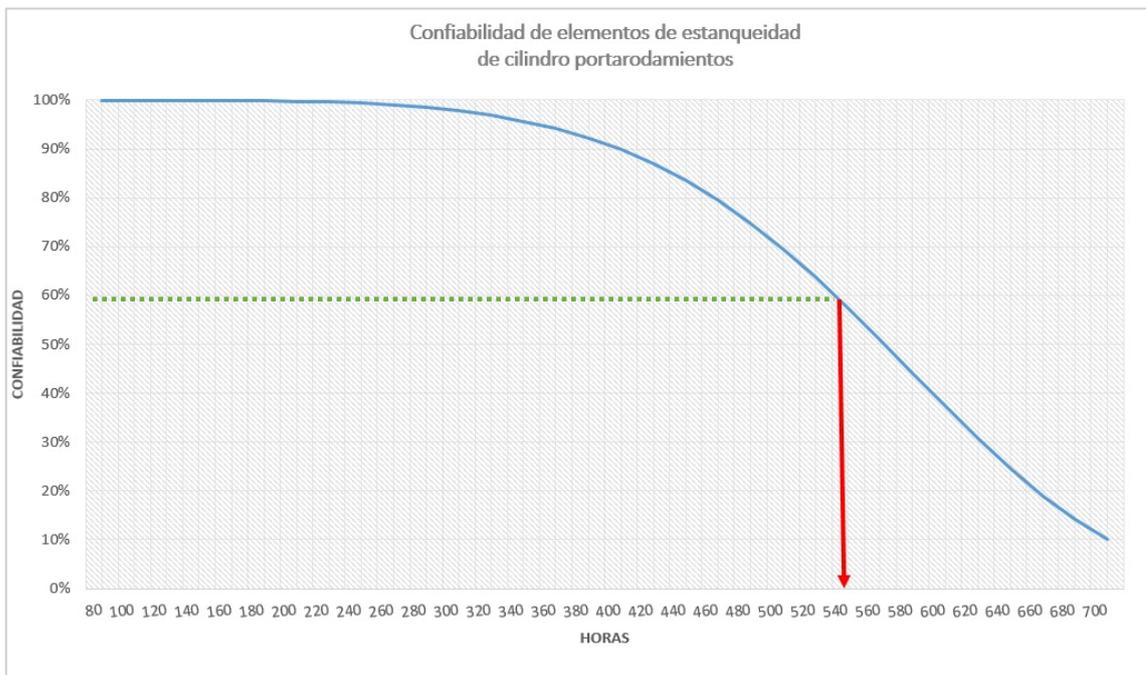


Figura 4.13 Confiabilidad de elementos de estanqueidad de cilindro portarodamientos



En las Figuras 4.14 y 4.15, corresponden a la inspección programada a 300 horas de funcionamiento, en la que se resanaba el desgaste producido en los forros e impulsores, con un compuesto anti-abrasivo (LOCTITE WEARING COMPOUND), en caso requiera, si se presentaba algún desgaste prematuro de los elementos húmedos.

Figura 4.14 Inspección de bomba a las 300 Horas de funcionamiento



Figura 4.15 Inspección de bomba a las 300 Horas de funcionamiento



En las Figuras 4.16 y 4.17, se aprecia el desgaste del forro lado descarga correspondiente a horas de trabajo alrededor de las 600 horas. Se coordina el cambio de la línea de bombeo con el área de operaciones para la intervención a las bombas.

Figura 4.16 Mantenimiento programado de bomba a las 600 Horas de funcionamiento



Figura 4.17 Elementos húmedos desgastados



Las Figuras 4.18 y 4.19, corresponden al mantenimiento programado a las 600 horas de funcionamiento a las 06 bombas de la línea de bombeo correspondiente. En este, se realizaba el cambio de forros lado prensa y lado succión, disco succión e impulsor según el estado. Además, según las condiciones se procede a cambiar pernos, espárragos, tuercas, arandelas, etc.

Figura 4.18 Mantenimiento programado de bomba a las 600 Horas de funcionamiento



Figura 4.19 Instalación de espárragos para cambio de forros



En la Figura 4.20, corresponde a inspección de cilindro portarodamiento y sistema de transmisión entre poleas. También se extrae muestra de aceite para el análisis del mismo.

Figura 4.20 Inspección de cilindro portarodamiento y sistema transmisión por poleas



En las Figuras 4.21 y 4.22, se muestra el armado de cilindro portarodamiento para stand by.

Figura 4.21 Armado de cilindro portarodamiento, para stand by



Figura 4.22 Mantenimiento de cilindro portarodamiento



En la Figura 4.23, se aprecia el desmontaje de correas de transmisión y el desmontaje de poleas para el cambio de cilindro portarodamiento.

Figura 4.23 Desmontaje de poleas para cambio de cilindro portarodamiento



Figura 4.24 Cartilla de mantenimiento preventivo – Tareas Tipo A

FORMULARIO		
CARTILLA MANTENIMIENTO PREVENTIVO		
BOMBA CENTRIFUGA HORIZONTAL DE PULPA - WARMAN 6"x4"		
EMPRESA EJECUTORA:		
EQUIPO:		
UBICACIÓN:		
FECHA / HORA		
INICIO :/.....		
FINAL :/.....		
HOROMETRO:		
TAREAS TIPO "A" (300 HR)		
N°	Descripción	Observaciones
GENERAL		
1	Limpieza general por completo el equipo	
2	Engrase general del equipo	
3	Inspeccionar y ajustar pernos-tuercas de sujeción/anclaje	
4	Eliminar fugas de: pulpa, agua, aceite, grasas y otros	
5	Inspeccionar y ajustar conexiones en general	
6	Comprobar funcionamiento de manómetros	
BOMBA Y CILINDRO PORTARODAMIENTO		
7	Inspeccionar desgaste de forro lado prensaestopas	
8	Inspeccionar desgaste de forro lado succión	
9	Inspeccionar desgaste del impulsor	
10	Verificar ajuste de caja prensaestopa (Tornillos del cuello con apriete normal)	
11	Verificar ajuste de prensaestopas	
12	Verificar presión del sistema de sellado por agua	
13	Verificar caudal del sistema de sellado por agua	
14	Inspección y limpieza del sistema de sellado por agua	
15	Inspeccionar desgaste de empaquetaduras (Cambiar si es necesario)	
16	Inspeccionar estado de rodamientos por vibraciones	
17	Inspeccionar estado de rodamientos por sobrecalentamiento	
18	Inspeccionar estado de rodamientos por ruidos extraños	
19	Comprobar luz entre impulsor y el forro lado succión	
20	Comprobar giro libre a mano desde el impulsor	
21	Comprobar el correcto sentido de rotación del impulsor	
TRANSMISIÓN		
22	Aplicar cartilla de mantenimiento preventivo de motores eléctricos	

23	Inspeccionar y fijar las guardas de transmisión	
24	Inspeccionar desgaste en ejes y poleas de transmisión	
25	Verificar tensión de fajas de transmisión	
26	Verificar alineación de los acoplamientos (Paralela - angular)	
27	Inspeccionar y lubricar cojinetes y chumaceras	
SISTEMA SUCCIÓN		
28	Inspeccionar estado y soldadura de tuberías	
29	Inspeccionar la hermeticidad en la succión	
30	Inspeccionar estado del cajón y tubería de alimentación	
SISTEMA DESCARGA		
31	Inspeccionar estado y soldadura de tuberías	

Figura 4.25 Cartilla de mantenimiento preventivo – Tareas Tipo B

FORMULARIO		
CARTILLA MANTENIMIENTO PREVENTIVO		
BOMBA CENTRIFUGA HORIZONTAL DE PULPA - WARMAN 6"x4"		
EMPRESA EJECUTORA:		
EQUIPO:		
UBICACIÓN:		
FECHA / HORA		
INICIO :/.....		
FINAL :/.....		
HOROMETRO:		
TAREAS TIPO "B" (600 HR)		
N°	Descripción	Observaciones
GENERAL		
1	Limpeza general por completo el equipo	
2	Engrase general del equipo	
3	Inspeccionar y ajustar pernos-tuercas de sujeción/anclaje	
4	Eliminar fugas de: pulpa, agua, aceite, grasas y otros	
5	Inspeccionar y ajustar conexiones en general	
6	Comprobar funcionamiento de manómetros	
BOMBA Y CILINDRO PORTARODAMIENTO		
7	Inspeccionar nivel de aceite (Rellenar si es necesario)	
8	Inspeccionar desgaste de forro lado prensaestopas (Cambiar si es necesario)	
9	Inspeccionar desgaste de forro lado succión (Cambiar si es necesario)	

10	Inspeccionar desgaste del impulsor (Cambiar si es necesario)	
11	Verificar ajuste de caja prensaestopa (Tornillos del cuello con apriete normal)	
12	Verificar ajuste de prensaestopas	
13	Cambiar bocina de prensaestopas	
14	Verificar presión del sistema de sellado por agua	
15	Verificar caudal del sistema de sellado por agua	
16	Inspección y limpieza del sistema de sellado por agua	
17	Inspeccionar desgaste de empaquetaduras (Cambiar si es necesario)	
18	Inspeccionar estado de retenes V´ring (Desgaste - deformación)	
19	Inspeccionar estado de anillos O´ring (Desgaste - deformación)	
20	Inspeccionar estado de sellos y juntas (Desgaste - deformación)	
21	Inspeccionar estado de rodamientos por vibraciones	
22	Inspeccionar estado de rodamientos por sobrecalentamiento	
23	Inspeccionar estado de rodamientos por ruidos extraños	
24	Comprobar luz entre impulsor y el forro lado succión	
25	Comprobar giro libre a mano desde el impulsor	
26	Comprobar el correcto sentido de rotación del impulsor	
27	Verificar presión y flujo de la bomba (Eficiencia)	
TRANSMISIÓN		
28	Aplicar cartilla de mantenimiento preventivo de motores eléctricos	
29	Inspeccionar y fijar las guardas de transmisión	
30	Inspeccionar desgaste en ejes y poleas de transmisión	
31	Verificar tensión de fajas de transmisión (cambiar si es necesario)	
32	Verificar alineación de los acoplamientos (Paralela - angular)	
SISTEMA SUCCIÓN		
33	Inspeccionar estado y soldadura de tuberías	
34	Inspeccionar la hermeticidad en la succión	
35	Inspeccionar estado del cajón y tubería de alimentación	
SISTEMA DESCARGA		
36	Inspeccionar estado y soldadura de tuberías	

Figura 4.26 Cartilla de mantenimiento preventivo – Tareas Tipo C

FORMULARIO			
CARTILLA MANTENIMIENTO PREVENTIVO			
BOMBA CENTRIFUGA HORIZONTAL DE PULPA - WARMAN 6"x4"			
EMPRESA EJECUTORA:			
EQUIPO:			
UBICACIÓN:			
FECHA / HORA			
INICIO :/.....			
FINAL :/.....			
HOROMETRO:			
TAREAS TIPO "C" (1200 HR)			
N°	✓	Descripción	Observaciones
GENERAL			
1		Limpieza general por completo el equipo	
2		Engrase general del equipo	
3		Inspeccionar y ajustar pernos-tuercas de sujeción/anclaje	
4		Eliminar fugas de: pulpa, agua, aceite, grasas y otros	
5		Inspeccionar y ajustar conexiones en general	
6		Comprobar funcionamiento de manómetros	
7		Comprobar funcionamiento de válvulas manuales	
BOMBA Y CILINDRO PORTARODAMIENTO			
8		Inspeccionar nivel de aceite (Rellenar si es necesario)	
9		Cambiar aceite	
10		Inspeccionar desgaste de forro lado prensaestopas (Cambiar si es necesario)	
11		Inspeccionar desgaste de forro lado succión (Cambiar si es necesario)	
12		Inspeccionar desgaste del impulsor (Cambiar si es necesario)	
13		Verificar ajuste de caja prensaestopa (Tornillos del cuello con apriete normal)	
14		Verificar ajuste de prensaestopas	
15		Cambiar bocina de prensaestopas	
16		Verificar presión del sistema de sellado por agua	
17		Verificar caudal del sistema de sellado por agua	
18		Inspección y limpieza del sistema de sellado por agua	
19		Inspeccionar desgaste de empaquetaduras (Cambiar si es necesario)	
20		Inspeccionar estado de retenes V´ring (Desgaste - deformación)	
21		Inspeccionar estado de anillos O´ring (Desgaste - deformación)	
22		Inspeccionar estado de sellos y juntas (Desgaste - deformación)	
23		Inspeccionar estado de rodamientos por vibraciones	

24	Inspeccionar estado de rodamientos por sobrecalentamiento	
25	Inspeccionar estado de rodamientos por ruidos extraños	
26	Verificar ajuste de asiento de rodajes	
27	Verificar ajuste de caja de rodajes	
28	Cambiar retenes V´ring	
29	Cambiar anillos O´ring	
30	Cambiar sellos mecánicos	
31	Inspeccionar desgaste de la carcaza	
32	Comprobar luz entre impulsor y el forro lado succión	
33	Comprobar giro libre a mano desde el impulsor	
34	Comprobar el correcto sentido de rotación del impulsor	
35	Verificar presión y flujo de la bomba (Eficiencia)	
TRANSMISIÓN		
36	Aplicar cartilla de mantenimiento preventivo de motores eléctricos	
37	Inspeccionar y fijar las guardas de transmisión	
38	Inspeccionar desgaste en ejes y poleas de transmisión	
39	Verificar tensión de fajas de transmisión (cambiar si es necesario)	
40	Verificar alineación de los acoplamientos (Paralela - angular)	
41	Inspeccionar y lubricar cojinetes y chumaceras	
SISTEMA SUCCIÓN		
42	Inspeccionar estado y soldadura de tuberías	
43	Inspeccionar la hermeticidad en la succión (cambiar si es necesario)	
44	Inspeccionar estado del cajón y tubería de alimentación	
SISTEMA DESCARGA		
45	Inspeccionar estado y soldadura de tuberías	

4.6.7 Control de repuestos críticos

Según la información que se obtuvo de la experiencia del personal de mantenimiento, durante los últimos años de operación de la Unidad Minera por temas externos al mantenimiento, la calidad de los repuestos fue variando y por tal motivo los tiempos de cambio de repuestos húmedos no aseguraban una confiabilidad aceptable.

Según los datos de las tablas 4.9 y 4.12, se evidencia que la frecuencia de cambio de los forros e impulsores se encontraba comprendida entre 450 y 800 horas aproximadamente.

Para asegurar los recursos necesarios para el cumplimiento de las tareas del programa de mantenimiento centrado en confiabilidad en la Unidad Minera, se propuso y a la par se empleó un control de repuestos críticos.

Dichos repuestos fueron considerados del análisis de Jack Knife, tomando los tiempos de frecuencia de cambio según el cálculo del análisis de

distribución de Weibull y también se empleó conjuntamente el manual de partes de la bomba centrífuga horizontal Warman 6"x4" AH. Todo ello con el objetivo de realizar un seguimiento y control de los repuestos críticos de la bomba y cilindro portarodamientos.

Para realizar el seguimiento de los repuestos, la Unidad Minera cuenta con la designación de los repuestos en el sistema SAP PM en tres tipos de materiales:

- **Materiales VB:** Esta categoría corresponde a materiales de alta rotación, materiales de bajo costo y a la vez que sean críticos. Estos materiales son de reposición automática es decir el departamento de logística debe generar automáticamente una SOLPED para dicho material.
- **Materiales ZD:** Materiales de alta rotación al igual que los de clase VB, pero cuyos costos son mayores y necesita la generación de una orden de mantenimiento. Mayormente corresponde a mantenimientos correctivos programados.
- **Materiales ND:** Materiales de baja rotación y de altos costos, mayormente son componentes mayores. Para este tipo de materiales se debe pasar por liberaciones y que se verifique la viabilidad de la compra.

A continuación, en la Tabla 4.18, se presenta el listado de los repuestos críticos y su seguimiento para asegurar el cumplimiento de las tareas asignadas en el programa de mantenimiento centrado en confiabilidad.

Tabla 4.18 Seguimiento de repuestos críticos de la bomba centrífuga horizontal Warman 6"x4" AH

Item	EQUIPO	SAP CODE	N° PARTE	FRE C. DIAS	NECESIDAD CANT. MIN	UN D	Ca P	DESCRIPCION	STOCK ALM. VB / ZD	REALIZAR REQUERIMIENTO	FECHA MINA	CANT OC	OC	LIB	CANT SOLPE D	SOLPED	LIB
1	BOMBA HORIZONTAL WARMAN 6"X4"	9022946	E4036R33	25	18	UN	ZD	REVESTIMIENTO PRENSA BBW 6X4	9			9	4500258434	SI	12	10599203	NO
2	BOMBA HORIZONTAL WARMAN 6"X4"	9022324	E4018R33	25	18	UN	ZD	REVESTIMIENTO SUCCION BBW G-228SW 6X4	0			9	4500258434	SI	12	10598725	NO
3	BOMBA HORIZONTAL WARMAN 6"X4"	9024438	E4083R33	25	18	UN	ZD	DISCO SUCCION BBW G-228SW 6X4	3			9	4500258434	SI	12	10599402	NO
4	BOMBA HORIZONTAL WARMAN 6"X4"	9028351	#N/A	25	18	UN	ZD	ROTOR BBW 6X4	3			12	4500258434	SI	12	10599203	NO
5	BOMBA HORIZONTAL WARMAN 6"X4"	9010908	90744	60	8	UN	VB	RODAMIENTO RODILLOS CONICOS COPA	8								
6	BOMBA HORIZONTAL WARMAN 6"X4"	9010909	90381	60	8	UN	VB	RODAMIENTO RODILLOS CONICOS CONO	11								
7	BOMBA HORIZONTAL WARMAN 6"X4"	9028003	UN 2318EC	60	8	UN	VB	RODAMIENTO DE RODILLOS CILIN. NU 2318	10								
8	BOMBA HORIZONTAL WARMAN 6"X4"	9022342	EE076C23	60	12	UN	VB	BOCINA DE EJE BBW 6X4	3	9							
9	BOMBA HORIZONTAL WARMAN 6"X4"	9031211	CR-47254	60	24	UN	VB	RETEN DOBLE LABIO 120 X 150 X 12	18	6							
10	BOMBA HORIZONTAL WARMAN 6"X4"	1007792	#N/A	60	24	UN	VB	RETEN P/ACEITE (110X150X15)mm	18	6							
11	BOMBA HORIZONTAL WARMAN 6"X4"	1007794	#N/A	60	24	UN	VB	V'RING VA-130	18	6							

Fuente: Área de Planeamiento Mantenimiento de la Unidad Minera

4.7 Aspectos éticos en investigación

- Los datos empleados para la realización del presente trabajo de investigación son verdaderos.
- La presente investigación no pretende indicar al RCM como la única o mejor metodología en mantenimiento, puesto que cada método es importante.

V. RESULTADOS

5.1 Resultados descriptivos

5.1.1 Fallas mecánicas críticas

Se revisó los mantenimientos correctivos, preventivos e inspecciones de las bombas centrífugas horizontal Warman 6"X4" AH; analizando los diferentes modos de falla que estas presentan, identificando doce (12) modos de falla, tal como se pudo apreciar en la Tabla 4.8. Posterior a ello aplicando el diagrama de dispersión del tiempo, se identificaron dos (02) fallas mecánicas consideradas como críticas, las cuales generan mayor indisponibilidad del equipo:

- Desgaste de partes húmedas de la bomba
- Desgaste de elementos de estanqueidad de cilindro portarodamientos

5.1.2 Tiempo de intervención óptimo de mantenimiento

Aplicando un análisis de dispersión de Weibull a las fallas críticas de la bomba centrífuga horizontal Warman 6"X4" AH y considerando una confiabilidad aceptable de 60%, se determinó los siguientes tiempos óptimos de mantenimiento asociado a estos modos de falla, los cuales son:

Tabla 5.1 Tiempo de intervención para el desgaste de partes húmedas de la bomba

DESGASTE DE PARTES HÚMEDAS DE LA BOMBA		
Repuesto	Inspección	Cambio
Forros	300 horas	600 horas
Impulsores	300 horas	600 horas

Tabla 5.2 Tiempo de intervención para el desgaste de elementos de estanqueidad de cilindro portarodamientos

DESGASTE DE ELEMENTOS DE ESTANQUEIDAD DE CILINDRO PORTARODAMIENTOS		
Repuesto	Inspección	Cambio dependiendo a condición
Retenes, oring, empaques y sellos	300 horas	600 horas

5.1.3 Disponibilidad de los trenes de Bombeo

Al aplicar el programa de mantenimiento durante 5 meses posteriores a los meses de evaluación, se logró evidenciar los siguientes valores de disponibilidad, comprendidos entre enero y mayo del 2021:

Tabla 5.3 Disponibilidad del Tren N°01 de bombeo (Durante la aplicación del RCM)

Mes	Horas Operativas	# Fallas	MTBF	TTR	MTTR	Disponibilidad
Ene-21	428.00	3	142.67	9.00	3.00	97.94%
Feb-21	270.50	0	270.50	0.00	0.00	100.00%
Mar-21	517.00	1	517.00	4.00	4.00	99.23%
Abr-21	273.00	1	273.00	4.00	4.00	98.56%
May-21	475.50	2	237.75	5.50	2.75	98.86%
PROMEDIO						98.92%

Figura 5.1 Histórico mensual de disponibilidad del Tren N°01 (Durante la aplicación del RCM)

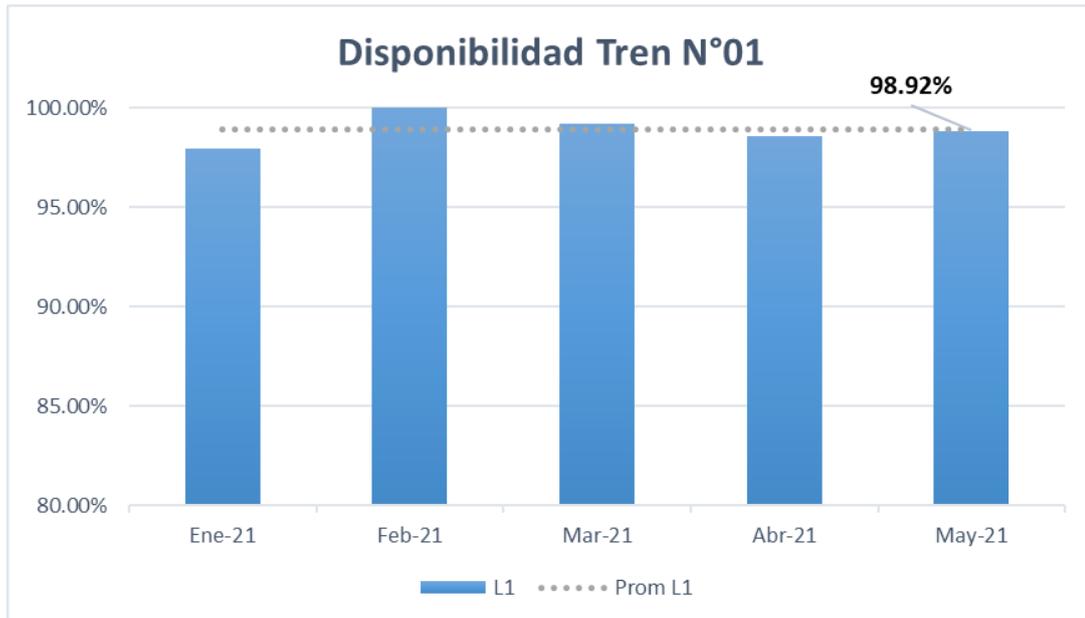
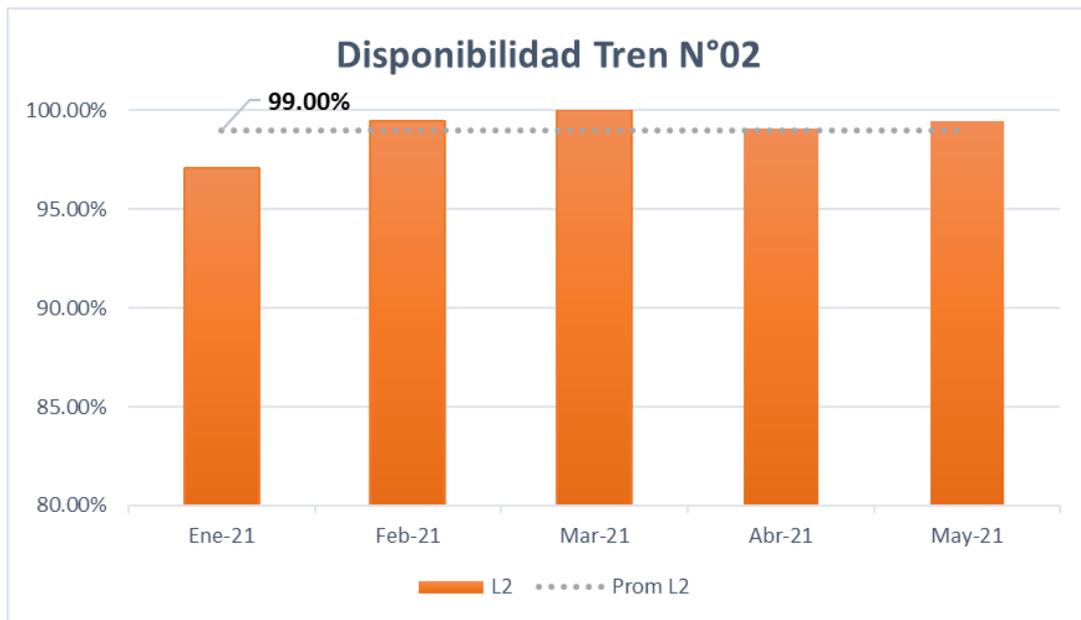


Tabla 5.4 Disponibilidad del Tren N°02 de bombeo (Durante la aplicación del RCM)

Mes	Horas Operativas	# Fallas	MTBF	TTR	MTTR	Disponibilidad
Ene-21	312.50	4	78.13	9.50	2.38	97.05%
Feb-21	379.00	1	379.00	2.00	2.00	99.48%
Mar-21	227.00	0	227.00	0.00	0.00	100.00%
Abr-21	424.50	1	424.50	4.00	4.00	99.07%
May-21	255.00	1	255.00	1.50	1.50	99.42%
PROMEDIO						99.00%

Figura 5.2 Histórico mensual de disponibilidad del Tren N°02 (Durante la aplicación del RCM)



Tal como se puede apreciar la disponibilidad en promedio posterior a la aplicación del programa de mantenimiento centrado en confiabilidad, tanto para el Tren de bombeo N°01 y N°02, es de 98.92% y 99% respectivamente.

5.2 Resultados inferenciales

Como resultados inferenciales, se realizó estos cálculos, para la validación de la hipótesis general, pues las hipótesis específicas fueron validadas de manera descriptiva en el capítulo 5.1.

5.2.1 Prueba de Normalidad

Como primer paso se realizó una prueba de normalidad para los valores de la disponibilidad del Tren de bombeo N°01 y N°02, tal como se puede apreciar en las Figuras 5.3 y 5.4

Teniendo en consideración lo siguiente:

- Nivel de significancia del 5%, $\alpha = 5\% = 0.05$
- Prueba de normalidad mediante Shapiro Wilk ($n < 30$)
- Regla de decisión:
 - Sig. $< \alpha$, los datos no presentan una distribución normal.
 - Sig. $> \alpha$, los datos presentan una distribución normal.

Figura 5.3 Prueba de normalidad de la disponibilidad del Tren N°01

Pruebas de normalidad							
PERIODO	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk			Sig.
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.	
DISPONIBILIDAD	Pre-RCM	,311	3	.	,897	3	,375
	Post-RCM	,323	5	,096	,814	5	,104

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Datos obtenidos del SPSS versión 27

Figura 5.4 Prueba de normalidad de la disponibilidad del Tren N°02

Pruebas de normalidad							
PERIODO	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk			Sig.
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.	
DISPONIBILIDAD	Pre-RCM	,321	3	.	,882	3	,332
	Post-RCM	,142	5	,200*	,995	5	,993

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.
a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Datos obtenidos del SPSS versión 27

Se evidenció que para ambos casos (Pre y Post) de ambos trenes de bombeo, el nivel de significancia (Sig.) es mayor a 0.05, según Shapiro-Wilk (pues nuestra muestra es menor a 30 valores), dando a entender que ambos indicadores presentan una distribución normal.

5.2.2 Contrastación de Hipótesis General

Luego de haber determinado la normalidad de los datos, posteriormente se elige el estadígrafo a usar, según la tabla 5.5:

Tabla 5.5 Estadígrafos

	Pre-RCM	Post-RCM	Conclusión	Estadígrafo
Sig. > 0.05	Sí	Sí	Paramétrico	T-Student
Sig. > 0.05	Sí	No	No Paramétrico	U de Mann-Whitney
Sig. > 0.05	No	Sí		
Sig. > 0.05	No	No		

Se evidencia que para ambos casos los datos sí son paramétricos, y la hipótesis se valida mediante el estadígrafo T-Student.

Teniendo en consideración lo siguiente:

- Nivel de significancia del 5%, $\alpha = 5\% = 0.05$
- Regla de decisión:
 Sig. $< \alpha$, se rechaza la Hipótesis Nula.
 Sig. $> \alpha$, se acepta la Hipótesis Nula.

H₀: Hipótesis Nula

H_i: Hipótesis del Investigador

H₀: “La implementación de un programa de mantenimiento centrado en confiabilidad no aumentará la disponibilidad de la bomba centrífuga horizontal Warman 6”X4” AH en la planta de espesamiento de relaves de una unidad minera en la provincia de Oyón – Lima”

H_i: “La implementación de un programa de mantenimiento centrado en confiabilidad aumentará la disponibilidad de la bomba centrífuga horizontal Warman 6”X4” AH en la planta de espesamiento de relaves de una unidad minera en la provincia de Oyón – Lima”

Por lo tanto, aplicando la prueba T-Student, se obtuvieron los siguientes valores:

Figura 5.5 Prueba T-Student a la muestra - disponibilidad del Tren N°01

Estadísticas de grupo					
	PERIODO	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
DISPONIBILIDAD	Pre-RCM	3	,961800	,0107722	,0062193
	Post-RCM	5	,990040	,0114172	,0051059

Prueba para una muestra						
Valor de prueba = 0						
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	.95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
DISPONIBILIDAD	154,561	7	<.001	,9794500	,964465	,994435

Fuente: Datos obtenidos del SPSS versión 27

Figura 5.6 Prueba T-Student a la muestra - disponibilidad del Tren N°02

Estadísticas de grupo					
	PERIODO	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
DISPONIBILIDAD	Pre-RCM	3	,949633	,0271982	,0157029
	Post-RCM	5	,989180	,0076748	,0034323

Prueba para una muestra						
Valor de prueba = 0						
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
DISPONIBILIDAD	106,955	7	<.001	,9743500	,952808	,995892

Fuente: Datos obtenidos del SPSS versión 27

Dado que el nivel de significancia (Sig.) es menor a 0.05, se rechaza la hipótesis nula, confirmando nuestra hipótesis general “La implementación de un programa de mantenimiento centrado en confiabilidad aumentará la disponibilidad de la bomba centrífuga horizontal Warman 6”X4” AH en la planta de espesamiento de relaves de una unidad minera en la provincia de Oyón – Lima”

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 Contrastación de hipótesis con los resultados

6.1.1 Contrastación de hipótesis general

En base a la hipótesis general de la investigación: La implementación de un programa de mantenimiento centrado en confiabilidad aumentará la disponibilidad de la bomba centrífuga horizontal Warman 6"X4" AH en la planta de espesamiento de relaves de una unidad minera en la provincia de Oyón – Lima. Se realizó un análisis de la disponibilidad que presentaban las dos líneas de bombeo de relave de la unidad minera entre octubre y diciembre de 2020, para luego mediante la aplicación de un programa de mantenimiento centrado en confiabilidad se pudo demostrar que en los meses posteriores la disponibilidad, de ambas líneas de bombeo, aumentó con respecto al promedio de meses de evaluación; tal como se puede apreciar en las Figura 6.1 y 6.2

Tabla 6.1 Disponibilidad del Tren N°01 de bombeo (Antes de aplicación del RCM)

Mes	Horas Operativas	# Fallas	MTBF	TTR	MTTR	Disponibilidad
Oct-20	352.00	5	70.40	14.50	2.90	96.04%
Nov-20	369.50	4	92.38	11.50	2.88	96.98%
Dic-20	288.00	6	48.00	25.50	4.25	91.87%
PROMEDIO						94.96%

Tabla 6.2 Disponibilidad del Tren N°01 de bombeo (Posterior a la aplicación del RCM)

Mes	Horas Operativas	# Fallas	MTBF	TTR	MTTR	Disponibilidad
Ene-21	428.00	3	142.67	9.00	3.00	97.94%
Feb-21	270.50	0	270.50	0.00	0.00	100.00%
Mar-21	517.00	1	517.00	4.00	4.00	99.23%
Abr-21	273.00	1	273.00	4.00	4.00	98.56%
May-21	475.50	2	237.75	5.50	2.75	98.86%
PROMEDIO						98.92%

Figura 6.1 Histórico mensual de disponibilidad del Tren de bombeo N°01

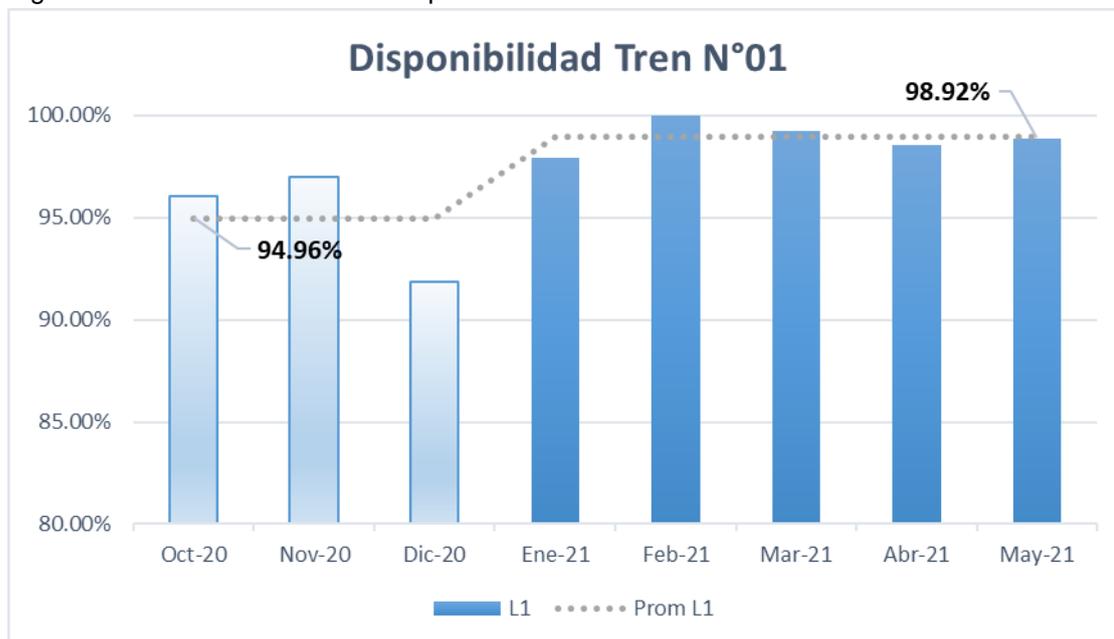


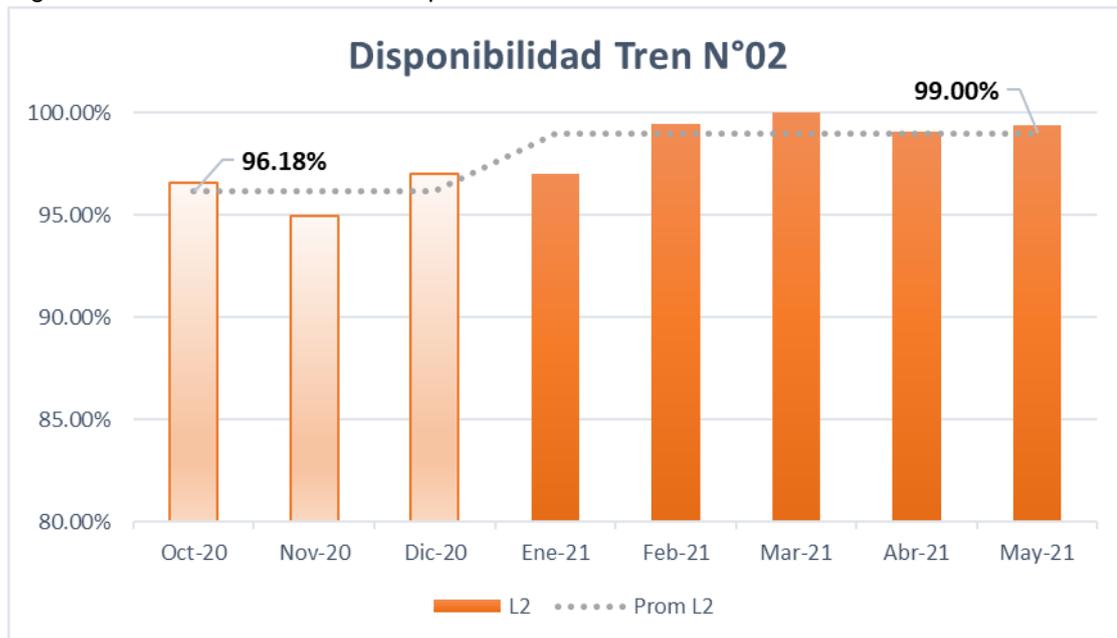
Tabla 6.3 Disponibilidad del Tren N°02 de bombeo (Antes de aplicación del RCM)

Mes	Horas Operativas	# Fallas	MTBF	TTR	MTTR	Disponibilidad
Oct-20	339.00	4	84.75	12.00	3.00	96.58%
Nov-20	301.50	5	60.30	16.00	3.20	94.96%
Dic-20	403.50	3	134.50	12.50	4.17	97.00%
PROMEDIO						96.18%

Tabla 6.4 Disponibilidad del Tren N°02 de bombeo (Posterior a la aplicación del RCM)

Mes	Horas Operativas	# Fallas	MTBF	TTR	MTTR	Disponibilidad
Ene-21	312.50	4	78.13	9.50	2.38	97.05%
Feb-21	379.00	1	379.00	2.00	2.00	99.48%
Mar-21	227.00	0	227.00	0.00	0.00	100.00%
Abr-21	424.50	1	424.50	4.00	4.00	99.07%
May-21	255.00	1	255.00	1.50	1.50	99.42%
PROMEDIO						99.00%

Figura 6.2 Histórico mensual de disponibilidad del Tren de bombeo N°02



Se pudo apreciar un aumento de la disponibilidad en promedio tanto para el tren N°01 de bombeo y el tren N°02 de 3.96% y 2.82% respectivamente.

6.1.2 Contrastación de hipótesis específicas

a) El análisis de las fallas mecánicas críticas aumentará la disponibilidad de la bomba centrífuga horizontal Warman 6"X4" AH en la planta de espesamiento de relaves de una unidad minera en la provincia de Oyón – Lima. Este análisis se pudo lograr mediante la aplicación de un diagrama de dispersión, en el cual se pudo evidenciar los diferentes modos de falla de la bomba centrífuga horizontal Warman 6"X4" AH, identificándose dos (02) fallas mecánicas consideradas como críticas, las cuales generaban mayor indisponibilidad del equipo:

- Desgaste de partes húmedas de la bomba
- Desgaste de elementos de estanqueidad de cilindro portarodamientos

Dando un mayor enfoque a estos dos (02) modos de falla en nuestro programa de mantenimiento centrado en confiabilidad, se pudo lograr un aumento en la disponibilidad de la bomba centrífuga horizontal Warman 6"X4" AH de la planta de espesamiento de relaves de una

unidad minera en la provincia de Oyón – Lima, validando nuestra hipótesis.

- b) La determinación de un tiempo de intervención óptimo de mantenimiento aumentará la disponibilidad de la bomba centrífuga horizontal Warman 6"X4" AH en la planta de espesamiento de relaves de una unidad minera en la provincia de Oyón – Lima. La determinación del tiempo de intervención óptimo de mantenimiento, se pudo lograr mediante la aplicación de un análisis de distribución de Weibull, considerando una confiabilidad aceptable de 60%:

Tabla 6.5 Tiempo de intervención para el desgaste de partes húmedas de la bomba

DESGASTE DE PARTES HÚMEDAS DE LA BOMBA		
Repuesto	Inspección	Cambio
Forros	300 horas	600 horas
Impulsores	300 horas	600 horas

Tabla 6.6 Tiempo de intervención para el desgaste de elementos de estanqueidad de cilindro portarodamientos

DESGASTE DE ELEMENTOS DE ESTANQUEIDAD DE CILINDRO PORTARODAMIENTOS		
Repuesto	Inspección	Cambio dependiendo a condición
Retenes, oring, empaques y sellos	300 horas	600 horas

Aplicando estos tiempos de intervención óptimo de mantenimiento en nuestro programa de mantenimiento centrado en confiabilidad, se pudo lograr un aumento en la disponibilidad de la bomba centrífuga horizontal Warman 6"X4" AH de la planta de espesamiento de relaves de una unidad minera en la provincia de Oyón – Lima, validando nuestra hipótesis.

6.2 Contrastación de los resultados con otros estudios similares

Con la implementación del programa de mantenimiento centrado en la confiabilidad, se logró aumentar la disponibilidad en promedio tanto para el tren N°01 de bombeo y el tren N°02 de 3.96% y 2.82% respectivamente, con respecto al promedio de la disponibilidad obtenida en los meses de evaluación.

Según los antecedentes mencionados, en el presente trabajo de investigación, con la aplicación de la metodología del RCM, la disponibilidad de los equipos de operación mejora considerablemente, siendo esta metodología bastante aceptable en su aplicación.

Tal es el caso del aumento de disponibilidad obtenido por Salazar Franco (2018), mencionado en los antecedentes del presente trabajo, quien logró un aumento de 5.4% de disponibilidad de la Bomba Geho TZPM 400.

Finalmente se pudo evidenciar que centrándose en las fallas críticas se optimizan los tiempos de intervención y de esta manera lograr aumentar la disponibilidad del activo, lo cual concluyó Santillan Armas (2017), mencionado en los antecedentes del presente trabajo.

6.3 Responsabilidad ética

En esta investigación se respetaron los derechos de los autores citados, referenciándolos en la bibliografía, basándonos en la norma ISO-690 sugerida por el Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía; asimismo se respetó el esquema de desarrollo propuesto por el mismo Instituto de Investigación, desarrollando cada punto con la responsabilidad moral y la veracidad que amerita el presente informe de tesis.

A su vez, se realizó el programa de mantenimiento centrado en confiabilidad siguiendo los pasos establecidos en la metodología, la cual detalla los procedimientos para la correcta implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad.

VII. CONCLUSIONES

1. En base a los resultados obtenidos en esta investigación, se concluye que, con la implementación de un programa de mantenimiento centrado en confiabilidad para la bomba centrífuga horizontal Warman 6"X4" AH, se logró aumentar la disponibilidad en promedio tanto para el tren N°01 de bombeo y el tren N°02 de 3.96% y 2.82% respectivamente, con respecto al promedio de la disponibilidad obtenida en los meses de evaluación. Así mismo se evidenció una reducción del tiempo promedio de reparación tanto para el tren N°01 de 3.34 horas a 2.75 horas y para el tren N°02 de 3.46 horas a 1.98 horas, con respecto al promedio de los tiempos promedio de reparación obtenidos en los meses de evaluación. De igual forma se evidenció un aumento del tiempo promedio entre fallas tanto para el tren N°01 de 70.26 horas a 288.18 horas y para el tren N°02 de 93.18 horas a 272.73 horas, con respecto al promedio de los tiempos promedio entre fallas obtenidos en los meses de evaluación.
2. En base a los resultados del análisis de los modos de falla que presenta la bomba centrífuga horizontal Warman 6"X4" AH, se concluye que, se evidenciaron doce (12) diferentes modos de falla, de los cuales dos (02), mediante un diagrama de dispersión, fueron consideradas como fallas mecánicas críticas, las cuales son:
 - DESGASTE DE PARTES HÚMEDAS DE LA BOMBA
 - DESGASTE DE ELEMENTOS DE ESTANQUEIDAD DE CILINDRO PORTARODAMIENTOS

Dando un mayor enfoque a estos dos (02) modos de falla en el programa de mantenimiento centrado en confiabilidad, se pudo lograr un aumento en la disponibilidad de la bomba centrífuga horizontal Warman 6"X4" AH de la planta de espesamiento de relaves de una unidad minera en la provincia de Oyón – Lima.

3. En base a los resultados del análisis de confiabilidad, mediante la distribución de Weibull, se pudo determinar el tiempo óptimo de intervención de mantenimiento de 300 horas para inspección y de 600 horas para el cambio de repuestos, tanto para los repuestos del modo de falla DESGASTE DE PARTES HÚMEDAS DE LA BOMBA (forros e impulsor), como para el DESGASTE DE ELEMENTOS DE ESTANQUEIDAD DE CILINDRO PORTARODAMIENTOS (retenes, oring, empaques y sellos), considerando para este último, un cambio de repuestos dependiendo a condición.

Aplicando estos tiempos de intervención óptimo de mantenimiento en el programa de mantenimiento centrado en confiabilidad, se pudo lograr un aumento en la disponibilidad de la bomba centrífuga horizontal Warman 6"X4" AH de la planta de espesamiento de relaves de una unidad minera en la provincia de Oyón – Lima

VIII. RECOMENDACIONES

1. A fin de garantizar la calidad del proceso para la recolección de datos, se recomienda el compromiso de la empresa contratista de mantenimiento y operaciones de las bombas centrífugas horizontales Warman 6"X4" AH, en establecer una mejora continua en sus procedimientos para la toma de los siguientes datos: horas de operación, tiempo de reparación del equipo, número de fallas en un periodo de tiempo, ocurrencias del día a día y soluciones que se dieron en el caso de una falla.
2. En vista que, empleando el análisis de dispersión de datos de Jack Nife, se pudo conocer e identificar las fallas mecánicas críticas de la bomba centrífuga horizontal Warman 6"X4" AH, se recomienda aplicar este análisis de criticidad de fallas a los demás equipos que integran la planta, para poder centrar los recursos de gestión de mantenimiento, con el objetivo de eliminar o disminuir la frecuencia de fallas que estos pueden presentar.
3. Se conoce que en el mercado existen repuestos húmedos de bombas de diferentes granulometrías resistentes a la abrasión, y por tal motivo, se recomienda tener en consideración la selección de alguna alternativa adicional de repuestos, a los cuales se les debe aplicar el mismo análisis de distribución de Weibull y poder comparar la confiabilidad de estos, que servirá para la toma de decisión de la alternativa de mayor beneficio en la operatividad de la bomba centrífuga horizontal Warman 6"X4" AH. Sin descuidar el impacto económico que genera optar por cada diferente alternativa respecto a lo beneficioso en su uso.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARATA ANDREANI, A. y ARATA BOZZOLO, A., 2013. *Ingeniería de la Confiabilidad*. 01. Santiago, Chile: Ril editores. ISBN 978-956-284-967-8.
- BERNAL TORRES, C.A., 2010. *Metodología de la investigación - administración, economía, humanidades y ciencias sociales*. 03. Bogotá, Colombia: PEARSON EDUCACIÓN. ISBN 9789586991285.
- CASTILLO SANTILLÁN, Á.V., 2017. *Propuesta de mantenimiento centrado en confiabilidad de las unidades de bombeo horizontal multietapas del Sistema Power Oil de la Estación Atacapi del B57-LI de Petroamazonas EP* [en línea]. S.I.: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/6300>.
- CRUZ CASTILLA, H., 2018. *Evaluación y mejoramiento del sistema de bombeo de agua en la profundización de la mina Santa Teresa* [en línea]. S.I.: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO, FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS. Disponible en: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/12219>.
- CRUZADO VALLADARES, R.J., 2020. *Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) a bombas de carga en una refinería* [en línea]. S.I.: UNIVERSIDAD DE PIURA. Disponible en: <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/4479>.
- DOMÍNGUEZ VALENCIA, D.F., 2020. *Diseño y simulación de un sistema de succión y filtración de 8000 m³/día, para purificar el agua en la Comunidad de Tunshi en la provincia de Chimborazo* [en línea]. S.I.: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO, INGENIERÍA MECÁNICA. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18544>.
- ESPINOZA MONTES, C., 2014. *Metodología de investigación tecnológica Pensando en sistemas*. 02. Huancayo, Perú: s.n. ISBN 9786120016671.
- GARCÍA PALENCIA, O., 2006. *El Mantenimiento General* [en línea]. Boyacá, Colombia: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Disponible en: <https://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/1297>.
- JARA TIRAPAGUI, W., 1998. *Máquinas Hidráulicas*. Lima, Perú: Fondo Editorial INIFIM - UNI.
- KNEZEVIC, J., 1996. *Mantenimiento*. 01. Madrid, España: Isdefe. ISBN 8489338094.
- LOURIVAL AUGUSTO, T., 2000. *Administración Moderna de Mantenimiento*. 02. Brasil: Novo Polo Publicações-Brasil.
- MATAIX, C., 1986. *Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas*. 02. Madrid,

- España: Ediciones del castillo S.A. ISBN 84-219-0175-3.
- MERLIN BEDOYA, P.R., 2020. *Diseño de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) en una empresa camaronera del cantón Durán* [en línea]. S.I.: UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL, FACULTAD DE INGENIERIA INDUSTRIAL. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/51273>.
- MIRANDA VIGO, M., 2021. Programa Integral: Planner de Mantenimiento. *TECSUP*, no. 1: Estrategias de optimización del Mantenimiento, pp. 1-50.
- MOLINA OCHOA, L.F., 2017. Aproximación conceptual aplicada de programa informático RCM. . Medellín Colombia:
- MONTALVO ROJAS, A., 2017. *Mantenimiento centrado en confiabilidad para el control de fallas en motocompresores recíprocos* [en línea]. S.I.: UNIVERSIDAD VERACRUZANA, FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS, REGIÓN XALAPA. Disponible en: <https://cdigital.uv.mx/handle/1944/49419>.
- MORA GUTIÉRREZ, A., 2012. *Mantenimiento Industrial Efectivo*. 02. Medellín, Colombia: Coldi. ISBN 9789589890202.
- MOUBRAY, J., 2004. *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad*. 02. Lutterworth, Reino Unido: Aladon Ltd. ISBN 0953960323.
- ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE NORMALIZACIÓN ISO 55000, 2014. ISO 55000-Gestión de activos-Aspectos generales, principios y Terminología-. , vol. 01, no. NORMA INTERNACIONAL, pp. 1-22.
- PASCUAL J., R., 2005. *El arte de mantener*. 2.85. Santiago, Chile: Departamento de Ing. Mecánica, Universidad de Chile.
- REAÑO RAMOS, L.M., 2019. *Propuesta de mantenimiento centrado en confiabilidad en una empresa reprocesadora de subproductos de arroz para minimizar el número de averías* [en línea]. S.I.: UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL PERÚ, FACULTAD DE INGENIERÍA, CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL. Disponible en: <https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/2058>.
- RELIABILITYWEB.COM, 2022. Cálculo de los Parámetros de la Distribución de Weibull. *Ingeniería De Confiabilidad Para Mantenimiento* [en línea]. Disponible en: <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/calculo-de-los-parametros-de-la-distribucion-de-weibull>.
- SALAZAR FRANCO, C.U., 2018. *Implementación del RCM para mejorar la disponibilidad de la bomba GEHO TZPM 400 en unidad operativa Selene* [en línea]. S.I.: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ. Disponible en: <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/4847>.
- SANTILLAN ARMAS, C.P., 2017. *Programa de mantenimiento centrado en*

confiabilidad para bombas centrifugas horizontales warman 450 mcr en Minera Cerro Corona [en línea]. S.I.: UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO, FACULTAD DE INGENIERÍA, ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA. Disponible en: <https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/9291>.

WEIR, 2022. GLOBAL.WEIR. *Catálogo de productos* [en línea]. Disponible en: <https://www.global.weir/products/product-catalogue/warman-ah-pump/?lang=en>.

ZAMORA PARRA, B. y VIEDMA ROBLES, A., 2016. *Máquinas Hidráulicas Teoría y Problemas*. 01. Cartagena, España: CRAI Ediciones. ISBN 978-84-16325-19-1.

X. ANEXOS

Anexo N° 01

Matriz de consistencia: Programa de mantenimiento centrado en confiabilidad para aumentar la disponibilidad de la bomba centrífuga horizontal WARMAN 6"X4" AH de la planta de espesamiento de relaves de una unidad minera en la provincia de Oyón – Lima

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
<p>GENERAL:</p> <p>¿La implementación de un programa de mantenimiento centrado en confiabilidad aumentará la disponibilidad de la bomba centrífuga horizontal Warman 6"X4" AH en la planta de espesamiento de relaves de una unidad minera en la provincia de Oyón – Lima?</p> <p>ESPECÍFICOS:</p> <p>¿El análisis de las fallas mecánicas críticas aumentará la disponibilidad de la bomba centrífuga horizontal Warman 6"X4" AH en la planta de espesamiento de relaves de una unidad minera en la provincia de Oyón – Lima?</p> <p>¿La determinación de un tiempo de intervención óptimo de mantenimiento aumentará la disponibilidad de la bomba centrífuga horizontal Warman</p>	<p>GENERAL:</p> <p>Implementar un programa de mantenimiento centrado en confiabilidad para aumentar la disponibilidad de la bomba centrífuga horizontal Warman 6"X4" AH en la planta de espesamiento de relaves de una unidad minera en la provincia de Oyón – Lima.</p> <p>ESPECÍFICOS:</p> <p>Analizar las fallas mecánicas críticas para aumentar la disponibilidad de la bomba centrífuga horizontal Warman 6"X4" AH en la planta de espesamiento de relaves de una unidad minera en la provincia de Oyón – Lima.</p> <p>Determinar un tiempo de intervención óptimo de mantenimiento para aumentar la disponibilidad de la bomba centrífuga horizontal Warman</p>	<p>GENERAL:</p> <p>La implementación de un programa de mantenimiento centrado en confiabilidad aumentará la disponibilidad de la bomba centrífuga horizontal Warman 6"X4" AH en la planta de espesamiento de relaves de una unidad minera en la provincia de Oyón – Lima.</p> <p>ESPECÍFICOS:</p> <p>El análisis de las fallas mecánicas críticas aumentará la disponibilidad de la bomba centrífuga horizontal Warman 6"X4" AH en la planta de espesamiento de relaves de una unidad minera en la provincia de Oyón – Lima.</p> <p>La determinación de un tiempo de intervención óptimo de mantenimiento aumentará la disponibilidad de la bomba centrífuga horizontal Warman</p>	<p>Variable independiente</p> <p>Programa de mantenimiento centrado en confiabilidad</p> <p>Variable dependiente</p> <p>Disponibilidad de la bomba centrífuga horizontal Warman 6"X4" AH</p>	<p>Tipo de investigación</p> <p>Tecnológica</p> <p>Nivel de investigación</p> <p>Aplicada</p> <p>Enfoque</p> <p>Cuantitativo</p> <p>Método de investigación</p> <p>Pre - experimental</p> <p>Tipo de estudio</p> <p>Longitudinal</p> <p>Retrospectivo</p> <p>Población Y Muestra</p> <p>Sistema de bombeo de relaves de la planta de espesamiento de relaves de una unidad minera ubicada en la provincia</p>

<p>6"X4" AH en la planta de espesamiento de relaves de una unidad minera en la provincia de Oyón – Lima?</p>	<p>6"X4" AH en la planta de espesamiento de relaves de una unidad minera en la provincia de Oyón – Lima.</p>	<p>6"X4" AH en la planta de espesamiento de relaves de una unidad minera en la provincia de Oyón – Lima.</p>	<p>de Oyón – Lima, la cual cuenta con dos trenes de bombeo cada uno con 6 bombas centrífugas horizontales Warman 6"X4" AH distribuidas en serie.</p> <p>Técnicas e instrumentos para la recolección de la información</p> <p>Documental</p> <p>Según Espinoza Montes (2014, p.107), la técnica documental permite la recopilación de evidencias para demostrar las hipótesis de investigación. Está formada por documentos de diferente tipo: revistas, memorias, actas, registros, datos e información estadísticas y cualquier documento de instituciones y empresas que registran datos de su funcionamiento.</p> <p>Instrumentos</p> <p>Ficha de Reportes diarios de operación, programa MS Excel</p>
--	--	--	--

Anexo N° 02 Instrumentos de recolección de datos

Para llevar a cabo el programa de mantenimiento centrado en confiabilidad se utilizarán los siguientes formatos como instrumentos para la recolección y análisis de los datos del equipo.

Anexo N° 2.1 Análisis de criticidad de equipos

ANALISIS DE CRITICIDAD DE EQUIPOS UNIDAD MINERA															
ITEM	EQUIPO	AREA	PONDERACION											ESCALA REFERENCIA	
			1	2	3a	3b	3c	3d	4	5	6	7	8		TOTAL
1	CHANCADORA DE QUIJADAS C-106	Chancado Primario	4	3	1	1	0	0	2	2	2	1	1	17	CRITICO
3	MOLINO DE BARRAS 10 1/2'X14	Molienda	4	3	1	1	1	1	0	2	2	1	1	17	CRITICO
4	MOLINO DE BOLAS 9 1/2'X16'	Molienda	4	3	1	1	1	1	0	2	2	1	1	17	CRITICO
5	MOLINO DE BOLAS 8'X12'	Molienda	4	3	1	1	1	1	0	2	2	1	1	17	CRITICO
6	CHANCADORA CONICA HP-400	Chancado Secundario	4	3	1	1	0	0	0	2	2	1	1	15	CRITICO
8	ESPESADOR SUPLAFO OUTOKUMPU	Planta Relaves	4	3	1	0	1	1	0	2	1	1	1	15	CRITICO
10	MOLINO DE BARRAS 8'X12'	Molienda	2	3	1	1	1	1	0	1	2	1	1	14	IMPORTANTE
11	BOMBA HORIZONTAL ASH-200	Planta Relaves	4	2	1	0	1	1	2	0	1	1	0	13	IMPORTANTE
12	BOMBAS HORIZONTAL WARMAN 6"X4"	Planta Relaves	2	2	1	1	0	1	2	1	1	1	0	12	IMPORTANTE
13	ZARANDA VIBRATORIA TYCAN	Chancado Secundario	4	3	1	0	0	0	0	2	1	0	0	11	IMPORTANTE
14	BOMBA ASH-200 N°01	Molienda	4	2	1	0	1	1	0	0	1	1	0	11	IMPORTANTE
15	BOMBA ASH-150 N°01	Molienda	4	2	1	0	1	1	0	0	1	1	0	11	IMPORTANTE
16	BOMBA MILLMAX	Flotación Zn	4	1	0	0	1	1	2	0	1	1	0	11	IMPORTANTE

17	BOMBA DENVER SALA SPVC-4"	Flotación Zn	2	3	0	0	1	1	2	0	1	1	0	11	IMPORTANTE
18	BOMBA DENVER SALA SPVC-8"	Flotación Zn	2	3	0	0	1	1	2	0	1	1	0	11	IMPORTANTE
19	APROM FEEDER	Chancado Primario	4	2	0	0	0	0	0	2	1	0	1	10	IMPORTANTE
20	FAJA TRANSPORTADORA N°02	Chancado Secundario	4	1	0	0	0	1	0	2	1	1	0	10	IMPORTANTE
21	FAJA EXTRACTORA N°03	Molienda	4	2	0	0	0	0	0	2	1	1	0	10	IMPORTANTE
22	COMPRESORA GA 90	Molienda	4	2	0	1	1	0	0	0	1	1	0	10	IMPORTANTE
23	FAJA TRANSPORTADORA N° 0	Chancado Secundario	4	1	0	0	0	0	0	2	1	1	0	9	IMPORTANTE
24	FAJA TRANSPORTADORA N°01	Chancado Secundario	4	1	0	0	0	0	0	2	1	1	0	9	IMPORTANTE
25	FAJA TRANSPORTADORA N°03	Molienda	4	1	0	0	0	0	0	2	1	1	0	9	IMPORTANTE
26	HOLDING TANK N° 01 ISCAY	Espesador de Zn	0	3	1	0	0	1	0	1	1	1	1	9	IMPORTANTE
27	TANQUE ACONDICIONADOR N°01	Flotación Zn	2	2	1	0	0	0	0	1	1	1	0	8	IMPORTANTE
28	TANQUE ACONDICIONADOR N°02	Dosificación de cal	2	2	1	0	0	0	0	1	1	1	0	8	IMPORTANTE
29	TANQUE ACONDICIONADOR N°03	Dosificación de cal	2	2	1	0	0	0	0	1	1	1	0	8	IMPORTANTE
30	CELDA OK-16	Flotación Pb	2	3	1	0	0	0	0	0	1	1	0	8	IMPORTANTE
31	CELDA OK-50	Flotación Pb	2	3	1	0	0	0	0	0	1	1	0	8	IMPORTANTE
32	ROMPEBANCOS BTI	Chancado Primario	2	2	0	0	0	0	0	0	2	0	1	7	IMPORTANTE
33	FAJA EXTRACTORA N°01	Molienda	2	2	0	0	0	0	0	1	1	1	0	7	IMPORTANTE
34	FAJA EXTRACTORA N°02	Molienda	2	2	0	0	0	0	0	1	1	1	0	7	IMPORTANTE
36	MUESTREADOR METALÚRGICO	Planta Relaves	0	1	1	1	0	0	0	2	1	1	0	7	IMPORTANTE
37	SISTEMA HIDROCICLONES D15-B	Molienda	2	2	0	0	0	0	0	1	0	1	0	6	OPCIONAL
38	SISTEMA HIDROCICLONES G-10	Molienda	2	2	0	0	0	0	0	1	0	1	0	6	OPCIONAL
39	BOMBA HORIZONTAL DENVER 8"X6" N° 07	Planta Relaves	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	5	OPCIONAL
40	BOMBA SUMIDERO (COSTADO DE BOMBA ASH 200)	Planta Relaves	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	5	OPCIONAL
41	GRÚA PUENTE RELAVERA	Planta Relaves	0	1	0	1	1	0	0	2	0	0	0	5	OPCIONAL
42	BOMBA HORIZONTAL DENVER FIMA 3X3	Espesador de Zn	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	3	OPCIONAL
41	BOMBA CAT PUMP 1011	Planta Relaves	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	3	OPCIONAL

Anexo N° 2.2 Contenido mínimo establecido en las Fichas de Reportes diarios de Operación (Establecido por el área de Mantenimiento) – Instrumento Validado

1) DATOS GENERALES DE OPERACIÓN

- Fecha Operativa
- Turno Operativo
- Línea Operante
- Horas Operativas

2) DATOS DE INTERVENCIÓN (MANTENIMIENTO)

- Línea intervenida
- Equipo intervenido
- Tipo de Intervención
- Descripción de Intervención
- Hora de intervención
- Duración de Intervención

Anexo N° 2.3 Registros diarios de mantenimiento del equipo

DATOS							ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PROGRAMADO	DATOS REALES DE LA EJECUCION DE LA ACTIVIDAD			
ITEM	DISCIPLINA	ÁREA	EQUIPO	LIN EA	TIPO DE MANTTO	MODO FALLA	ACTIVIDAD A REALIZAR	REPORTE DE ACTIVIDADES EJECUTADAS CONCLUSIONES / OBSERVACIONES	DURACION (Horas)	STATU S	FECHA DE EJECUCION
1	MECANICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTAL WARMAN 6"X4" N° 06	L1	CORRECTIVO NO PROGRAMADO	DESGASTE DE RETENES DE CAJA PORTARODAMIENTOS	CAMBIO DE ORING Y RETENES	MANTENIMIENTO A CAJA PORTARODAMIENTOS	3.00	EJECUTADO	8/10/2020
2	MECANICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTAL WARMAN 6"X4" N° 01	L1	CORRECTIVO NO PROGRAMADO	DESGASTE DE PARTES HUMEDAS DE LA BOMBA	CAMBIO DE FORRO LADO SUCCION	SE CAMBIO FORRO LADO SUCCION Y EMPAQUETADURA	3.50	EJECUTADO	11/10/2020
3	MECANICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTAL WARMAN 6"X4" N° 05	L1	CORRECTIVO NO PROGRAMADO	DESGASTE DE PARTES HUMEDAS DE LA BOMBA	CAMBIO DE FORRO LADO SUCCION	SE CAMBIO FORRO LADO SUCCION Y EMPAQUETADURA MANTENIMIENTO DE CAJA PORTARODAMIENTOS, SE CAMBIO CAJA ARMADA	4.00	EJECUTADO	13/10/2020
4	MECANICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTAL WARMAN 6"X4" N° 08	L2	CORRECTIVO NO PROGRAMADO	DESGASTE DE PARTES HUMEDAS DE LA BOMBA	CAMBIO DE FORRO LADO SUCCION	SE CAMBIO FORRO LADO SUCCION Y EMPAQUETADURA	3.50	EJECUTADO	16/10/2020

5	MECANICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTAL WARMAN 6"X4" N° 09	L2	CORRECTIVO NO PROGRAMADO	DESGASTE DE PARTES HUMEDAS DE LA BOMBA	CAMBIO DE FORRO LADO SUCCION	SE CAMBIO FORRO LADO SUCCION Y EMPAQUETADURA	2.50	EJECUTADO	17/10/2020
6	MECANICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTAL WARMAN 6"X4" N° 09	L2	CORRECTIVO NO PROGRAMADO	BAJO PRESION DE AGUA	PRESENTA DERRAME DE CARGA POR LA PRENSA ESTOPA	CAMBIO DE BOCINA Y EMPAQUETADURA	2.00	EJECUTADO	17/10/2020
7	MECANICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTAL WARMAN 6"X4" N° 09	L2	CORRECTIVO NO PROGRAMADO	DESGASTE DE PARTES HUMEDAS DE LA BOMBA	PRESENTA FUGA DE CARGA POR LADO SUCCION	SE CAMBIO EMPAQUETADURA, ACONDICIONAMIENTO DE DISCO SUCCION Y FORRO SUCCION.	5.00	EJECUTADO	22/10/2020
8	ELECTRICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTAL WARMAN 6"X4" N° 06	L1	CORRECTIVO PROGRAMADO	DEFICIENCIA DE MOTOR ELECTRICO	DESMONTAJE DE MOTOR ELECTRICO DE 200 HP SE EXTRAERODAMIENTOS 6319 C3 (2 PIEZAS)	SE EXTRAERODAMIENTOS 6319 C3 (2 PIEZAS)	3.00	EJECUTADO	22/10/2020
9	ELECTRICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTAL WARMAN 6"X4" N° 06	L1	CORRECTIVO PROGRAMADO	DEFICIENCIA DE MOTOR ELECTRICO	INSPECCION Y LIMPIEZA DEL EQUIPO	LAVADO DEL ESTATOR, SECADO Y BARNIZADO DEL EQUIPO	4.00	EJECUTADO	23/10/2020
10	MECANICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTAL WARMAN 6"X4" N° 12	L2	PREVENTIVO	DESGASTE DE PARTES HUMEDAS DE LA BOMBA	INSPECCION Y MANTENIMIENTO DE EQUIPO	CAMBIO DE FORRO LADO GLAND, BOCINA RECUPERADA, DISCO SUCCION Y FORRO SUCCION	4.00	EJECUTADO	24/10/2020

11	MECANICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTALES WARMAN 6"X4" N° 11	L2	PREVENTIVO	DESGASTE DE PARTES HUMEDAS DE LA BOMBA	INSPECCION Y MANTENIMIENTO DE EQUIPO	CAMBIO DE IMPULSOR, FORRO LADO GLAND	4.00	EJECUTADO	24/10/2020
12	MECANICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTALES WARMAN 6"X4" N° 10	L2	PREVENTIVO	DESGASTE DE PARTES HUMEDAS DE LA BOMBA	INSPECCION Y MANTENIMIENTO DE EQUIPO	RESANADO DE FORRO SUCCION, CAMBIO DISCO SUCCION, FORRO DE DESCARGA.	4.00	EJECUTADO	24/10/2020
13	MECANICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTALES WARMAN 6"X4" N° 12	L2	PREVENTIVO	DESGASTE DE PARTES HUMEDAS DE LA BOMBA	INSPECCION Y MANTENIMIENTO DE EQUIPO	CAMBIO DE FORRO LADO GLAND, BOCINA RECUPERADA, DISCO SUCCION Y FORRO SUCCION	4.00	EJECUTADO	25/10/2020
14	MECANICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTALES WARMAN 6"X4" N° 07	L2	PREVENTIVO	DESGASTE DE PARTES HUMEDAS DE LA BOMBA	INSPECCION Y MANTENIMIENTO DE EQUIPO	CAMBIO DE FORRO LADO GLAND, BOCINA RECUPERADA, DISCO SUCCION Y FORRO SUCCION	4.00	EJECUTADO	26/10/2020
15	MECANICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTALES WARMAN 6"X4" N° 08	L2	PREVENTIVO	DESGASTE DE PARTES HUMEDAS DE LA BOMBA	INSPECCION Y MANTENIMIENTO DE EQUIPO	CAMBIO DE FORRO LADO GLAND, BOCINA RECUPERADA, DISCO SUCCION Y FORRO SUCCION	4.00	EJECUTADO	26/10/2020
16	MECANICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTALES WARMAN 6"X4" N° 05	L1	CORRECTIVO NO PROGRAMADO	AJUSTES EN LA PRENSA ESTOPA	DERRAME DE CARAGA POR LA PRENSA STOPA	REGULACION DE PERNOS Y AJUSTE PERNOS PARA EL ALINEAMIENTO.	1.00	EJECUTADO	26/10/2020

17	MECANICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTAL WARMAN 6"X4" N° 12	L2	PREVENTIVO	DESGASTE DE PARTES HUMEDAS DE LA BOMBA	IMPULSOR EN MAL ESTADO Y PRESENTA DESALINEAMIENTO EL EQUIPO	CAMBIO DE IMPULSOR Y ALINEAMIENTO DE POLEA.	4.00	EJECUTADO	29/10/2020
18	MECANICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTAL WARMAN 6"X4" N° 01	L1	CORRECTIVO PROGRAMADO	DESGASTE DE RETENES DE CAJA PORTARODAMIENTOS	DERRAME DE ACEITE DE CAJA PORTA RODAJE	CAMBIO DE ACEITE A LA CAJA PORTA RODAJE	10.00	EJECUTADO	31/10/2020
19	INSTRUMENTACION	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTAL WARMAN 6"X4" N° 05	L1	PREVENTIVO	INSPECCION RUTINARIA	REALIZAR PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	SE REALIZO PRUEBAS DEL MOTOR, VERIFICACION Y HABILITADO DEL TREN 1	1.00	EJECUTADO	31/10/2020
20	MECANICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTAL WARMAN 6"X4" N° 03	L1	CORRECTIVO PROGRAMADO	DESGASTE DE RETENES DE CAJA PORTARODAMIENTOS	INSPECCION DE CAJA PORTA RODAJE Y LIMPIEZA DE CAJA	LIMPIEZA DE CAJA PORTA RODAJE E INSPECCION DE RODAMIENTOS	2.00	EJECUTADO	1/11/2020
21	ELECTRICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTAL WARMAN 6"X4" N° 05	L1	CORRECTIVO PROGRAMADO	DEFICIENCIA DE MOTOR ELECTRICO	DESMONTAJE Y MONTAJE DE MOTOR PRINCIPAL DE 200 HP	DESMONTAJE Y MONTAJE DE MOTOR PRINCIPAL DE 200 HP	2.00	EJECUTADO	1/11/2020
22	MECANICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTAL WARMAN 6"X4" N° 03	L1	PREVENTIVO	DESGASTE DE RODAMIENTOS DE CAJA PORTARODAMIENTOS	CAJA PORTA RODAJE PRESENTA FUGA DE ACEITE	HABILITADO DE CAJA Y USO ARMADO DE CAJA PORTA RODAJE	3.50	EJECUTADO	2/11/2020

23	MECANICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTAL WARMAN 6"X4" N° 03	L1	CORRECTIVO PROGRAMADO	DESGASTE DE RETENES DE CAJA PORTARODAMIENTOS	CAJA PORTA RODAJE PRESENTA DERRAME DE ACEITE LADO POLEA	CAMBIO DE RETEN LADO POLEA	4.00	EJECUTADO	3/11/2020
24	MECANICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTAL WARMAN 6"X4" N° 01	L1	PREVENTIVO	DESGASTE DE RETENES DE CAJA PORTARODAMIENTOS	INSPECCION DE CAJA PORTA RODAJE PRESENTA FUGA DE CARGA	CAMBIO DE RETEN E INSPECCION DE BOMBA	4.00	EJECUTADO	3/11/2020
25	MECANICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTAL WARMAN 6"X4" N° 04	L1	CORRECTIVO PROGRAMADO	DESGASTE DE RETENES DE CAJA PORTARODAMIENTOS	INSPECCION DE CAJA PORTA RODAJE PRESENTA FUGA DE CARGA	CAMBIO DE RETEN E INSPECCION DE BOMBA	4.00	EJECUTADO	4/11/2020
26	MECANICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTAL WARMAN 6"X4" N° 10	L2	CORRECTIVO NO PROGRAMADO	DESGASTE DE PARTES HUMEDAS DE LA BOMBA	DESGASTE FORRO LADO SUCCIÓN	SE CAMBIO FORRO LADO SUCCION POR ENCONTRARSE CON DESGASTE	3.00	EJECUTADO	5/11/2020
27	MECANICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTAL WARMAN 6"X4" N° 12	L2	CORRECTIVO NO PROGRAMADO	DESGASTE Y CAMBIO DE BOCINA	CAMBIO DE BOCINA E INSTALACION DE EMPAQUE	SE CAMBIO BOCINA Y EMPAQUE	4.00	EJECUTADO	5/11/2020
28	MECANICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTAL WARMAN 6"X4" N° 12	L2	CORRECTIVO PROGRAMADO	DESGASTE DE RODAMIENTOS DE CAJA PORTARODAMIENTOS	DESGASTE DE ELEMENTOS DE PORTARODAMIENTOS	SE COMENZO HABILITAR CAJA PORTA RODAJE Y DESMONTAJE COMPONENTES EN MAL ESTADO.	2.00	EJECUTADO	6/11/2020

29	MECANICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTAL WARMAN 6"X4" N° 12	L2	PREVENTIVO	DESGASTE DE RODAMIENTOS DE CAJA PORTARODAMIENTOS	CAJA PORTA RODAJE PRESENTA FUGA DE CARGA	INSPECCION Y HABILITADO DE CAJA PORTA RODAJE	4.00	EJECUTADO	7/11/2020
30	ELECTRICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTAL WARMAN 6"X4" N° 10	L1	CORRECTIVO PROGRAMADO	DEFICIENCIA DE MOTOR ELECTRICO	DESMONTAJE DE MOTOR ELECTRICO DE 200 HP SE EXTRAERODAMIENTOS 6319 C3 (2 PIEZAS)	SE EXTRAERODAMIENTOS 6319 C3 (2 PIEZAS)	3.00	EJECUTADO	9/11/2020
31	MECANICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTAL WARMAN 6"X4" N° 08	L2	PREVENTIVO	DESGASTE DE PARTES HUMEDAS DE LA BOMBA	CAMBIO DE FORRO LADO SUCCION	SE CAMBIO FORRO LADO SUCCION Y EMPAQUETADURA	2.50	EJECUTADO	10/11/2020
32	MECANICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTAL WARMAN 6"X4" N° 11	L2	PREVENTIVO	DETERIORO DE EMPAQUES DE BOMBA	DERRAME DE CARGA POR EL EMPAQUE	CAMBIO DE EMPAQUE	3.00	EJECUTADO	10/11/2020
33	MECANICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTAL WARMAN 6"X4" N° 12	L2	PREVENTIVO	DESGASTE Y CAMBIO DE BOCINA	DESGASTE EN LA BOCINA Y EMPAQUE	CAMBIO DE BOCINA Y EMPAQUE	3.00	EJECUTADO	10/11/2020
34	MECANICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTAL WARMAN 6"X4" N° 10	L2	PREVENTIVO	DESGASTE DE RETENES DE CAJA PORTARODAMIENTOS	FUGA DE ACEITE LADO POLEA	CAMBIO DE RETENES DE CAJA PORTA RODAJE	3.00	EJECUTADO	10/11/2020

35	MECANICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTAL WARMAN 6"X4" N° 09	L2	PREVENTIVO	DETERIORO DE EMPAQUES DE BOMBA	DERRAME DE CARGA POR EL EMPAQUE	CAMBIO DE EMPAQUE	3.00	EJECUTADO	10/11/2020
36	MECANICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTAL WARMAN 6"X4" N° 07	L2	PREVENTIVO	DESGASTE DE PARTES HUMEDAS DE LA BOMBA	PRESENTA FORROS DESGASTADOS, DISCO, FORROS LADO SUCCION Y EMPAQUETADURA	CAMBIO DE IMPULSOR, DISCO Y EMPAQUETADURA	4.00	EJECUTADO	11/11/2020
37	MECANICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTAL WARMAN 6"X4" N° 07	L2	PREVENTIVO	DESGASTE DE RETENES DE CAJA PORTARODAMIENTOS	DESGASTE DE ELEMENTOS DE PORTARODAMIENTOS	CAMBIO DE IMPULSOR, DISCO Y EMPAQUETADURA	3.00	EJECUTADO	11/11/2020
38	MECANICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTAL WARMAN 6"X4" N° 08	L2	PREVENTIVO	DESGASTE DE RETENES DE CAJA PORTARODAMIENTOS	PRESENTA DERRAME DE CARGA POR FORRO	CAMBIO DE RETEN LADO POLEA	2.00	EJECUTADO	11/11/2020
39	MECANICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTAL WARMAN 6"X4" N° 09	L2	PREVENTIVO	DESGASTE DE RETENES DE CAJA PORTARODAMIENTOS	PRESENTA DERRAME DE CARGA POR LA EMPAQUETADURA	CAMBIO DE RETEN LADO POLEA	3.50	EJECUTADO	11/11/2020
40	MECANICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTAL WARMAN 6"X4" N° 10	L2	PREVENTIVO	DESGASTE DE PARTES HUMEDAS DE LA BOMBA	PRESENTA DERRAME DE CARGA POR LA EMPAQUETADURA	CAMBIO DE IMPULSOR, DISCO Y EMPAQUETADURA	3.50	EJECUTADO	11/11/2020

41	MECANICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTAL WARMAN 6"X4" N° 11	L2	CORRECTIVO NO PROGRAMADO	DESGASTE DE RETENES DE CAJA PORTARODAMIENTOS	DERRAME DE ACEITE LADO POLEA	CAMBIO RETEN E INSTALACION DE EMPAQUE	3.00	EJECUTADO	12/11/2020
42	MECANICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTAL WARMAN 6"X4" N° 07	L2	CORRECTIVO NO PROGRAMADO	DESGASTE Y CAMBIO DE BOCINA	BOCINA EN MAL ESTADO, IMPULSOR Y SELLOS PRENSA ESTOPA	CAMBIO DE BOCINA, IMPULSOR Y SELLOS DE PRENSA STOPA	5.00	EJECUTADO	15/11/2020
43	MECANICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTAL WARMAN 6"X4" N° 07	L2	CORRECTIVO NO PROGRAMADO	DESGASTE DE PARTES HUMEDAS DE LA BOMBA	BOCINA EN MAL ESTADO, IMPULSOR Y SELLOS PRENSA ESTOPA	CAMBIO DE BOCINA, IMPULSOR Y SELLOS DE PRENSA STOPA	6.00	EJECUTADO	15/11/2020
44	MECANICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTAL WARMAN 6"X4" N° 03	L1	CORRECTIVO NO PROGRAMADO	DETERIORO DE EMPAQUES DE BOMBA	DERRAME DE CARGA POR LA PRENSA ESTOPA	INSPECCION Y CAMBIO DE EMPAQUE	1.50	EJECUTADO	15/11/2020
45	MECANICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTAL WARMAN 6"X4" N° 04	L1	CORRECTIVO NO PROGRAMADO	DETERIORO DE EMPAQUES DE BOMBA	DERRAME DE CARGA POR LA PRENSA ESTOPA	INSPECCION Y CAMBIO DE EMPAQUE	2.00	EJECUTADO	15/11/2020
46	MECANICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTAL WARMAN 6"X4" N° 05	L1	CORRECTIVO NO PROGRAMADO	DETERIORO DE EMPAQUES DE BOMBA	DERRAME DE CARGA POR LA PRENSA ESTOPA	INSPECCION Y CAMBIO DE EMPAQUE	2.00	EJECUTADO	15/11/2020

47	MECANICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTAL WARMAN 6"X4" N° 03	L1	PREVENTIVO	DESGASTE DE PARTES HUMEDAS DE LA BOMBA	MANTNIMIENTO PREVENTIVO PROGRAMADO	CAMBIO DE BOCINA, MPULSOR, FORRO LADO PRENSA Y FORRO LADO SUCCION.	4.00	EJECUTADO	16/11/2020
48	MECANICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTAL WARMAN 6"X4" N° 09	L2	PREVENTIVO	DESGASTE DE PARTES HUMEDAS DE LA BOMBA	CAMBIO DE FORRO LADO SUCCION	SE CAMBIO FORRO LADO SUCCION Y EMPAQUETADURA	2.50	EJECUTADO	16/11/2020
49	MECANICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTAL WARMAN 6"X4" N° 04	L1	PREVENTIVO	DESGASTE DE CORREAS DE TRANSMISION	DERRAME DE ACEITE EN CAJA PORTA RODAJE	CAMBIO DE CORREAS TRANSMISION, DE EMPAQUE DE PRENSA STOPA Y SE REVISO NIVEL DE ACEITE.	3.00	EJECUTADO	16/11/2020
50	MECANICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTAL WARMAN 6"X4" N° 01	L1	PREVENTIVO	DESGASTE DE PARTES HUMEDAS DE LA BOMBA	MANTENIMIENTO SEGÚN FRECUENCIA	CAMBIO DE FORRO Y DISCO DE SUCCION E IMPULSOR	4.00	EJECUTADO	17/11/2020
51	MECANICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTAL WARMAN 6"X4" N° 02	L1	PREVENTIVO	DESGASTE DE PARTES HUMEDAS DE LA BOMBA	MANTNIMIENTO PREVENTIVO PROGRAMADO	CAMBIO DE FORRO GLAND, DISCO SUCCION Y SELLOS DE PRENSA STOPA.	6.00	EJECUTADO	17/11/2020
52	MECANICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTAL WARMAN 6"X4" N° 06	L1	PREVENTIVO	DESGASTE DE PARTES HUMEDAS DE LA BOMBA	DERRAME DE ACEITE EN CAJA PORTA RODAJE	CAMBIO DE FORRO GLAND, DISCO SUCCION SE COLOCO WARIN Y SELLOS DE PRENSA STOPA.	6.00	EJECUTADO	17/11/2020

53	MECANICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTAL WARMAN 6"X4" N° 10	L2	PREVENTIVO	DESGASTE DE RETENES DE CAJA PORTARODAJE	PRESENTA FUGA DE ACEITE	CAMBIO DE EMPAQUE Y ORING DE CAJA PORTA RODAJE	4.00	EJECUTADO	19/11/2020
54	MECANICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTAL WARMAN 6"X4" N° 11	L2	PREVENTIVO	DESGASTE DE PARTES HUMEDAS DE LA BOMBA	MANTENIMIENTO SEGÚN FRECUENCIA	CAMBIO DE FORRO Y DISCO DE SUCCION E IMPULSOR	4.00	EJECUTADO	19/11/2020
55	MECANICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTAL WARMAN 6"X4" N° 12	L2	PREVENTIVO	DESGASTE DE PARTES HUMEDAS DE LA BOMBA	MANTENIMIENTO SEGÚN FRECUENCIA	CAMBIO DE IMPULSOR Y ORING EN CAJA PORTA RODAJE	4.50	EJECUTADO	19/11/2020
56	MECANICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTAL WARMAN 6"X4" N° 08	L2	PREVENTIVO	DESGASTE DE PARTES HUMEDAS DE LA BOMBA	MANTENIMIENTO SEGÚN FRECUENCIA	CAMBIO DE FORRO SUCCION, DISCO DE SUCCION E IMPULSOR	4.00	EJECUTADO	20/11/2020
57	MECANICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTAL WARMAN 6"X4" N° 09	L2	PREVENTIVO	DESGASTE DE PARTES HUMEDAS DE LA BOMBA	MANTENIMIENTO SEGÚN FRECUENCIA	CAMBIO DE FORRO SUCCION, DISCO DE SUCCION E IMPULSOR	4.50	EJECUTADO	20/11/2020
58	MECANICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTAL WARMAN 6"X4" N° 07	L2	CORRECTIVO PROGRAMADO	INSPECCION DE CAJA PORTARODAJE	INSPECCION DE BOMBA Y CAJA PORTA RODAJE	DESMONTAJE E INSPECCION DE COMPONENTES EN BUEN ESTADO	4.00	EJECUTADO	22/11/2020

59	MECANICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTAL WARMAN 6"X4" N° 04	L1	CORRECTIVO NO PROGRAMADO	DESGASTE DE RETENES DE CAJA PORTARODAMIENTOS	CAMBIO DE BOCINA E INSPECCION GENERAL	SE CAMBIO RETEN DE CILINDRO, SE FABRICO EMPAQUE, SE CAMBIO SOGA GRAFITADA, CAMBIO DE BOCINAY CAMBIO DE FORRO LADO SUCCION	6.00	EJECUTADO	24/11/2020
60	MECANICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTAL WARMAN 6"X4" N° 06	L1	CORRECTIVO PROGRAMADO	DESGASTE DE PARTES HUMEDAS DE LA BOMBA	DESGASTE DE FORRO	SE RESANO CON WERING COMPOUT FORRO LADO SUCCION Y SE INPSECCIONO BOMBA	5.00	EJECUTADO	24/11/2020
61	MECANICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTAL WARMAN 6"X4" N° 06	L1	CORRECTIVO PROGRAMADO	DESGASTE DE RETENES DE CAJA PORTARODAMIENTOS	MANTENIMIENTO DE CAJA PORTARODAMIENTO	SE RESANO CON WERING COMPOUT FORRO LADO SUCCION Y SE INPSECCIONO BOMBA	4.00	EJECUTADO	25/11/2020
62	MECANICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTAL WARMAN 6"X4" N° 09	L2	CORRECTIVO NO PROGRAMADO	DETERIORO DE EMPAQUES DE BOMBA	CAMBIO DE EMPAQUE	SE CAMBIO EMPAQUEDURA DE 3/4"	1.00	EJECUTADO	3/12/2020
63	MECANICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTAL WARMAN 6"X4" N° 09	L2	CORRECTIVO PROGRAMADO	DETERIORO DE EMPAQUES DE BOMBA	MANTENIMIENTO DE BOMBA	SE CAMBIO EMPAQUETADURA EN DOS OPORTUNIDADES	4.00	EJECUTADO	5/12/2020
64	MECANICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTAL WARMAN 6"X4" N° 05	L2	CORRECTIVO PROGRAMADO	DESGASTE DE RETENES DE CAJA PORTARODAMIENTOS	MANTENIMIENTO CAJA PORTARODAMIENTO	SE CAMBIO EMPAQUETADURA EN DOS OPORTUNIDADES	5.00	EJECUTADO	6/12/2020

65	MECANICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTAL WARMAN 6"X4" N° 12	L2	CORRECTIVO PROGRAMADO	DETERIORO DE TUBERIAS	CAMBIAR TUBERIA DE DESCARGA PRESENTA DESGASTE.	HABILITADO DE TUBERIA DE DESCARGA Y BRIDAS	10.50	EJECUTADO	10/12/2020
66	MECANICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTAL WARMAN 6"X4" N° 07	L2	CORRECTIVO PROGRAMADO	DETERIORO DE TUBERIAS	TUBERIAS DETERIORADAS EN TREN DE BOMBAS	LEVANTAMIENTO DE MEDIDAS DE LAS TUBERIAS DE DESCARGA DE LA LINEA #2 DE RELAVE	2.50	EJECUTADO	11/12/2020
67	MECANICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTAL WARMAN 6"X4" N° 03	L1	CORRECTIVO NO PROGRAMADO	DESGASTE DE PARTES HUMEDAS DE LA BOMBA	CAMBIO DE FORRO LADO SUCCION	SE CAMBIO FORRO LADO SUCCION Y EMPAQUETADURA	3.00	EJECUTADO	12/10/2020
68	MECANICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTAL WARMAN 6"X4" N° 01	L1	CORRECTIVO NO PROGRAMADO	DESGASTE DE RETENES DE CAJA PORTARODAMIENTOS	CAMBIO DE PORTARODAMIENTOS	SE CAMBIO PORTARODAMIENTO ARMADO POR ALTA TEMPERATURA Y ACEITE CONTAMINADO	3.50	EJECUTADO	13/12/2020
69	MECANICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTAL WARMAN 6"X4" N° 01	L1	CORRECTIVO NO PROGRAMADO	DESGASTE DE POLEAS	FABRICACION DE POLEA DEL MOTOR ELECTRICO	SE SACO MEDIDAS PARA LA FABRICACION DE POLEAS	3.50	EJECUTADO	13/12/2020
70	MECANICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTAL WARMAN 6"X4" N° 01	L1	CORRECTIVO NO PROGRAMADO	DETERIORO DE TUBERIAS	FABRICAR DE TUBERIA DESCARGA DEL TREN NUMERO #1	FABRICACION DE TUBERIA Y TRABAJOS DE SOLDADURA EN LA TUBERIA DE DESCARGA	7.50	EJECUTADO	14/12/2020

71	MECANICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTAL WARMA N 6"X4" N° 02	L1	CORRECTIVO NO PROGRAMADO	DESGASTE DE RETENES DE CAJA PORTARODAMIENTOS	CAMBIO DE PORTARODAMIENTOS	MANTENIMIENTO PORTARODAMIENTOS CAMBIO DE RETENS Y ORING Y ACEITE CONTAMINADO	3.50	EJECUTADO	15/12/2020
72	MECANICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTAL WARMA N 6"X4" N° 06	L1	CORRECTIVO PROGRAMADO	DETERIORO DE TUBERIAS	TUBERIA DE DESCARGA DETERIORADA	FABRICACION E INSTALACION DE TUBERIA Y PRUEBAS DE LA LINEA	5.00	EJECUTADO	16/12/2020
73	MECANICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTAL WARMA N 6"X4" N° 12	L2	PREVENTIVO	DESGASTE DE PARTES HUMEDAS DE LA BOMBA	MANTENIMIENTO SEGÚN FRECUENCIA	CAMBIO DE FORROS SUCCION DISCO SUCCION, IMPULSOR, BOCINA, EMPAQUE Y ACEITE DE CAJA PORTARODAMIENTOS	6.00	EJECUTADO	18/12/2020
74	MECANICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTAL WARMA N 6"X4" N° 12	L2	PREVENTIVO	DESGASTE Y CAMBIO DE BOCINA	MANTENIMIENTO SEGÚN FRECUENCIA	CAMBIO DE FORROS SUCCION DISCO SUCCION, IMPULSOR, BOCINA, EMPAQUE Y ACEITE DE CAJA PORTARODAMIENTOS	6.00	EJECUTADO	18/12/2020
75	MECANICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTAL WARMA N 6"X4" N° 11	L2	PREVENTIVO	DESGASTE DE PARTES HUMEDAS DE LA BOMBA	MANTENIMIENTO SEGÚN FRECUENCIA	CAMBIO DE FORROS SUCCION DISCO SUCCION, IMPULSOR, BOCINA, EMPAQUE Y ACEITE DE CAJA PORTARODAMIENTOS	1.00	EJECUTADO	18/12/2020
76	MECANICA	DISPOSICION_DE_RELAVES	BOMBAS HORIZONTAL WARMA N 6"X4" N° 11	L2	PREVENTIVO	DESGASTE Y CAMBIO DE BOCINA	MANTENIMIENTO SEGÚN FRECUENCIA	CAMBIO DE FORROS SUCCION DISCO SUCCION, IMPULSOR, BOCINA, EMPAQUE Y ACEITE DE CAJA	1.00	EJECUTADO	18/12/2020

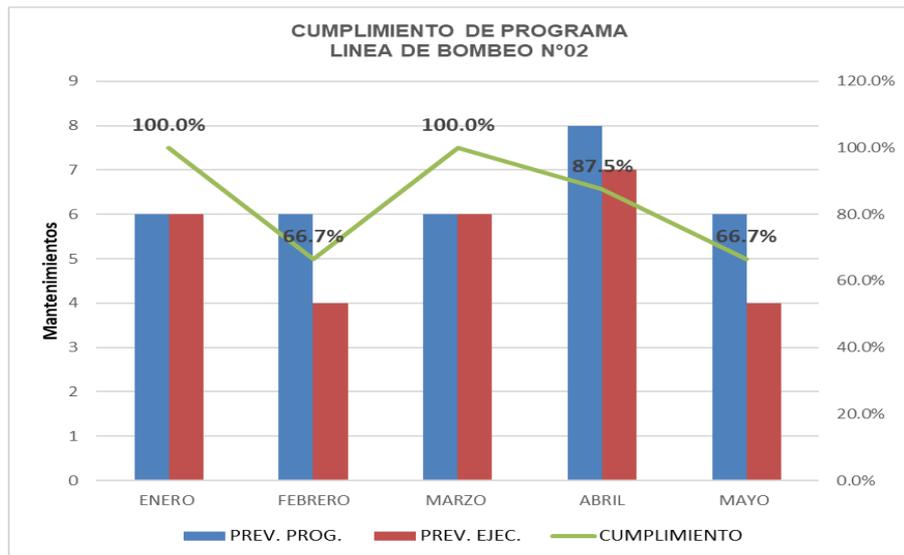
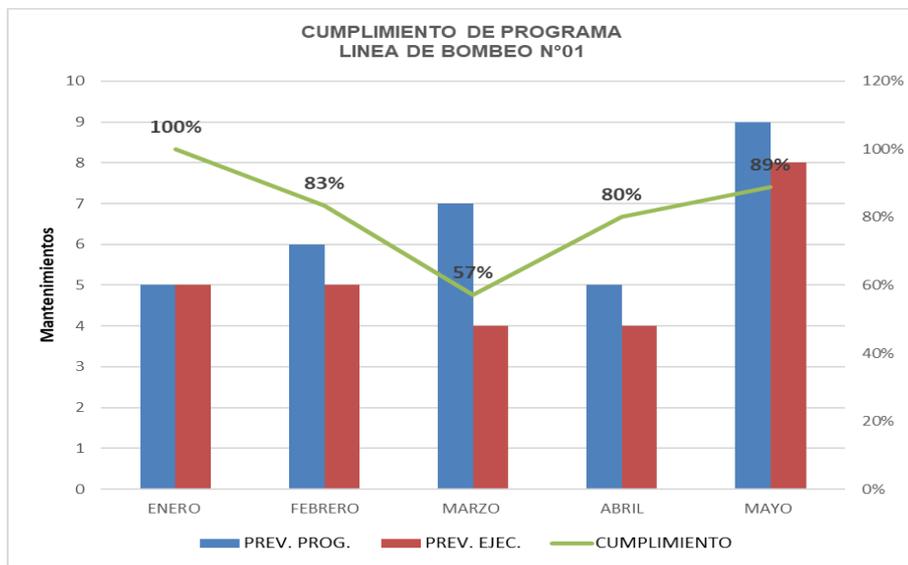
								PORTA RODAMIENTOS			
77	MECANICA	DISPOSICION_DE _RELAVES	BOMBA S HORIZO NTAL WARMA N 6"X4" N° 10	L2	PREVENT IVO	DESGASTE DE PARTES HUMEDAS DE LA BOMBA	MANTENIMIENTO SEGÚN FRECUENCIA	CAMBIO DE FORROS SUCCION DISCO SUCCION, IMPULSOR, BOCINA, EMPAQUE YACEITE DE CAJA PORTA RODAMIENTOS	1.50	EJECUT ADO	18/12/2 020
78	MECANICA	DISPOSICION_DE _RELAVES	BOMBA S HORIZO NTAL WARMA N 6"X4" N° 10	L2	PREVENT IVO	DESGASTE Y CAMBIO DE BOCINA	MANTENIMIENTO SEGÚN FRECUENCIA	CAMBIO DE FORROS SUCCION DISCO SUCCION, IMPULSOR, BOCINA, EMPAQUE YACEITE DE CAJA PORTA RODAMIENTOS	1.50	EJECUT ADO	18/12/2 020
79	MECANICA	DISPOSICION_DE _RELAVES	BOMBA S HORIZO NTAL WARMA N 6"X4" N° 09	L2	PREVENT IVO	DESGASTE Y CAMBIO DE BOCINA	MANTENIMIENTO SEGÚN FRECUENCIA	CAMBIO DE FORROS SUCCION DISCO SUCCION, IMPULSOR, BOCINA, EMPAQUE Y MANTTO PORTARODAMIEN TOSACEITE DE CAJA PORTA RODAMIENTOS	6.00	EJECUT ADO	20/12/2 020
80	MECANICA	DISPOSICION_DE _RELAVES	BOMBA S HORIZO NTAL WARMA N 6"X4" N° 09	L2	PREVENT IVO	DESGASTE DE PARTES HUMEDAS DE LA BOMBA	MANTENIMIENTO SEGÚN FRECUENCIA	CAMBIO DE FORROS SUCCION DISCO SUCCION, IMPULSOR, BOCINA, EMPAQUE Y MANTTO PORTARODAMIEN TOSACEITE DE CAJA PORTA RODAMIENTOS	6.00	EJECUT ADO	20/12/2 020
81	MECANICA	DISPOSICION_DE _RELAVES	BOMBA S HORIZO NTAL WARMA	L2	PREVENT IVO	DESGASTE Y CAMBIO DE BOCINA	MANTENIMIENTO SEGÚN FRECUENCIA	CAMBIO DE FORROS SUCCION DISCO SUCCION, IMPULSOR, BOCINA, EMPAQUE	6.00	EJECUT ADO	20/12/2 020

			N 6"X4" N° 08					YACEITE DE CAJA PORTA RODAMIENTOS			
82	MECANICA	DISPOSICION_DE _RELAVES	BOMBA S HORIZO NTAL WARMA N 6"X4" N° 08	L2	PREVENT IVO	DESGASTE DE PARTES HUMEDAS DE LA BOMBA	MANTENIMIENTO SEGÚN FRECUENCIA	CAMBIO DE FORROS SUCCION DISCO SUCCION, IMPULSOR, BOCINA, EMPAQUE YACEITE DE CAJA PORTA RODAMIENTOS	6.00	EJECUT ADO	20/12/2 020
83	MECANICA	DISPOSICION_DE _RELAVES	BOMBA S HORIZO NTAL WARMA N 6"X4" N° 07	L2	PREVENT IVO	DESGASTE Y CAMBIO DE BOCINA	MANTENIMIENTO SEGÚN FRECUENCIA	CAMBIO DE FORROS SUCCION DISCO SUCCION, IMPULSOR, BOCINA, EMPAQUE	6.00	EJECUT ADO	20/12/2 020
84	MECANICA	DISPOSICION_DE _RELAVES	BOMBA S HORIZO NTAL WARMA N 6"X4" N° 07	L2	PREVENT IVO	DESGASTE DE PARTES HUMEDAS DE LA BOMBA	MANTENIMIENTO SEGÚN FRECUENCIA	CAMBIO DE FORROS SUCCION DISCO SUCCION, IMPULSOR, BOCINA, EMPAQUE	6.00	EJECUT ADO	20/12/2 020
85	MECANICA	DISPOSICION_DE _RELAVES	BOMBA S HORIZO NTAL WARMA N 6"X4" N° 05	L1	CORREC TIVO NO PROGRA MADO	DESGASTE DE PARTES HUMEDAS DE LA BOMBA	DESGASTE FORRO LADO SUCCIÓN	SE CAMBIO FORRO LADO SUCCION POR ENCONTRARSE CON DESGASTE	3.50	EJECUT ADO	20/12/2 020
86	MECANICA	DISPOSICION_DE _RELAVES	BOMBA S HORIZO NTAL WARMA N 6"X4" N° 12	L2	CORREC TIVO NO PROGRA MADO	DERRAME DE CARGA POR NIPLES BRIDADOS	DESAJUSTE ENTRE TUBERIA	SE EMPALMO CARRETE DESEMBRIDADO DE TUBERIA DE SALIDA DE BOMBA 12	4.00	EJECUT ADO	20/12/2 020
87	MECANICA	DISPOSICION_DE _RELAVES	BOMBA S HORIZO NTAL WARMA	L2	CORREC TIVO NO PROGRA MADO	DERRAME DE CARGA POR NIPLES BRIDADOS	FUGA DE CARGA EN LA LINEA DE DESCARGA DE LA BOMBA	TRABAJOS DE CALDERERIA Y SOLDADURA	7.50	EJECUT ADO	21/12/2 020

			N 6"X4" N° 12								
88	MECANICA	DISPOSICION_DE _RELAVES	BOMBA S HORIZO NTAL WARMA N 6"X4" N° 06	L1	PREVENT IVO	DESGASTE DE PARTES HUMEDAS DE LA BOMBA	MANTENIMIENTO PREVENTIVO SEGÚN FRECUENCIA	CAMBIO DE FORROS, DISCOS SUCION Y BOCINA	7.50	EJECUT ADO	24/12/2 020
89	MECANICA	DISPOSICION_DE _RELAVES	BOMBA S HORIZO NTAL WARMA N 6"X4" N° 03	L1	CORREC TIVO NO PROGRA MADO	DESGASTE DE RETENES DE CAJA PORTARODA MIENTOS	CAMBIO DE RETENES Y ORING	MANTENIMIENTO CORRECTIVO DE PORTARODAMIEN TO	3.00	EJECUT ADO	26/12/2 020
90	MECANICA	DISPOSICION_DE _RELAVES	BOMBA S HORIZO NTAL WARMA N 6"X4" N° 10	L1	CORREC TIVO PROGRA MADO	DESGASTE DE RETENES DE CAJA PORTARODA MIENTOS	MANTENIMIENTO DE CAJA PORTARODAMIENTO	CAMBIO DE RETENES Y ORING	3.00	EJECUT ADO	30/12/2 020
91	ELECTRICA	DISPOSICION_DE _RELAVES	BOMBA S HORIZO NTAL WARMA N 6"X4" N° 10	L1	CORREC TIVO PROGRA MADO	DEFICIENCIA DE MOTOR ELECTRICO	DESMONTAJE DE MOTOR ELECTRICO DE 200 HP SE EXTRAE RODAMIENTOS 6319 C3 (2 PIEZAS)	SE EXTRAE RODAMIENTOS 6319 C3 (2 PIEZAS)	3.00	EJECUT ADO	30/12/2 020

Anexo N° 2.4 Cumplimiento del Programa de Mantenimiento centrado en Confiabilidad

		ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	TOTAL
Tren N°01	MANTTO PROGRAMADO	5	6	7	5	9	32
	MANTTO EJECUTADO	5	5	4	4	8	26
	CUMPLIMIENTO	100%	83%	57%	80%	89%	81%
Tren N°02	MANTTO PROGRAMADO	6	6	6	8	6	32
	MANTTO EJECUTADO	6	4	6	7	4	27
	CUMPLIMIENTO	100%	67%	100%	88%	67%	84%



Anexo N° 2.5 Última Actualización del Programa de Mantenimiento

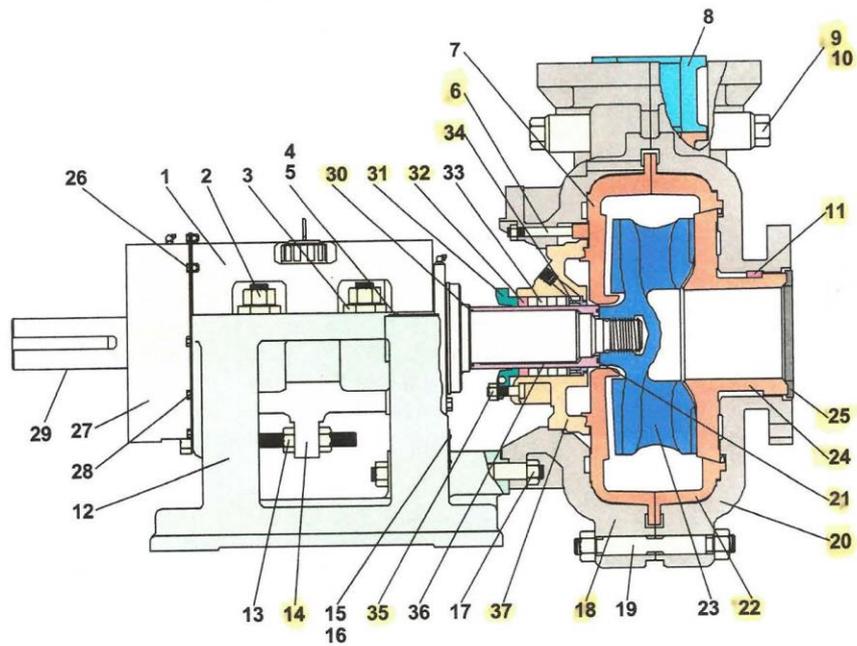
LÍNEA	EQUIPO	SISTEMA	ULTIMO MANTENIMIENTO			PROXIMO MANTENIMIENTO		
			HORAS PM	HOROMETRO	FECHA MANTTO	TIPO DE PM	HORAS DE PM	HORAS
LÍNEA 1	BOMBA WARMAN 6"x4" N° 01	CAMBIO DE FORROS	1800	22210.3	17-May	PM01	300	22510.3
		CAMBIO DE IMPULSOR	1800	22210.3	17-May	PM01	300	22510.3
		CILINDRO PORTARODAMIENTOS	1800	22210.3	17-May	PM01	300	22510.3
		PREVENTIVO	1800	22210.3	17-May	PM01	300	22510.3
	BOMBA WARMAN 6"x4" N° 02	CAMBIO DE FORROS	1200	22338.3	1-Jun	PM01	1500	22638.3
		CAMBIO DE IMPULSOR	1200	22338.3	1-Jun	PM01	1500	22638.3
		CILINDRO PORTARODAMIENTOS	1200	22338.3	1-Jun	PM01	1500	22638.3
		PREVENTIVO	1200	22338.3	1-Jun	PM01	1500	22638.3
	BOMBA WARMAN 6"x4" N° 03	CAMBIO DE FORROS	1500	22210.3	18-May	PM04	1800	22510.3
		CAMBIO DE IMPULSOR	1500	22210.3	18-May	PM04	1800	22510.3
		CILINDRO PORTARODAMIENTOS	1500	22210.3	18-May	PM04	1800	22510.3
		PREVENTIVO	1500	22210.3	18-May	PM04	1800	22510.3
	BOMBA WARMAN 6"x4" N° 04	CAMBIO DE FORROS	1200	22210.3	17-May	PM01	1500	22510.3
		CAMBIO DE IMPULSOR	1200	22210.3	17-May	PM01	1500	22510.3
		CILINDRO PORTARODAMIENTOS	1200	22210.3	17-May	PM01	1500	22510.3
		PREVENTIVO	1200	22210.3	17-May	PM01	1500	22510.3
	BOMBA WARMAN 6"x4" N° 05	CAMBIO DE FORROS	1500	22251.3	23-May	PM04	1800	22551.3
		CAMBIO DE IMPULSOR	1500	22251.3	23-May	PM04	1800	22551.3
		CILINDRO PORTARODAMIENTOS	1500	22251.3	23-May	PM04	1800	22551.3
		PREVENTIVO	1500	22251.3	23-May	PM04	1800	22551.3
	BOMBA WARMAN 6"x4" N° 06	CAMBIO DE FORROS	1200	22342.3	2-Jun	PM01	1500	22642.3
		CAMBIO DE IMPULSOR	1200	22342.3	2-Jun	PM01	1500	22642.3
		CILINDRO PORTARODAMIENTOS	1200	22342.3	2-Jun	PM01	1500	22642.3
		PREVENTIVO	1200	22342.3	2-Jun	PM01	1500	22642.3
LÍNEA 2	BOMBA WARMAN 6"x4" N° 07	CAMBIO DE FORROS	1200	19852.5	20-Abr	PM01	1500	20152.5
		CAMBIO DE IMPULSOR	1200	19852.5	20-Abr	PM01	1500	20152.5
		CILINDRO PORTARODAMIENTOS	1200	19852.5	20-Abr	PM01	1500	20152.5
		PREVENTIVO	1200	19852.5	20-Abr	PM01	1500	20152.5
	BOMBA WARMAN 6"x4" N° 08	CAMBIO DE FORROS	1200	19852.5	20-Abr	PM01	1500	20152.5
		CAMBIO DE IMPULSOR	1200	19852.5	20-Abr	PM01	1500	20152.5
		CILINDRO PORTARODAMIENTOS	1200	19852.5	20-Abr	PM01	1500	20152.5
		PREVENTIVO	1200	19852.5	20-Abr	PM01	1500	20152.5
	BOMBA WARMAN 6"x4" N° 09	CAMBIO DE FORROS	1200	19852.5	20-Abr	PM01	1500	20152.5
		CAMBIO DE IMPULSOR	1200	19852.5	20-Abr	PM01	1500	20152.5
		CILINDRO PORTARODAMIENTOS	1200	19852.5	20-Abr	PM01	1500	20152.5
		PREVENTIVO	1200	19852.5	20-Abr	PM01	1500	20152.5
	BOMBA WARMAN 6"x4" N° 10	CAMBIO DE FORROS	1500	19868.5	3-May	PM04	1800	20168.5
		CAMBIO DE IMPULSOR	1500	19868.5	3-May	PM04	1800	20168.5
		CILINDRO PORTARODAMIENTOS	1500	19868.5	3-May	PM04	1800	20168.5
		PREVENTIVO	1500	19868.5	3-May	PM04	1800	20168.5
	BOMBA WARMAN 6"x4" N° 11	CAMBIO DE FORROS	1200	19852.5	20-Abr	PM01	1500	20152.5
		CAMBIO DE IMPULSOR	1200	19852.5	20-Abr	PM01	1500	20152.5
		CILINDRO PORTARODAMIENTOS	1200	19852.5	20-Abr	PM01	1500	20152.5
		PREVENTIVO	1200	19852.5	20-Abr	PM01	1500	20152.5
	BOMBA WARMAN 6"x4" N° 12	CAMBIO DE FORROS	1200	19852.5	22-Abr	PM01	1500	20152.5
		CAMBIO DE IMPULSOR	1200	19852.5	22-Abr	PM01	1500	20152.5
		CILINDRO PORTARODAMIENTOS	1200	19852.5	22-Abr	PM01	1500	20152.5
		PREVENTIVO	1200	19852.5	22-Abr	PM01	1500	20152.5

Anexo N° 2.6 Lista de partes de la Bomba centrífuga horizontal Warman 6"x4"
AH



WARMAN INTERNATIONAL LTD

6/4 RYFC-AHPP Rubber Lined
6/4 RYFC-AHPP RUBBER LINED



A125286r6

Copyright © Warman Int. Ltd.

Sheet No. 1

Complete parts list showing item



WARMAN INTERNATIONAL LTD

6/4 RYFC-AHPP Rubber Lined
6/4 RYFC-AHPP RUBBER LINED

ITEM	QTY	PART No.	DESCRIPTION
1	1	RY439-2E02	COOLING AIR COWL
2	4	R012ME62	CLAMP BOLT
3	4	R011E63	CLAMP WASHER
4	1	SC73C22	WARNING PLATE - BURSTING
5	1	SC80C22	WARNING PLATE - LIFTING
6	4	EH3026MC23	FRAME PLATE LINER STUD
	4	EH3026ME62	FRAME PLATE LINER STUD 9040826
7	1	E4036MR24	FRAME PLATE LINER
	1	E4036MR26	FRAME PLATE LINER
	1	E4036MR33	FRAME PLATE LINER
	1	E4036MS03	FRAME PLATE LINER
	1	E4036MS12	FRAME PLATE LINER
	1	E4036MS21	FRAME PLATE LINER
	1	E4036MS31	FRAME PLATE LINER
	1	E4036MS42	FRAME PLATE LINER 9040827
8	1	EP4087R08	DISCHARGE JOINT
	1	EP4087R38	DISCHARGE JOINT
	1	EP4087S31	DISCHARGE JOINT
	1	EP4087S42	DISCHARGE JOINT
9	1	EPP4015ME47	COVER PLATE BOLT 9040829
10	2	EPP4284ME47	NUT 9040830
11	2	E4085E02	COTTER 9040831
12	1	R003FCD21	BASE
13	1	R001ME62	ADJUSTING SCREW
14	1	RY005FC-2M	BEARING ASSEMBLY 9018234
15	1	B52C22	NAMEPLATE
16	8	TLP/D424BS	NAMEPLATE RIVET
17	3	E039MC23	FRAME PLATE STUD
	3	E039ME63	FRAME PLATE STUD
18	1	EPP4032D20	FRAME PLATE 9018232
19	15	EP4015MC23	COVER PLATE BOLT
	15	EP4015ME47	COVER PLATE BOLT
	15	EP4015ME63	COVER PLATE BOLT
	15	EP4015ME65	COVER PLATE BOLT 9040859
20	1	EPP4013D20	COVER PLATE 9018231
21	1	F064S10	IMPELLER O-RING
	1	F064S50	IMPELLER O-RING 9040833
22	1	E4018MR24	COVER PLATE LINER
	1	E4018MR26	COVER PLATE LINER
	1	E4018MR33	COVER PLATE LINER
	1	E4018MS03	COVER PLATE LINER
	1	E4018MS12	COVER PLATE LINER
	1	E4018MS21	COVER PLATE LINER
	1	E4018MS31	COVER PLATE LINER

A1252866

Copyright © Warman Int. Ltd.

Sheet No. 2



WARMAN INTERNATIONAL LTD

6/4 RYFC-AHPP Rubber Lined
6/4 RYFC-AHPP RUBBER LINED

ITEM	QTY	PART No.	DESCRIPTION
22	1	E4018MS42	COVER PLATE LINER 9040834
23	1	E4021A05	IMPELLER
	1	E4021A49	IMPELLER
	1	E4049A05	IMPELLER
	1	E4056A05	IMPELLER
	1	E4056A51	IMPELLER
	1	E4056C25	IMPELLER
	1	E4056N04	IMPELLER
	1	E4147A05	IMPELLER
	1	E4147A12	IMPELLER
	1	E4147A49	IMPELLER
	1	E4147A51	IMPELLER
	1	E4147A61	IMPELLER
	1	E4147C26	IMPELLER
	1	E4147C30	IMPELLER
	1	E4147C55	IMPELLER
	1	E4147R08	IMPELLER
	1	E4147R33	IMPELLER
	1	E4147R38	IMPELLER
	1	E4147S02	IMPELLER
	1	E4147S21	IMPELLER
	1	E4147S31	IMPELLER
	1	E4147S42	IMPELLER
	1	E4147U01	IMPELLER
	1	E4147U02	IMPELLER
	1	E4147U27	IMPELLER
	1	E4250A05	IMPELLER
24	1	E4083R24	THROATBUSH
	1	E4083R26	THROATBUSH
	1	E4083R33	THROATBUSH 9024438
	1	E4083S03	THROATBUSH
	1	E4083S12	THROATBUSH
	1	E4083S21	THROATBUSH
	1	E4083S31	THROATBUSH
	1	E4083S42	THROATBUSH 9040835
25	1	EP4060S01	INTAKE JOINT
	1	EP4060S03	INTAKE JOINT
	1	EP4060S21	INTAKE JOINT
	1	EP4060S42	INTAKE JOINT 9040836
	1	EP4060S52	INTAKE JOINT
26	4	M8H2-16ZC	COWL SET SCREW
27	1	RY439-1E02	FAN GUARD
28	6	M8H2-16ZW	FAN GUARD SET SCREW
29	1	LBL102	GUARD CAUTION LABEL

A125286r6

Copyright © Warman Int. Ltd.

Sheet No. 3



WARMAN INTERNATIONAL LTD

6/4 RYFC-AHPP Rubber Lined
6/4 RYFC-AHPP RUBBER LINED

ITEM	QTY	PART No.	DESCRIPTION
30	1	E109S10	SHAFT SLEEVE O-RING
	1	E109S50	SHAFT SLEEVE O-RING 9040837
31	1	EP044C23	GLAND 9040838
32	1	EP259C23	PACKING RETAINER 9041334
	1	EP259U73	PACKING RETAINER 9040839
33	4	E111Q05	PACKING
	4	E111Q10	PACKING
	4	E111Q22	PACKING
	4	E111Q24	PACKING
34	1	EP118C23	LANTERN RESTRICTOR 9022338
	1	EP118C26	LANTERN RESTRICTOR
	1	EP118-1P50	LANTERN RESTRICTOR
35	4	E045MC23	GLAND BOLT 9041335
36	1	EE076C21	SHAFT SLEEVE
	1	EE076C25	SHAFT SLEEVE
	1	EE076C26	SHAFT SLEEVE
	1	EE076C55	SHAFT SLEEVE
	1	EE076J04	SHAFT SLEEVE
	1	EE076J21	SHAFT SLEEVE
	1	EE076J27	SHAFT SLEEVE
	1	EE076J31	SHAFT SLEEVE
	1	EE076J36	SHAFT SLEEVE
37	1	EP078C55	STUFFING BOX
	1	EP078D21	STUFFING BOX 9031210

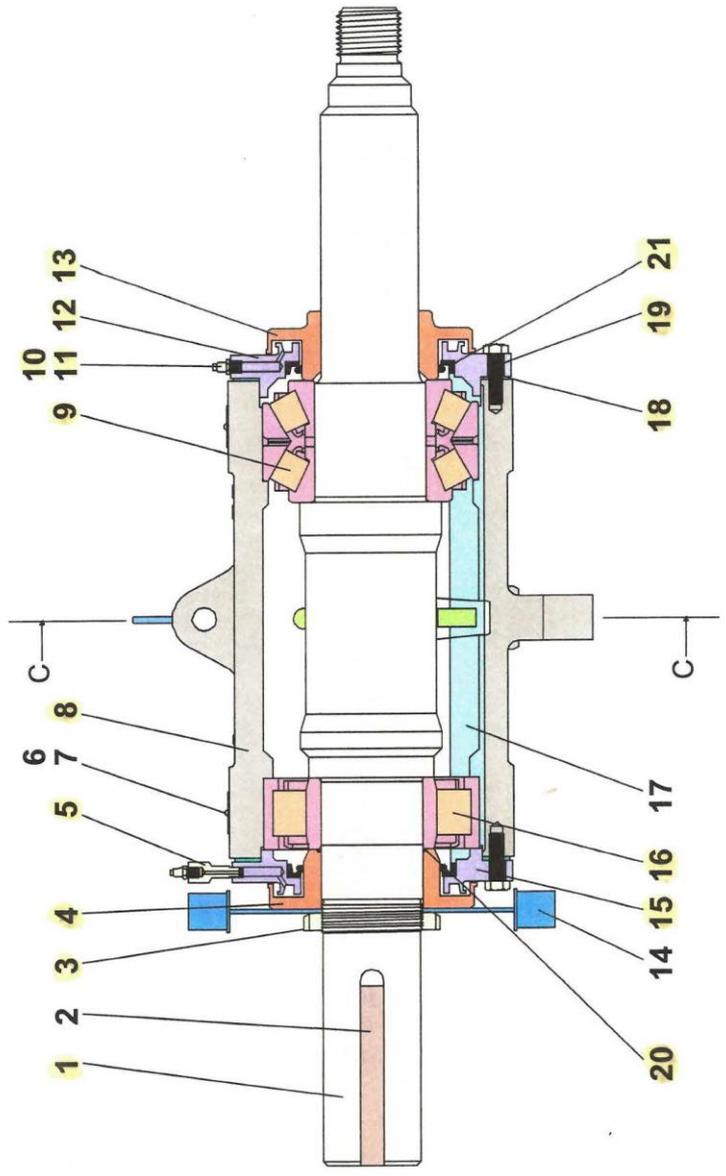
A125286r6

Copyright © Warman Int. Ltd.

Sheet No. 4



WARMAN INTERNATIONAL LTD
Bearing Assembly RY005FC-2M
Bearing Assembly RY005FC-2M



Sheet No. 1

Copyright © Warman Int. Ltd.

A1255073



WARMAN INTERNATIONAL LTD

Bearing Assembly RY005FC-2M

Bearing Assembly RY005FC-2M

ITEM	QTY	PART No.	DESCRIPTION
1	1	RY073-2ME05	SHAFT 9038348
2	1	R070E05	SHAFT KEY
3	1	RY061C23	LABYRINTH LOCKNUT 9038349
4	1	RY062DC21	LABYRINTH 9038350
5	1	RY441E62	GREASE LINE EXTENSION 9040890
6	1	S32C22	NAMEPLATE
7	2	TLP/D424BS	NAMEPLATE RIVET
8	1	RY004MD21	BEARING HOUSING 9040891
9	1	R009	BEARING 9040840
10	2	UP2L70-Z	GREASE NIPPLE 9040892
11	2	A365	GREASE CAP 9040893
12	1	RY024D21	END COVER 9040841
13	1	RY062C21	LABYRINTH 9038351
14	1	RY438E02	FAN
15	1	RY024DD21	END COVER 9040842
16	1	R009D	BEARING 9040843
17			1 LITRE OF OIL (SHELL OMALA 150 OR EQUIVALENT)
18	2	R025S14	END COVER GASKET 9040844
19	16	R027ME62	END COVER SET SCREW 9040853
20	1	35T88N238	O-RING 9040846
21	2	VDHR089S10	BEARING SEAL 9040847
22	1	RY392K11	DIPSTICK
23	1	RY393K11	DIPSTICK HOUSING
24	1	RY176K11	DRAIN PLUG
25	1	TY371	BREATHER
26	1	26T11N111	O-RING

A125507r3

Copyright © Warman Int. Ltd.

Sheet No. 3