



# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Industrial

“Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para incrementar la mantenibilidad de las electrobombas del reservorio R3 de la EPS Sedacaj S.A. Cajamarca, 2019”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Industrial

Autores:

Kevin Alexis Marino Rojas

Johnny Montalvo Jave

Asesor:

Ing. Mg. Karla Rossemary Sisniegas Noriega

Cajamarca - Perú

2019

## **DEDICATORIA**

Dedicamos esta investigación a nuestros padres con el fin de mostrarles nuestras habilidades y progresos adquiridos a lo largo de la carrera.

A nuestros docentes, por tener perseverancia y paciencia en su docencia facilitándonos los conocimientos teóricos y experiencias personales para alcanzar un enfoque real de la vida profesional que nos espera.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a nuestras compañeras Yessica Briones y Ariana Díaz por estar a nuestro lado a lo largo de la carrera universitaria e inspirarnos confianza y apoyo en especial en estos últimos ciclos dándonos fuerza y un desarrollo firme de lo que significa hacer trabajo en equipo.

A nuestros padres por incentivarlos a seguir adelante en la carrera y tener paciencia para alcanzar nuestros objetivos.

A la Ingeniera Karla Sisniegas Noriega por asistirnos durante la realización de nuestra tesis y brindarnos sus conocimientos además de consejos para mejorar la calidad de nuestra investigación.

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>5</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>6</b>
<b>ÍNDICE DE GRÁFICOS.....</b>	<b>7</b>
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES.....</b>	<b>8</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>9</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>10</b>
1.1. Realidad problemática.....	10
1.2. Formulación del problema.....	16
1.3. Objetivos .....	16
1.4. Hipótesis.....	17
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA .....</b>	<b>18</b>
2.1. Tipo de investigación .....	18
2.2. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos .....	18
2.3. Procedimiento .....	22
2.4. Matriz de Consistencia .....	24
2.5. Matriz de Operacionalización de Variables .....	24
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS.....</b>	<b>27</b>
3.1. Información general de la empresa .....	27
3.2. Diagnóstico general del área de estudio .....	28
3.3. Diagnóstico de la variable “Mantenibilidad de electrobombas” .....	43
3.4. Diagnóstico de la variable “Plan de Mantenimiento Preventivo” .....	60
3.5. Matriz de operacionalización de variables con resultados diagnóstico .....	68
3.6. Diseño de un plan de mantenimiento preventivo.....	70
3.7. Diseño de mejora de variable “Mantenibilidad de electrobombas” .....	79
3.8. Diseño de mejora de variable “Plan de Mantenimiento Preventivo” .....	97
3.9. Matriz de operacionalización de variables con resultados diagnóstico y mejora.....	107
3.10. Análisis económico/financiero .....	110
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....</b>	<b>117</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>123</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>126</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Técnicas e instrumentos de recolección y procedimientos de recolección de datos .....	19
Tabla N° 2: Análisis de Datos .....	22
Tabla N° 3: Instrumentos para el procesamiento de análisis de datos .....	23
Tabla N° 4: Matriz de Consistencia .....	24
Tabla N° 5: Operacionalización de Variables.....	25
Tabla N° 6: Datos para el cálculo de la mantenibilidad de la electrobomba B - 1 .....	44
Tabla N° 7: Datos Modelado Weibull .....	45
Tabla N° 8: Datos Modelado Normal.....	47
Tabla N° 9: Datos Modelado Exponencial.....	49
Tabla N° 10: Datos para el cálculo de la mantenibilidad de la electrobomba B - 2.....	51
Tabla N° 11: Datos Modelado Weibull.....	52
Tabla N° 12: Datos Modelado Normal .....	54
Tabla N° 13: Datos Modelado Exponencial.....	56
Tabla N° 14: Datos para el cálculo del MTBF de la electrobomba B - 1 .....	61
Tabla N° 15: Datos para el cálculo del MTBF de la electrobomba B - 2 .....	62
Tabla N° 16: Datos para el desarrollo del MTTR de la electrobomba B - 1 .....	63
Tabla N° 17: Datos para el desarrollo del MTTR de la electrobomba B - 2 .....	64
Tabla N° 18: Matriz de operacionalización de variables con resultados diagnóstico .....	68
Tabla N° 19: Datos supuestos para el cálculo de la mantenibilidad de la electrobomba B - 1.....	81
Tabla N° 20: Datos Modelado Weibull.....	82
Tabla N° 21: Datos Modelado Normal .....	84
Tabla N° 22: Datos Modelado Exponencial.....	86
Tabla N° 23: Datos supuestos para el cálculo de la mantenibilidad de la electrobomba B - 2.....	88
Tabla N° 24: Datos Modelado Weibull.....	89
Tabla N° 25: Datos Modelado Normal .....	91
Tabla N° 26: Datos Modelado Exponencial.....	93
Tabla N° 27: Datos supuestos para el cálculo del MTBF de la electrobomba B - 1.....	98
Tabla N° 28: Datos supuestos para el cálculo del MTBF de la electrobomba B - 2.....	98
Tabla N° 29: Datos supuestos para el desarrollo del MTTR de la electrobomba B - 1 .....	100
Tabla N° 30: Datos supuestos para el desarrollo del MTTR de la electrobomba B - 2 .....	101
Tabla N° 31: Cronograma de mantenimientos preventivos programados .....	106
Tabla N° 32: Matriz de operacionalización de variables con resultados diagnóstico y mejora .....	107
Tabla N° 33: Costos por procedimientos (maquinaria, equipos y herramientas) .....	110
Tabla N° 34: Costos en capacitaciones anuales .....	111
Tabla N° 35: Costos por implementos .....	111
Tabla N° 36: Costo en material de registro .....	112
Tabla N° 37: Costos por incurrir en la propuesta de mejora .....	113
Tabla N° 38: Costos de reparación por mantenimiento correctivo .....	114
Tabla N° 39: Costos por no incurrir en la propuesta de mejora .....	115
Tabla N° 40: Flujo de caja neto .....	115
Tabla N° 41: VAN, TIR, IR .....	115

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1: Diagrama de causa y efecto .....</b>	<b>30</b>
<b>Figura 2: Diagrama de Procesos .....</b>	<b>32</b>
<b>Figura 3: Diagrama de la propuesta de mejora .....</b>	<b>70</b>
<b>Figura 4: Mejora del diagrama de procesos .....</b>	<b>79</b>

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: ¿Usted sabe manejar las electrobombas Hidrostral presentes en el reservorio R3? .....	33
Gráfico 2: ¿Recibió algún tipo de capacitación? .....	34
Gráfico 3: ¿Alguna vez ocurrió un paro de funcionamiento de las electrobombas Hidrostral por corte del servicio eléctrico (apagón)? .....	35
Gráfico 4: ¿Se dañó el equipo por el corte del suministro eléctrico ocurrido (apagón)? .....	36
Gráfico 5: ¿Alguna vez las electrobombas han dejado de funcionar por algún problema mecánico? ..	37
Gráfico 6: ¿Conoce usted si las electrobombas presentes en el reservorio R3 cuentan con algún tipo de mantenimiento?.....	38
Gráfico 7: ¿Las electrobombas presentes en el reservorio R3 funcionan al mismo tiempo? .....	39
Gráfico 8: ¿Dichas electrobombas fueron adquiridas por la empresa y puestas en funcionamiento simultáneamente?.....	40
Gráfico 9: ¿Alguna vez las electrobombas se han sobrecalentado durante su funcionamiento? .....	41
Gráfico 10: ¿Alguna vez las electrobombas han emitido sonidos o irregularidades durante el proceso? .....	42
Gráfico 11: Modelado Weibull .....	46
Gráfico 12: Modelado Distribución Normal.....	48
Gráfico 13: Modelo Exponencial .....	50
Gráfico 14: Modelado Weibull .....	53
Gráfico 15: Modelado Distribución Normal.....	55
Gráfico 16: Modelo Exponencial .....	57
Gráfico 17: Modelado Weibull .....	83
Gráfico 18: Modelado Distribución Normal.....	85
Gráfico 19: Modelado Exponencial.....	86
Gráfico 20: Modelado Weibull .....	90
Gráfico 21: Modelado Normal.....	92
Gráfico 22: Modelado Exponencial.....	93

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Mantenibilidad .....	22
Ecuación 2: Disponibilidad .....	22
Ecuación 3: Tiempo promedio entre fallas.....	22
Ecuación 4: Tiempo promedio para reparar .....	22
Ecuación 5: Porcentaje de utilización de la máquina.....	22
Ecuación 6: Número de mantenimientos programados .....	22

## RESUMEN

En la presente investigación se analizó a una EPS encargada del abastecimiento de agua potable y saneamiento en la ciudad de Cajamarca llamada SEDACAJ S.A., en la cual se pudo observar una carencia de un plan de mantenimiento preventivo que permita prolongar el tiempo de vida útil de sus equipos, de esta manera se planteó el objetivo de diseñar dicho plan de mantenimiento preventivo que permita incrementar la mantenibilidad de las electrobombas del reservorio R3 de la EPS SEDACAJ S.A., con este fin se desarrolló un sistema de mantenimiento preventivo programado y formatos de mantenimiento, los cuales permitirán mejorar el desempeño en la presente propuesta, originando la hipótesis que ante el diseño de un plan de mantenimiento preventivo es posible incrementar la mantenibilidad de las electrobombas del reservorio R3; una vez aplicada la propuesta de mejora se puede concluir que la mantenibilidad se incrementará en un 38.86% en la electrobomba B1 y 40.73% en B2 permitiendo a la empresa mejorar el servicio que se viene brindando al ciudadano Cajamarquino, finalmente recomendar la implementación de la presente mejora, ya que como se viene mostrando permitirá el incremento de la mantenibilidad actual de las electrobombas presentes en el reservorio R3.

**Palabras clave:** mantenimiento, preventivo, mantenibilidad, electrobomba.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

El mantenimiento puede considerarse tan antiguo como la existencia de la humanidad. Por relatos históricos se conoce que el hombre desde sus principios practica el mantenimiento, desde utensilios primitivos, hasta las herramientas de su trabajo diario; aunque no en forma lógica y ordenada, sino forzado por las necesidades básicas para su supervivencia, dicha forma primitiva de mantenimiento fue dando cada vez utilidad al hombre en sus fines, dando una evolución previa al mantenimiento conocido en la actualidad, durante la segunda guerra mundial, surgió la necesidad de implementar técnicas con el objetivo de prevenir las fallas de los equipos, a diferencia de la antigüedad que su principal objetivo era el reemplazar el objeto defectuoso, después del cual se formaron las bases del mantenimiento que actualmente se conoce como preventivo.

Sin embargo los fines bélicos no son los límites de dicho mantenimiento, el constante crecimiento de la sociedad y la insaciable consumismo del hombre fomentó el crecimiento de diversas industrias, que requieren de diversas tecnologías y métodos que les permitan ser competitivas y poder abastecer la constante demanda, que en muchos casos no se limitan a los ámbitos locales y nacionales, la importancia de este mantenimiento reside en observar y analizar por lo que todo equipo puede sufrir fallas a largo o mediano plazo, ya sea por deterioro, desgaste, factores ambientales, sobre cargas, calentamiento, mala operación, fatiga, corrosión, movimiento, entre otros; definiendo las causas el mantenimiento preventivo puede proponer métodos que eviten el recorte de la vida útil de un equipo o maquinaria. (García Palencia, 2012)

De esta manera se conoce el caso presentado por los investigadores Miguel Uribe y José Grajeda, el cual busca implementar un plan de mantenimiento preventivo en un conjunto de motoniveladoras pertenecientes a la empresa minera Yanacocha, las cuales presentan fallos y problemas en el funcionamiento por el constante uso, desgaste por los elementos y la mezcla del aceite con minerales por el propio uso de dichos equipos, de esta manera se conoce que la empresa emplea costos adicionales para mantenerlos operativos evitando los tiempos muertos, siendo de vital importancia solucionar dicho inconveniente.

Mediante esta investigación se determinan los beneficios de la implementación de un plan de mantenimiento preventivo para la flota de motoniveladoras dentro de la empresa minera Yanacocha con la finalidad de incrementar la vida útil de la tornamesa o círculos de giro de estos equipos. Para ello se realizó un análisis de la situación actual de la gestión de mantenimiento de la empresa, se identificó los modos de falla y problemas mecánicos de mayor impacto referido al tornamesa de la motoniveladora 24H, se elaboró un plan de la gestión de mantenimiento en base a nuevas prácticas y labores específicas en la empresa minera y se estimó la variación de vida del mantenimiento de la motoniveladora 24H de la empresa minera. Se concluye que el desgaste acelerado de los elementos encontrados en las muestras de aceite como son: El hierro, cobre y aluminio disminuye el tiempo de vida del tornamesa de las motoniveladoras 24H por lo que el plan de mantenimiento está enfocado al control de estos elementos de desgaste, de esta manera se incrementará el ciclo de vida útil del componente y los beneficios adicionales. (Uribe Apaza & Grajeda Carcausto, 2018)

El mantenimiento preventivo, provee una clara ventaja en la planificación, que permite desarrollar un método que lidia con los constantes problemas en la disponibilidad en la maquinaria y equipos en empresas productoras o entidades que presten servicios, sin embargo no todas las empresas presentan este tipo de mantenimiento, optando en su totalidad por el cambio de refacciones o del equipo cuando este ya no cumple con su propósito, tal es el caso de la EPS analizada en la presente investigación, las razones pueden variar ya sea por la falta de presupuesto o el ahorro en los costos de activos fijos.

Según Arias Ulloa investigador de un programa preventivo aplicado en una planta productora de hormigón pre mezclado afirma que dicha planta no contaba con un plan de mantenimiento preventivo, ya que presentaba constantes problemas, por esta razón el objetivo de su investigación fue de diseñar un programa de mantenimiento preventivo para la mencionada industria productora de hormigón premezclado, con el fin de permitir tener un mantenimiento planificado, dirigido y controlado. El plan semanal de mantenimiento permite realizar una función importante dentro de la gestión de mantenimiento, la cual es la de planificar, que consiste en definir metas, establecer metas y coordinar las actividades. La lista de trabajo preventivos, son actividades diseñadas para minimizar el riesgo de fallas de los equipos.

El resultado que se obtuvo, fue el desarrollo de un programa de mantenimiento preventivo para la industria productora de hormigón pre mezclado, que garantice un 85% de confiabilidad de los equipos o seguridad de funcionamiento, y por ende el aumento de la capacidad de los equipos para funcionar en un instante determinado y aumentar la capacidad para operar sin producir daño. Adicionalmente, lograr

estandarizar y mejorar la productividad de la mano de obra, en las actividades de mantenimiento. (Arturo, 2004)

Así mismo la mantenibilidad de los equipos contribuye con la continuidad del desarrollo de las operaciones dentro de una empresa, siendo vital para rubros como la producción o abastecimiento de servicios, con un mayor control de la mantenibilidad de los equipos en la cadena de producción se podrán evitar paros prolongados por reparación y tiempos de descanso no programado para el personal.

Según Rodríguez del Águila la mantenibilidad es la característica inherente de un elemento, asociada a su capacidad de ser recuperado para el servicio cuando se realiza la tarea de mantenimiento necesaria según se especifica, la mantenibilidad depende de factores intrínsecos al sistema de los equipos y de los factores propios de la organización de mantenimiento como personal ejecutor, su nivel de especialización, sus procedimientos y los recursos disponibles para la ejecución de las actividades presentes en la empresa (Talleres, infraestructuras, equipos especializados, herramientas, instrumentos, etc.).

Basándonos en la propuesta de mejora de la gestión de mantenimiento justificado en la mantenibilidad de equipos de acarreo planteada, el autor dio como resultado a su investigación una mejora del 0.3% al tiempo óptimo propuesto por la empresa, los resultados de la Gestión de mantenimiento de los equipos de acarreo (68 camiones en total: 24 camiones 793D, 30 camiones 793C, 10 camiones 785C y 04 camiones 777 D/F) de la empresa minera en Cajamarca, materia del siguiente estudio, se observa que el indicador MTTR de mantenibilidad cuyo objetivo es obtener un tiempo medio entre reparación de 3 a 5 horas de duración después del fallo en operación de los equipos se logró, dando una mejor respuesta en comparación a los anteriores años evaluados,

MTTR real año 2010: 4.9 hrs., MTTR real año 2011: 5.3 hrs. (Rodriguez del Aguila, 2012)

De igual manera empresas como Otorgo LTDA presentan problemas similares al antes mencionado por la carencia de un plan de mantenimiento preventivo adecuado según Barona Pulzara, personaje quien diseño e implemento un programa de mantenimiento para las máquinas sopladoras e inyectora de la empresa OTORGO LTDA. En la empresa Otorgo Ltda. Se presentó la necesidad de organizar el mantenimiento de una manera técnica, debido a la constante utilización del mantenimiento correctivo que no cumplía con las expectativas de la gerencia de producción debido a los costos adicionales generados.

La solución planteada en este trabajo, es un plan de mantenimiento preventivo que establece de manera clara tres actividades relacionadas con lubricación, mantenimiento eléctrico o electrónico y mantenimiento mecánico. Para diseñar el plan de mantenimiento preventivo se estudiaron los fallos y averías de los reportes de producción de los años 2009 y 2010, y con la ayuda del personal de planta se hizo el levantamiento de las actividades con su procedimiento y frecuencia para las máquinas inyectoras, sopladoras e inyectoro-sopladoras. Esta propuesta es una herramienta valiosa al momento de organizar de manera sistemática el mantenimiento preventivo de la planta, con la implementación de este mantenimiento conlleva, prever al máximo cualquier daño repentino en los equipos usados para el proceso, este objetivo es muy claro al momento de implementar un plan de mantenimiento preventivo. (Alexander, 2011)

Por otra parte, según Pedro Mosquera, buscando incrementar la disponibilidad de la maquinaria presente ECOSERMY-YAULI, plantea el desarrollo de un plan de

mantenimiento preventivo que le permita mejorar la ya mencionada disponibilidad del cargador frontal 962H de dicha empresa, ya que, al realizar una investigación del estado de esta entidad, esta carecía de un plan de mantenimiento que no sea correctivo, ocasionando penalidades del 10% de la producción mensual por parte de la compañía y una insatisfacción hacia el cliente (Volcan) ocasionándoles menor producción en su chancado de mineral (plomo, plata, pirita y zinc).

El plan de mantenimiento preventivo ayuda a tener un mejor control y así mismo incrementar la disponibilidad, y se corregirá la demora en reparaciones de mantenimientos preventivos, también las demoras en inspecciones del equipo, aplicando dicho plan de mantenimiento se logró incrementar la disponibilidad del cargador frontal de un 78% al 91%, permitiendo eliminar las penalidades del 10% que afectaban al socio estratégico de la empresa (Volcan). (Mosquera Peña, 2018)

EPS Sedacaj es una empresa de saneamiento que abastece a la ciudad de Cajamarca con agua potable desde diciembre de 1982, sufriendo cambios y mejoras para garantizar la calidad en el agua y en el servicio a los ciudadanos de la localidad de Cajamarca, sin embargo en el transcurso de los años en la búsqueda de mejorar su infraestructura y tecnología, la empresa invirtió en planes de mantenimiento correctivo sin desarrollar un plan a largo plazo que les permita prolongar la vida del equipo, tal es el caso de sus dos electrobombas funcionales en el reservorio R3, esto se debe a que tradicionalmente cuando un equipo se descomponía se tenía que cambiar o reparar, no obstante en la actualidad se hace mucho énfasis a la aplicación de un mantenimiento preventivo que permita evitar fallos a corto plazo de dichos equipos durante su proceso productivo.

Así mismo la aplicación de un mantenimiento preventivo facilitaría el mantenimiento evitando paros innecesarios en las electrobombas que abastecen al reservorio R5 que posteriormente abastecerá a las zonas altas de la ciudad de Cajamarca evitando perjudicar el servicio y bienestar de la población; Esto quiere decir que EPS Sedacaj no cuenta con un plan de mantenimiento preventivo adecuado que impida el paro innecesario en sus electrobombas del reservorio R3.

Se definió lo que es un Plan de Mantenimiento (Pesantez Huerta, 2007), menciona que el plan de mantenimiento preventivo viene a ser un programa de tareas y procesos de manutención anual programado, organizado y estructurado sobre la base de unidades técnicas, buscando especificar al detalle las fechas y los tipos de actividades que se deben realizar en maquinarias o equipos.

La mantenibilidad se puede definir como la expectativa que se tiene de que un equipo o sistema pueda ser colocado en condiciones de operación dentro de un periodo de tiempo establecido, cuando la acción de mantenimiento es ejecutada de acuerdo con procedimientos prescritos. (Mesa Grajales, Ortiz Sanchez, & Pinzón, 2006)

## **1.2. Formulación del problema**

¿En qué medida el diseño de un plan de mantenimiento preventivo incrementará la mantenibilidad de las electrobombas del reservorio R3 de la EPS Sedacaj S.A. Cajamarca, 2019?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Diseñar un plan de mantenimiento preventivo para incrementar la mantenibilidad de las electrobombas del reservorio R3 de la EPS Sedacaj S.A. Cajamarca, 2019.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Analizar el mantenimiento y mantenibilidad de las electrobombas presentes en el reservorio R3.
- Diseñar un plan de mantenimiento preventivo para incrementar la mantenibilidad de las electrobombas del reservorio R3.
- Medir la mantenibilidad de las electrobombas del reservorio R3 después del diseño.
- Realizar un análisis económico/financiero para evaluar la viabilidad del diseño.

### **1.4. Hipótesis**

El diseño de un plan de mantenimiento preventivo incrementará la mantenibilidad de las electrobombas del reservorio R3 de la EPS Sedacaj S.A. Cajamarca, 2019.

## **CAPÍTULO II. METODOLOGÍA**

### **2.1. Tipo de investigación**

El tipo de investigación usado en la presente investigación es: “Investigación No experimental - Descriptiva”

La investigación no experimental es aquella que se realiza sin manipular deliberadamente variables. Es decir, es investigación donde no hacemos variar intencionalmente las variables independientes. Por lo tanto, la presente investigación se le atribuye la característica de no experimental al cumplir con la definición. (Toro Jaramillo & Parra Ramírez, 2006)

La definición de una investigación descriptiva comprende en él, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual, composición o procesos de los fenómenos. El enfoque se hace sobre conclusiones dominantes, o sobre como una persona, grupo o cosa, se conduce o funciona en el presente. (Moguel, 2005), de esta manera se afirma que el presente proyecto posee un tipo de investigación descriptiva.

### **2.2. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos**

#### **2.2.1. Técnicas e instrumentos de recolección**

En la presente investigación se emplearon técnicas e instrumentos de recolección con fines de obtener los datos más confiables para el desarrollo de la presente tesis, así mismo se justificará el porqué de las técnicas utilizadas detalladamente, finalmente se indicará los instrumentos que se utilizaron en la presente Tabla N° 1.

**Tabla N° 1: Técnicas e instrumentos de recolección y procedimientos de recolección de datos**

TÉCNICA	JUSTIFICACIÓN	INSTRUMENTOS	APLICACIÓN
<b>Entrevista</b>	Permitirá obtener los antecedentes de las electrobombas Hidrostal y el mantenimiento aplicado a estas.	Guía de entrevista Cámara fotográfica y de video	Jefe del área de mantenimiento y control de perdidas, operador de las electrobombas Hidrostal del reservorio R3 y operador de mantenimiento de la EPS Sedacaj S.A.
<b>Encuesta</b>	Permitirá conocer el estado actual de las electrobombas Hidrostal y el plan de mantenimiento actual que estas poseen.	Encuestas Lapiceros Porta documentos	Operador de las electrobombas Hidrostal del reservorio R3 y operador de mantenimiento de la EPS Sedacaj S.A.
<b>Observación Directa</b>	Permitirá percibir el estado físico de la infraestructura, el estado mecánico de las electrobombas y la supervisión por parte del personal a cargo del mantenimiento.	Cámara fotográfica y de video. Cuaderno Lapiceros	Operador de las electrobombas Hidrostal del reservorio R3.

Fuente: Elaboración Propia

#### a) Entrevista

**Elaboración de la entrevista:** los presentes investigadores elaboraron una entrevista dirigida al personal directamente relacionado a las electrobombas analizadas en la presente investigación, dichas personas son “jefe del área de mantenimiento y control de perdidas, operador de las electrobombas Hidrostal del reservorio R3 y operador de mantenimiento de la EPS Sedacaj S.A.”; ver Anexo 1.

#### **Secuencia de la entrevista:**

- Coordinación con el jefe del área de mantenimiento y control de pérdidas, operador de las electrobombas Hidrostal del reservorio R3 y operador de mantenimiento de la EPS Sedacaj S.A., para desarrollar la entrevista.
- Entrevistar al jefe del área de mantenimiento y control de pérdidas durante 8 minutos.
- Entrevistar al operador de las electrobombas Hidrostal del reservorio R3 durante 8 minutos.
- Entrevistar al operador de mantenimiento de la EPS Sedacaj S.A. durante 8 minutos.
- Registrar y analizar toda la información obtenida.

#### b) Encuesta

**Elaboración de la encuesta:** los presentes investigadores elaboraron una encuesta dirigida al personal directamente relacionado a las electrobombas analizadas en la presente investigación, dichas personas son “operador de las electrobombas Hidrostal del reservorio R3 y operador de mantenimiento de

la EPS Sedacaj S.A.”, la mencionada encuesta contendrá 17 preguntas; ver Anexo 2 y 3.

**Secuencia de la encuesta:**

- Coordinación con el operador de las electrobombas Hidrostal del reservorio R3 y operador de mantenimiento de la EPS Sedacaj S.A., para desarrollar la encuesta.
- Entrevistar al operador de las electrobombas Hidrostal del reservorio R3 durante 10 minutos.
- Entrevistar al operador de mantenimiento de la EPS Sedacaj S.A. durante 10 minutos.
- Registrar y analizar toda la información obtenida.

**c) Observación Directa**

**Elaboración de la observación directa:** la observación directa se desarrollará dentro de las instalaciones del reservorio R3 de la EPS Sedacaj S.A., se observará e identificará el estado actual de los equipos además de tomar evidencias fotográficas y filmográficas del funcionamiento. Ver Anexo 4 y 5.

**Secuencia de la observación directa:**

- Coordinación con el Operador de las electrobombas Hidrostal del reservorio R3, para la visita de las instalaciones y de los equipos B1 y B2 (electrobombas Hidrostal).
- Registrar fotografías del funcionamiento de las electrobombas.
- Registrar videos del funcionamiento de las electrobombas.
- Registrar la información obtenida.

### 2.2.2. Análisis de datos

Para el desarrollo de un diseño de un plan de mantenimiento preventivo en el reservorio R3 de la EPS Sedacaj, se necesitarán métodos durante el estudio, los cuales se muestran de una forma detallada en la Tabla N° 2.

**Tabla N° 2: Análisis de Datos**

INDICADOR	MÉTODOS	INSTRUMENTO
<b>Mantenibilidad</b>	$M = DISTR. NORM(x; media; Desv. Est; 1)$ Ecuación 1: Mantenibilidad	Microsoft Office Excel
<b>Disponibilidad</b>	$= \frac{Disponibilidad}{Horas Totales - Horas parada por mantenimiento}$ $= \frac{Horas Totales}{Horas Totales}$ Ecuación 2: Disponibilidad	Microsoft Office Excel
<b>Tiempo Promedio entre Fallas</b>	$MTBF = \frac{N^{\circ} de horas Operativas}{N^{\circ} de paradas correctivas}$ Ecuación 3: Tiempo promedio entre fallas	Microsoft Office Excel
<b>Tiempo Promedio para Reparar</b>	$MTTR (Hrs/Rep) = \left( \frac{Total Horas Reparación}{N^{\circ} Reparaciones} \right)$ Ecuación 4: Tiempo promedio para reparar	Microsoft Office Excel
<b>Porcentaje de Utilización de la Máquina</b>	$UM = \frac{Horas Trabajadas}{Horas Disponibles} * 100\%$ Ecuación 5: Porcentaje de utilización de la máquina	Microsoft Office Excel
<b>Número de mantenimientos programados (MP)</b>	$MP (\%) = \frac{Horas Programadas de Trabajo}{Horas de Mantenimiento de Fabricante}$ Ecuación 6: Número de mantenimientos programados	Microsoft Office Excel

Fuente: Elaboración Propia

### 2.3. Procedimiento

Los instrumentos empleados para el procesamiento de análisis de datos se muestran en la Tabla N° 3.

**Tabla N° 3: Instrumentos para el procesamiento de análisis de datos**

<b>INSTRUMENTOS</b>	<b>JUSTIFICACIÓN</b>
<b>Microsoft Office Word</b>	Permitirá registrar y plasmar los resultados obtenidos durante la investigación.
<b>Microsoft Office Excel</b>	Permitirá desarrollar nuestros indicadores además de elaborar cuadros que ayuden en la interpretación de nuestros datos.
<b>Microsoft Office PowerPoint</b>	Permitirá elaborar nuestro material didáctico para la presentación de nuestra investigación.

Fuente: Elaboración Propia

## 2.4. Matriz de Consistencia

Tabla N° 4: Matriz de Consistencia

MATRIZ DE CONSISTENCIA				
PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
<b>1. Problema General:</b>	<b>1. Objetivo General</b>	<b>1. Hipótesis General</b>	<b>Variable independiente:</b>	Tipo de investigación: Descriptiva.
¿En qué medida el diseño de un plan de mantenimiento preventivo incrementará la mantenibilidad de las electrobombas del reservorio R3 de la EPS Sedacaj S.A. Cajamarca, 2019?	Diseñar un plan de mantenimiento preventivo para incrementar la mantenibilidad de las electrobombas del reservorio R3 de la EPS Sedacaj S.A. Cajamarca, 2019.	El diseño de un plan de mantenimiento preventivo incrementará la mantenibilidad de las electrobombas del reservorio R3 de la EPS Sedacaj S.A. Cajamarca, 2019.	Plan de Mantenimiento Preventivo  <b>Variable dependiente:</b> Mantenibilidad de electrobombas	Diseño de investigación: No experimental.  Técnicas e instrumentos: Entrevista (Guía de entrevista, Cámara fotográfica y de video), Encuesta (Encuestas, lapiceros y porta documentos) y Observación Directa (Cámara fotográfica y de video, cuaderno y lapiceros).

Fuente: Elaboración Propia

## 2.5. Matriz de Operacionalización de Variables

Las variables de estudio de la presente investigación son:

- Variable independiente: Plan de mantenimiento preventivo
- Variable dependiente: Mantenibilidad de electrobombas

**Tabla N° 5: Operacionalización de Variables**

Variable	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores
<b>Dependiente</b>			
<b>Mantenibilidad de electrobombas</b>	<p>Es el tiempo total bajo el que puede esperarse que se reparen un porcentaje fijo de fallos. (Creus Solé, 2011)</p>	<p>Mantenibilidad de las electrobombas</p>	<p>% de mantenibilidad</p> $M = DISTR. NORM(x; media; Desv. Est; 1)$ <hr/> <p>% de disponibilidad</p> $Disponibilidad = \frac{Horas Totales - Horas parada por mantenimiento}{Horas Totales}$
<b>Independiente</b>			

<b>Plan de mantenimiento preventivo</b>	Es aquel que	Tiempo	N° de horas/falla
	sirve para garantizar las prestaciones y tiempos de operación de los equipos. (Navas Carrillo, 2015)	Promedio entre fallas (MTBF)	$MTBF = \frac{N^{\circ} \text{ de horas Operativas}}{N^{\circ} \text{ de paradas correctivas}}$
		Tiempo	N° de horas/falla
		Promedio para reparar (MTTR)	$MTTR \text{ (Hrs/ Rep)} = \frac{\text{Total Horas Reparación}}{N^{\circ} \text{ Reparaciones}}$
		Utilización de la Máquina	% de utilización
			$UM = \frac{\text{Horas Trabajadas}}{\text{Horas Disponibles}} * 100\%$
		Cumplimiento de mantenimientos programados (MP)	N° de mantenimientos
			$MP (\%) = \frac{\text{Horas Programadas de Trabajo}}{\text{Horas de Mantenimiento de Fabricante}}$

Fuente: Elaboración Propia

## CAPÍTULO III. RESULTADOS

### 3.1. Información general de la empresa

#### 3.1.1. Referencias generales de la empresa

A continuación, se muestra las referencias generales:

- **Nombre de la empresa:** Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento S.A. Cajamarca.
- **Número de RUC:** 20113733641
- **Tipo de Contribuyente:** Sociedad Anónima.
- **Nombre Comercial:** EPS Sedacaj.
- **Estado del Contribuyente:** Activo.
- **Gerente:** Ing. José Lino Gutiérrez Mantilla.
- **Ubicación:** la empresa se encuentra localizada en la provincia de Cajamarca, distrito de Cajamarca, en el Jr. Cruz de Piedra # 150

#### 3.1.2. Descripción general de la empresa

La "Empresa prestadora de servicio de agua potable y alcantarillado sanitario de Cajamarca" (EPS SEDACAJ S.A.) se inicia mediante Ley N° 501 con razón social SENAPA (Servicio nacional de agua potable y alcantarillado) y las unidades operativas de Celendín, Contumazá, San Miguel, Cutervo, Chota, Bambamarca, Jaén; para luego mediante decreto supremo N° 011 ser creada la filial de SENAPA. Con D.S. N° 016-PCM-90 se transfiere el patrimonio de los servicios de agua potable y alcantarillado sanitario a las Municipalidades Provinciales de Cajamarca, Celendín, Contumazá, Chota, Bambamarca, Jaén, San Miguel con la denominación de EPS SEMDACA S.A. Mediante la readecuación de los estatutos sociales en

concordancia a la Ley N° 26338 y su reglamento se forma la Empresa prestadora de servicios de saneamiento de Cajamarca EPS SEDACAJ S.A., cuyo objetivo es el desarrollo, control, operación y mantenimiento de los servicios de agua potable y alcantarillado sanitario en las localidades de Cajamarca, San Miguel y Contumazá con funciones específicas para este fin, en los aspectos de planeamiento, programación, financiamiento, preparación de proyectos, ejecución de obras, asesoría y asistencia técnica, supervisión de funcionamiento y evaluación de resultados.

Con la facultad de fijar y actualizar cánones y tarifas para los servicios que presta en el ejercicio de su objetivo la EPS SEDACAJ S.A. actúa con criterio económico, financiero propio de los ingresos por pensiones de agua potable y servicios colaterales. La EPS SEDACAJ S.A. es una empresa estatal de derecho privado, íntegramente de propiedad del estado organizada para funcionar como sociedad anónima, con sujeción a la sección IV de la ley de sociedades mercantiles establecido por el decreto legislativo No. 150 y a lo que determina el estatuto de la empresa. (EPS SEDACAJ S.A., 2019)

### **3.2. Diagnóstico general del área de estudio**

El área de estudio a analizar en la presente investigación es la responsable directa del funcionamiento, mantenimiento e inspección de las electrobombas estudiadas en la presente tesis; el área de mantenimiento y control de perdidas lleva en funcionamiento en la EPS Sedacaj S.A. desde el primer día de apertura, así mismo dicha área cumple con las siguientes funciones específicas:

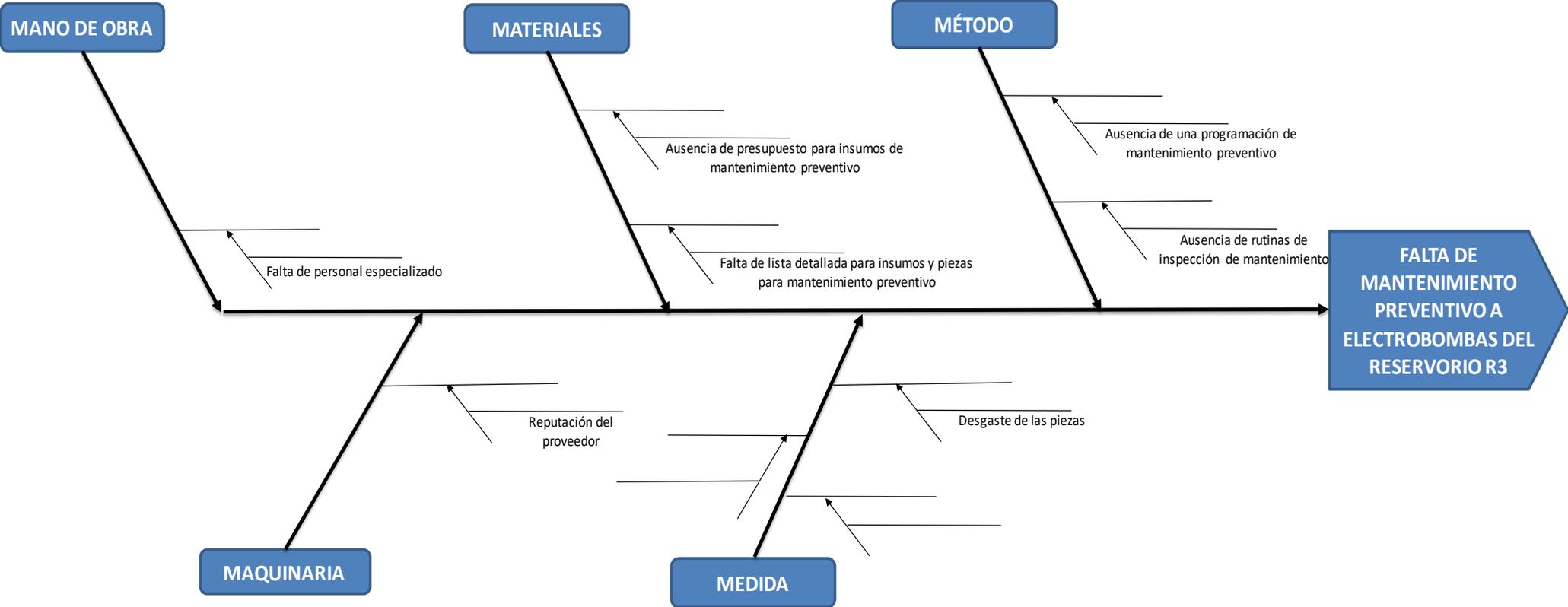
Formular los planes de mantenimiento preventivo de los sistemas de agua potable y

alcantarillado; Ejecutar el programa de mantenimiento preventivo de los sistemas de agua potable y alcantarillado; Ejecutar el mantenimiento correctivo de los sistemas de agua potable y alcantarillado; Solicitar los materiales y los recursos necesarios para desarrollar su función; Programar y ejecutar el sistema de seguridad e higiene ocupacional; Emitir informes periódicos sobre el avance de los programas previamente establecidos; Informar a su jefe inmediato de las actividades que desarrolla, incidencias o algunos percances del proceso productivo; Ejecutar los planes de prevención de riesgos de los sistemas a su cargo de acuerdo a las normas legales vigentes; Dirigir el programa de control de pérdidas de agua potable dentro del ámbito de la EPS, estableciendo equipos de trabajo; Cumplir con el sistema de control interno; Informar a su jefe inmediato de la reparación de las incidencias principales; Afrontar las emergencias que se produzcan en los servicios; Dirigir la ejecución de conexiones domiciliarias de agua potable y alcantarillado. (EPS SEDACAJ S.A., 2019)

Observando las funciones establecidas para el área de mantenimiento y control de perdidas, se pudo detectar una carencia de un plan que permita a los equipos prolongar su tiempo de vida útil, tal es el caso de un plan de mantenimiento preventivo, esta ausencia representa la falta de inspecciones, insumos, presupuestos y operadores especializados en dicho mantenimiento. Ver Figura 1: Diagrama de causa y efecto y Figura 2: Diagrama de procesos.

Figura 1: Diagrama de causa y efecto

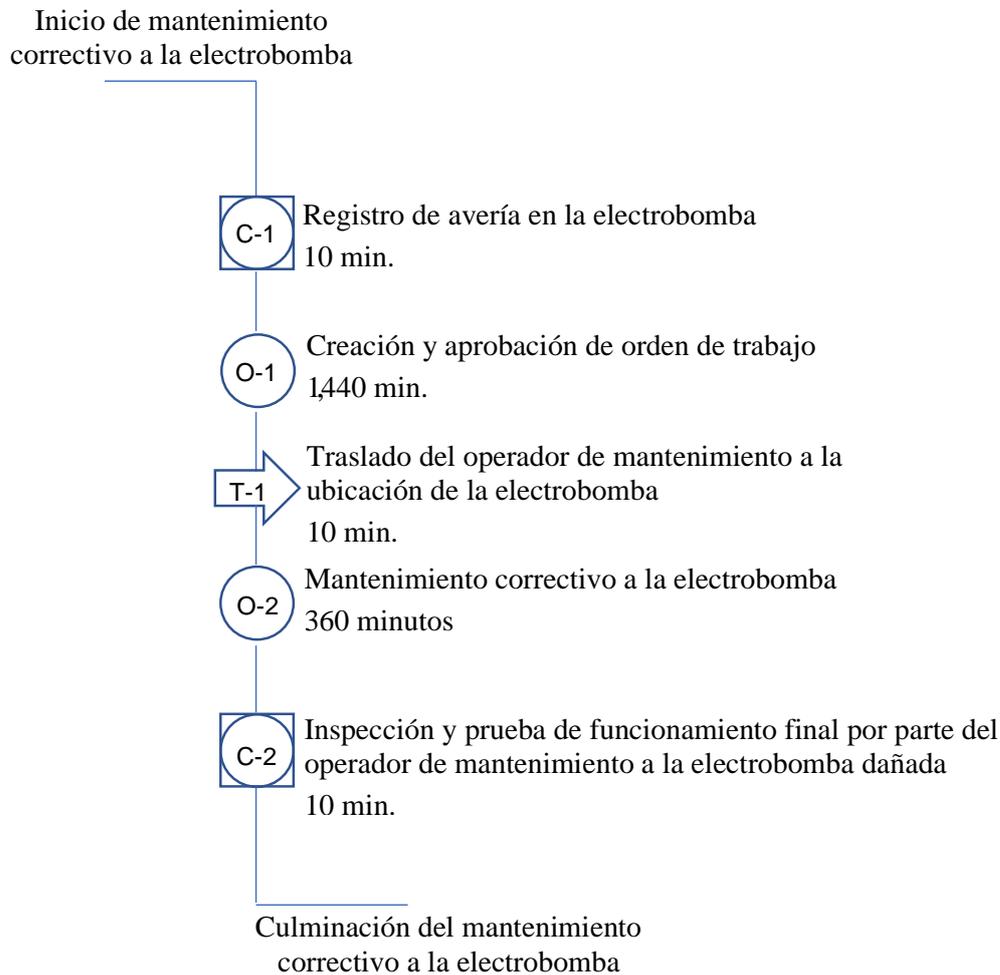
# DIAGRAMA DE CAUSA Y EFECTO



Fuente: Elaboración Propia

En la EPS Sedacaj se presenta una falta de mantenimiento preventivo a sus electrobombas B1 y B2 presentes en el reservorio R3, las cuales son causadas por cinco razones identificadas, dentro del método podemos encontrar una ausencia de un programa de mantenimiento preventivo, las rutinas de mantenimiento y la carencia de las rutinas de inspección necesarias para el mantenimiento, así mismo, en materiales la ausencia de un presupuesto fijo para insumos de dicho mantenimiento preventivo, de igual manera la falta de una lista detallada de los insumos y piezas necesarias para el mantenimiento, por otro lado se presenta una carencia de un personal capacitado que pueda realizar el mantenimiento especializado necesario, otra razón por la cual la empresa no presenta un mantenimiento preventivo es la reputación del fabricante de la maquinaria adquirida, ya que la empresa productora de electrobombas Hidrostral es muy reconocida en diversos sectores industriales, finalmente al contar solo con plan de mantenimiento correctivo, la empresa carecía de un seguimiento al desgaste de las piezas de dichas electrobombas.

**Figura 2: Diagrama de Procesos**



Fuente: Elaboración Propia

Mediante el estudio aplicado a la EPS Sedacaj se logró identificar el método de mantenimiento predilecto por la empresa, dicho mantenimiento correctivo inicia en el registro de alguna avería que impida el correcto funcionamiento del sistema de abastecimiento ofrecido por la empresa, de esta manera se da la creación de una orden previa del trabajo a realizar, el cual tendrá que ser aprobada por el jefe inmediato del área de mantenimiento de la empresa, una vez aprobada la orden de trabajo se asignara al operador encargado del mantenimiento, dirigiéndose al lugar de la falla, posteriormente a la llegada del personal pertinente al equipo a reparar, este procederá con el mantenimiento correctivo determinado por la empresa, finalmente dicho

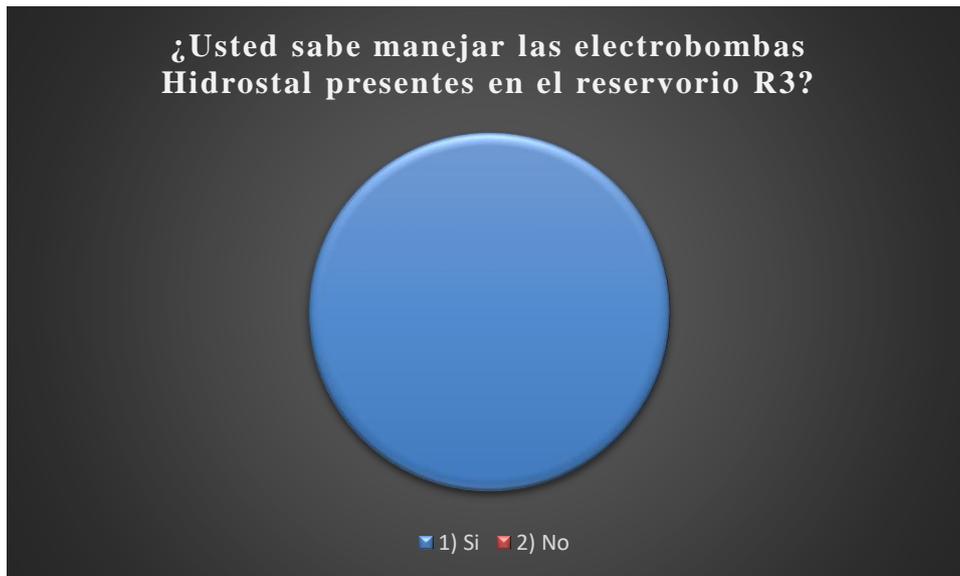
operador inspeccionara y probara el equipo reparado para dar el visto bueno a su trabajo, culminando así el mantenimiento correctivo mencionado en la presente investigación.

Además, se aplicó un método de recolección de datos validado en la Facultad de Ingeniería Industrial - Cajamarca para facilitar el diagnóstico actual de los equipos presentes en el reservorio R3 de la EPS Sedacaj S.A. Ver: Anexo 2.

## ENCUESTA

1. ¿Usted sabe manejar las electrobombas Hidrostral presentes en el reservorio R3?

**Gráfico 1: ¿Usted sabe manejar las electrobombas Hidrostral presentes en el reservorio R3?**



Fuente: Elaboración Propia

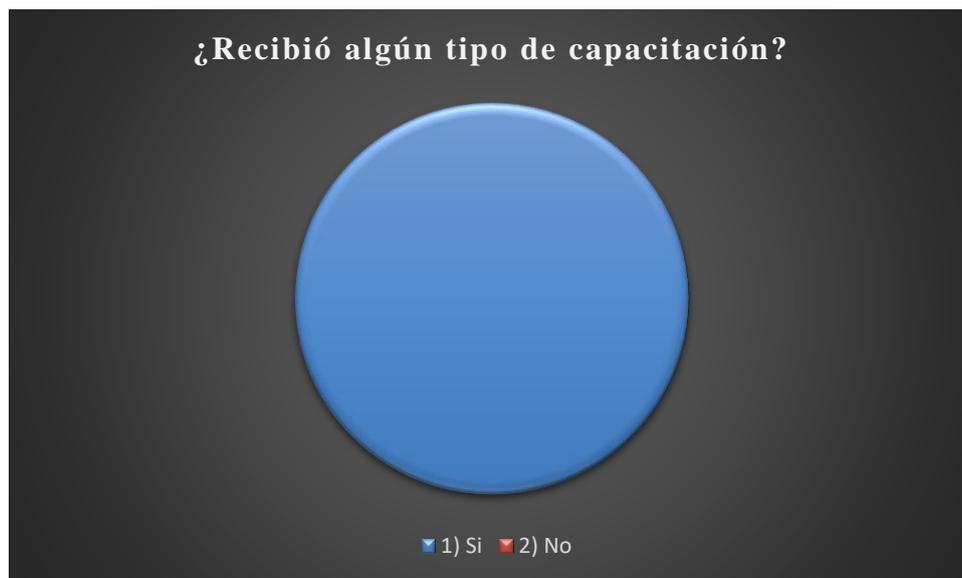
### Pregunta N° 1

1) Si	2
2) No	0
Total	2

Interpretación: En el presente grafico se puede observar que el 100% de los encuestados, afirmaron que sabían manejar las electrobombas Hidrostral presentes en el reservorio R3.

2. ¿Recibió algún tipo de capacitación?

**Gráfico 2: ¿Recibió algún tipo de capacitación?**



Fuente: Elaboración Propia

Pregunta N° 2

1) Si	2
2) No	0
<b>Total</b>	<b>2</b>

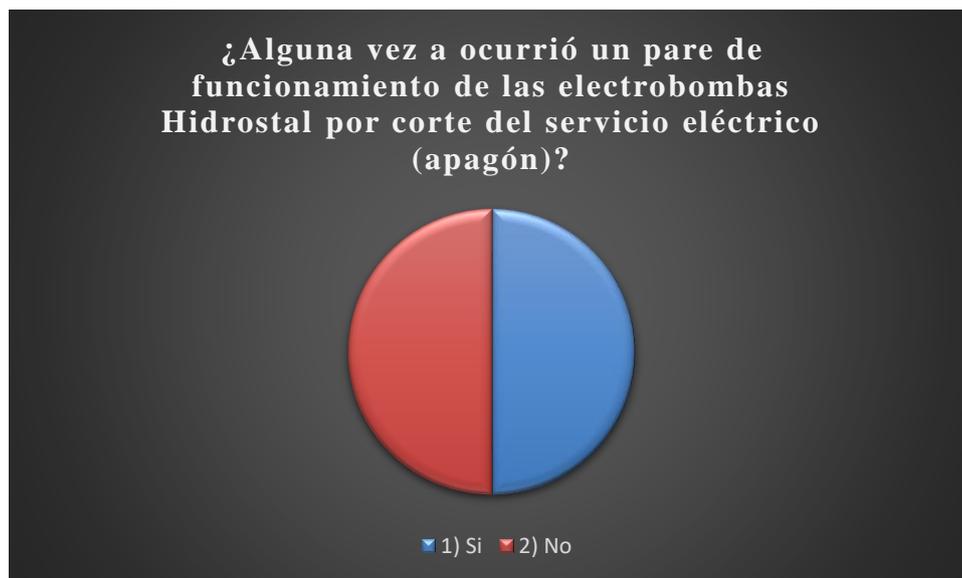
Interpretación: En el presente grafico se puede afirmar que el 100% de los encuestados, afirmaron que la empresa si les brindo una capacitación para el manejo de las electrobombas Hidrostral presentes en el reservorio R3.

3. ¿Por cuánto tiempo se mantienen operativas las electrobombas Hidrostral al día?

Interpretación: El 100% de los encuestados mencionaron que las electrobombas Hidrostral se encuentran en un funcionamiento alternado, es decir la electrobomba B1 trabaja 12 horas correspondientes a un día y la electrobomba B2 trabaja las siguientes 12 horas correspondientes al segundo día.

4. ¿Alguna vez ocurrió un pare de funcionamiento de las electrobombas Hidrostral por corte del servicio eléctrico (apagón)?

**Gráfico 3: ¿Alguna vez ocurrió un pare de funcionamiento de las electrobombas Hidrostral por corte del servicio eléctrico (apagón)?**



Fuente: Elaboración Propia

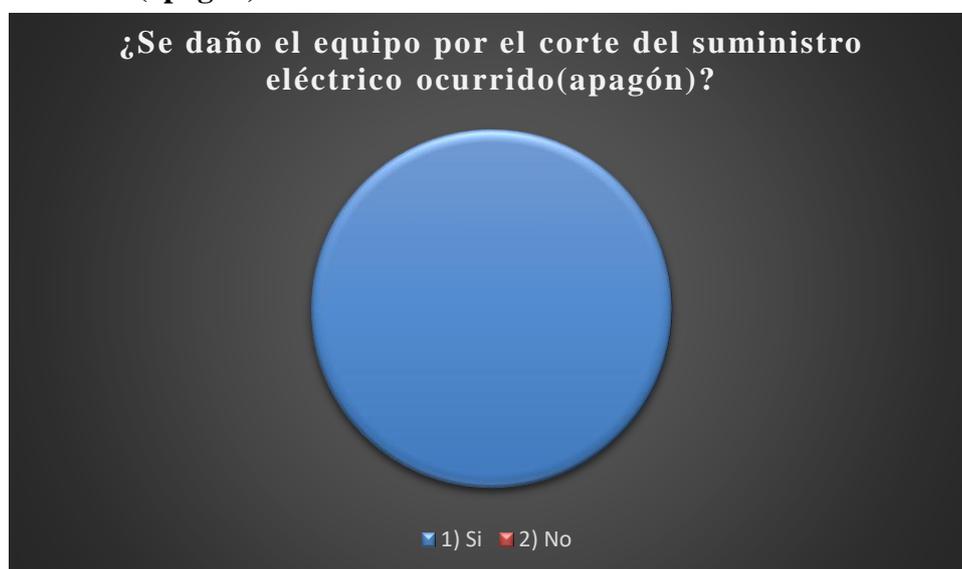
Pregunta N° 4

1) Si	1
2) No	1
<b>Total</b>	<b>2</b>

Interpretación: En el presente grafico se puede afirmar que del 100% de los encuestados, 50% afirmo que sí ocurrió un pare de funcionamiento de las electrobombas Hidrostal por corte del servicio eléctrico (antes del año 2015) y el otro 50% afirmo que no ocurrió un pare de funcionamiento de las electrobombas Hidrostal por corte del servicio eléctrico (desde el año 2015 hasta la actualidad).

5. ¿Se dañó el equipo por el corte del suministro eléctrico ocurrido (apagón)?

**Gráfico 4: ¿Se dañó el equipo por el corte del suministro eléctrico ocurrido (apagón)?**



Fuente: Elaboración Propia

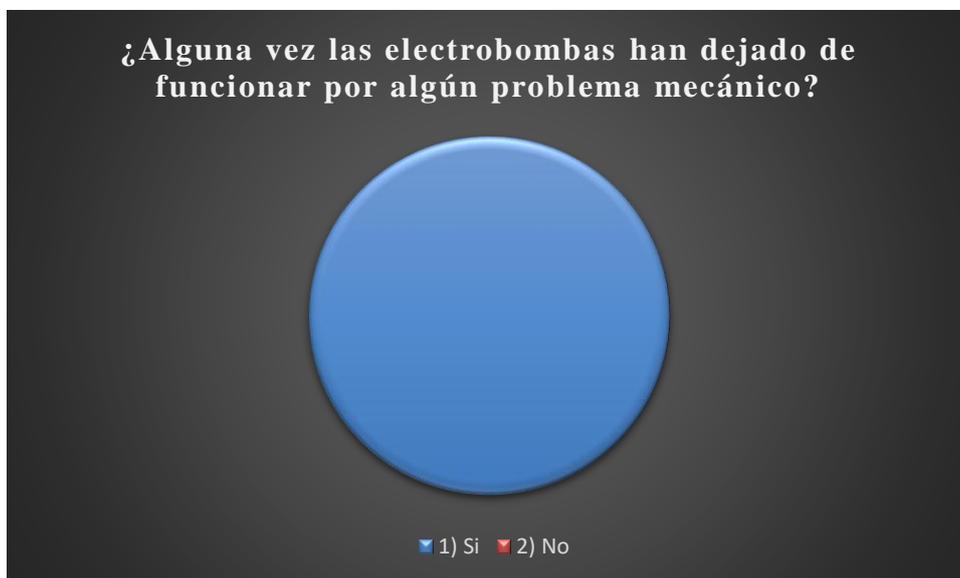
Pregunta N° 5

1) Si	2
2) No	0
Total	2

Interpretación: En el presente grafico se puede observar que el 100% de los encuestados, afirmaron que si se dañó el equipo presente en el reservorio R3 por el corte del suministro eléctrico ocurrido (Apagón).

6. ¿Alguna vez las electrobombas han dejado de funcionar por algún problema mecánico?

**Gráfico 5: ¿Alguna vez las electrobombas han dejado de funcionar por algún problema mecánico?**



Fuente: Elaboración Propia

Pregunta N° 6

1) Si	2
2) No	0
<b>Total</b>	<b>2</b>

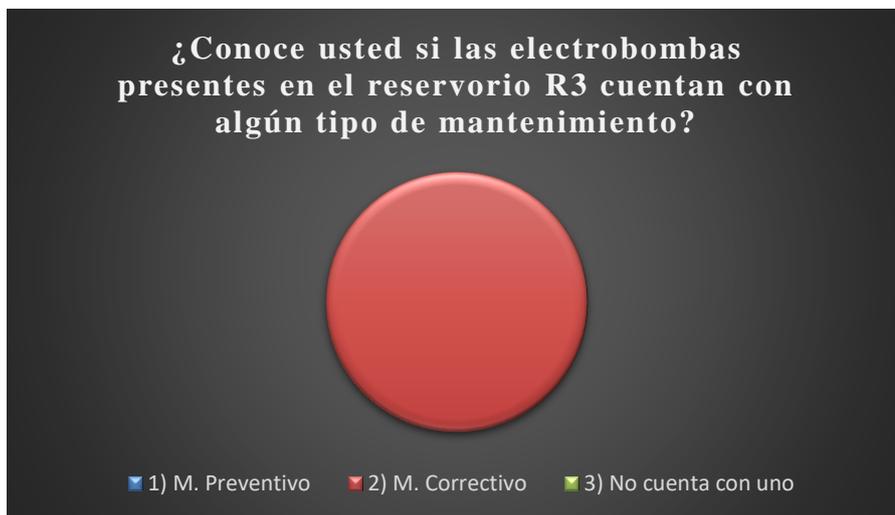
Interpretación: En el presente grafico se puede observar que el 100% de los encuestados, afirmaron que las electrobombas Hidrostral presentes en el reservorio R3, si tuvieron problemas de funcionamiento por un percance mecánico.

7. ¿Qué daños produjo el pare de las electrobombas a la división de mantenimiento y control de pérdidas?

Interpretación: El 100% de los encuestados mencionaron que los daños que se produjeron por el pare de las electrobombas Hidrostral fueron el desabastecimiento de agua potable a la parte alta de la ciudad de Cajamarca.

8. ¿Conoce usted si las electrobombas presentes en el reservorio R3 cuentan con algún tipo de mantenimiento?

**Gráfico 6: ¿Conoce usted si las electrobombas presentes en el reservorio R3 cuentan con algún tipo de mantenimiento?**



Fuente: Elaboración Propia

Pregunta N° 8

1) M. Preventivo	0
2) M. Correctivo	2
3) No cuenta con uno	0
Total	2

Interpretación: En el presente grafico se puede observar que el 100% de los encuestados, afirmaron que las electrobombas Hidrostal presentes en el reservorio R3, cuentan con un Mantenimiento Correctivo.

9. Si cuenta con un mantenimiento preventivo, ¿En qué consiste dicho mantenimiento?

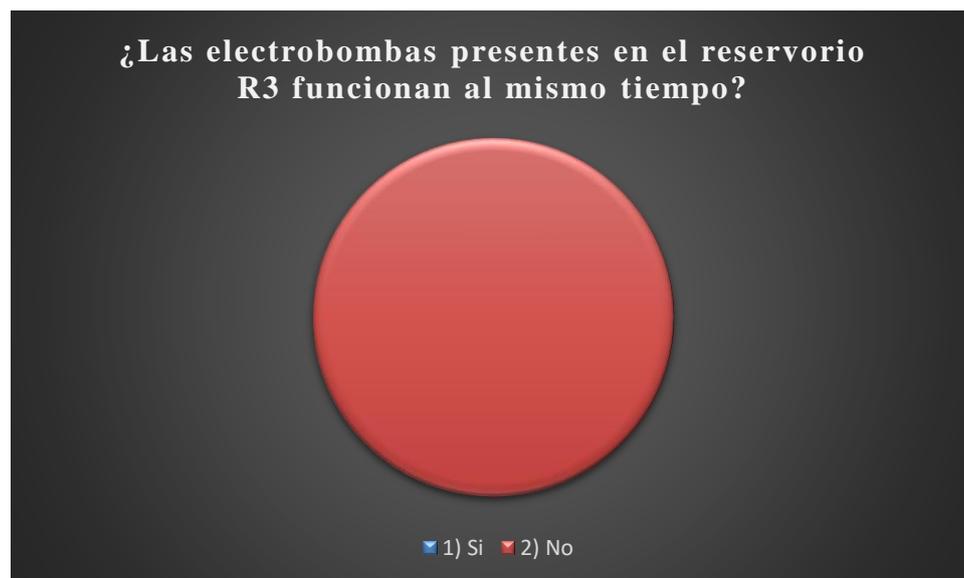
Interpretación: El 100% de los encuestados mencionaron que las electrobombas Hidrostal presentes en el reservorio R3, no cuentan con un mantenimiento preventivo.

10. Si cuenta con un mantenimiento correctivo, ¿En qué consiste dicho mantenimiento?

Interpretación: El 100% de los encuestados mencionaron que las electrobombas Hidrostal presentes en el reservorio R3 cuentan con un mantenimiento correctivo, el cual consiste en reemplazar las piezas averiadas y/o defectuosas.

11. ¿Las electrobombas presentes en el reservorio R3 funcionan al mismo tiempo?

**Gráfico 7: ¿Las electrobombas presentes en el reservorio R3 funcionan al mismo tiempo?**



Fuente: Elaboración Propia

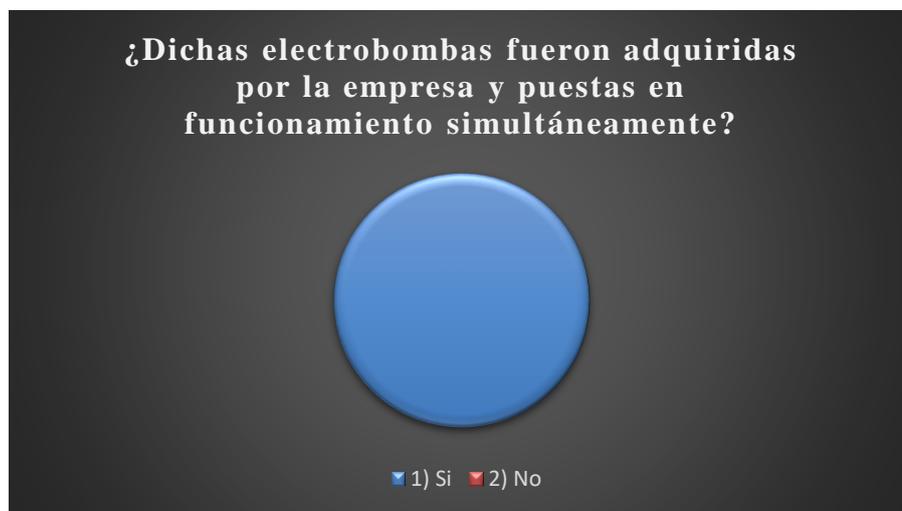
Pregunta N° 11

1) Si	0
2) No	2
Total	2

Interpretación: En el presente grafico se puede observar que el 100% de los encuestados, afirmaron que las electrobombas Hidrostal presentes en el reservorio R3, no funcionan al mismo tiempo.

12. ¿Dichas electrobombas fueron adquiridas por la empresa y puestas en funcionamiento simultáneamente?

**Gráfico 8: ¿Dichas electrobombas fueron adquiridas por la empresa y puestas en funcionamiento simultáneamente?**



Fuente: Elaboración Propia

Pregunta N° 12

1) Si	2
2) No	0
Total	2

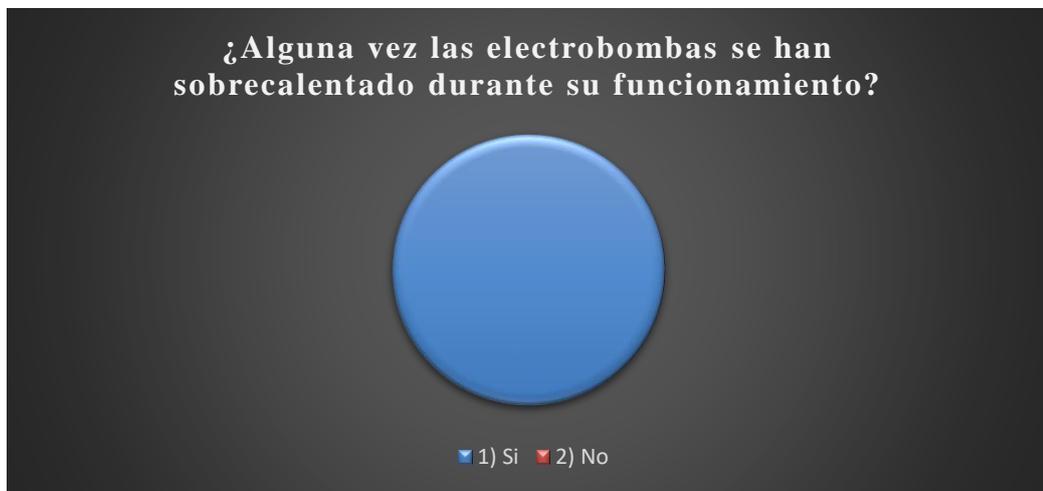
Interpretación: En el presente grafico se puede observar que el 100% de los encuestados, afirmaron que las electrobombas Hidrostal presentes en el reservorio R3, si fueron adquiridas al mismo tiempo, debido que se necesitan a ambas para el funcionamiento correcto del sistema de bombeo de dicho reservorio.

13. ¿Hace cuánto tiempo llevan en funcionamiento dichas electrobombas?

Interpretación: El 100% de los encuestados mencionaron que las electrobombas Hidrostal presentes en el reservorio R3, llevan en funcionamiento aproximadamente 10 años.

14. ¿Alguna vez las electrobombas se han sobrecalentado durante su funcionamiento?

**Gráfico 9: ¿Alguna vez las electrobombas se han sobrecalentado durante su funcionamiento?**



Fuente: Elaboración Propia

Pregunta N° 14

1) Si	2
2) No	0
Total	2

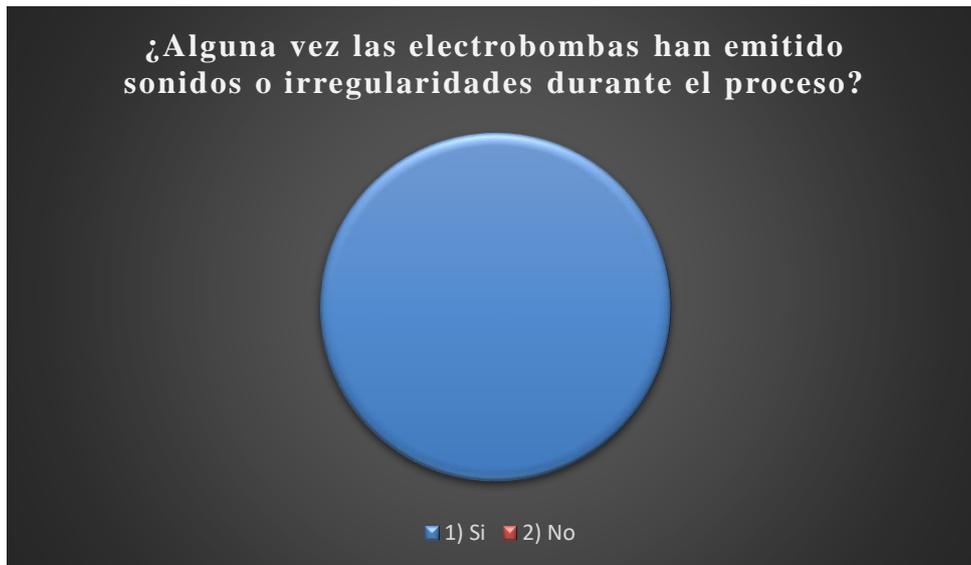
Interpretación: En el presente grafico se puede observar que el 100% de los encuestados, afirmaron que las electrobombas Hidrostral presentes en el reservorio R3, si se lograron sobrecalentar durante su funcionamiento.

15. ¿Qué produjo el antes mencionado sobrecalentamiento?

Interpretación: El 100% de los encuestados mencionaron que el sobrecalentamiento ocurrido en las electrobombas produjo fallas mecánicas y/o eléctricas.

16. ¿Alguna vez las electrobombas han emitido sonidos o irregularidades durante el proceso?

**Gráfico 10: ¿Alguna vez las electrobombas han emitido sonidos o irregularidades durante el proceso?**



Fuente: Elaboración Propia

Pregunta N° 16

1) Si	2
2) No	0
Total	2

Interpretación: En el presente grafico se puede observar que el 100% de los encuestados, afirmaron que las electrobombas Hidrostral presentes en el reservorio R3, si emitieron sonidos o irregularidades durante su proceso de funcionamiento.

17. ¿Si se presentaron irregularidades durante el funcionamiento de las electrobombas Hidrostral, cuáles fueron?

Interpretación: El 100% de los encuestados mencionaron que las irregularidades que se presentaron durante el funcionamiento fueron sonidos fuera de lo normal y ante esto pararon la electrobomba e hicieron funcionar la otra para no desabastecer de agua potable a la parte alta de la Ciudad de Cajamarca.

### **3.3. Diagnóstico de la variable “Mantenibilidad de electrobombas”**

#### **3.3.1. Diagnóstico de la dimensión “Mantenibilidad”**

Para la obtención de la mantenibilidad de las electrobombas del reservorio R3, se requirió diversos datos obtenidos mediante la entrevista verbal y la encuesta (Ver Anexo 2), dentro de esos datos se pudo rescatar las horas invertidas en reparación para cada una de las 15 fallas ocurridas a lo largo de los 10 años de funcionamiento, obtenidos estos datos se procedió a realizar el cálculo de la mantenibilidad mediante los modelados Weibull, Distribución Normal y Exponencial, los cuales suelen ser utilizados en análisis relacionados con el MTBF, según García Palencia los mencionados modelos son útiles por su habilidad de un amplio rango de distribuciones, así mismo por su preciso análisis ante las fallas en datos previamente medidos o asumidos; dichos modelados se detallan a continuación:

### Cálculo de la Mantenibilidad para la Electro bomba B - 1

**Tabla N° 6: Datos para el cálculo de la mantenibilidad de la electrobomba B - 1**

Datos de Reparación (horas)	Acumulado de Fallas	M(i)	
4.01	1	8.33%	
4.33	2	20.24%	
4.41	3	32.14%	
4.5	4	44.05%	
5.08	5	55.95%	
5.72	6	67.86%	
5.75	7	79.76%	
5.86	8	91.67%	

Número de eventos de falla	
<b>n</b>	8

Fuente: Elaboración Propia

Ejemplo del cálculo de M(i)

$$M(i) = \frac{(\text{Acumulado de fallas} - 0.3)}{(\text{Número de fallas} + 0.4)} * 100$$

$$M(i) = \frac{(1 - 0.3)}{(8 + 0.4)} * 100$$

$$M(i) = 8.33\%$$

## Modelado Weibull

**Tabla N° 7: Datos Modelado Weibull**

Datos de Reparación (horas)	Acumulado de Fallas	M(i)	LN(T)	ln(-ln(1-M(i)))
4.01	1	8.33%	1.388791241	-2.441716399
4.33	2	20.24%	1.465567542	-1.486670964
4.41	3	32.14%	1.483874689	-0.947354424
4.5	4	44.05%	1.504077397	-0.543574052
5.08	5	55.95%	1.625311262	-0.198574256
5.72	6	67.86%	1.743968805	0.12661497
5.75	7	79.76%	1.749199855	0.468504666
5.86	8	91.67%	1.768149604	0.910235093

Fuente: Elaboración Propia

Cálculo de LN(T)

$$LN(T) = LN(4.01)$$

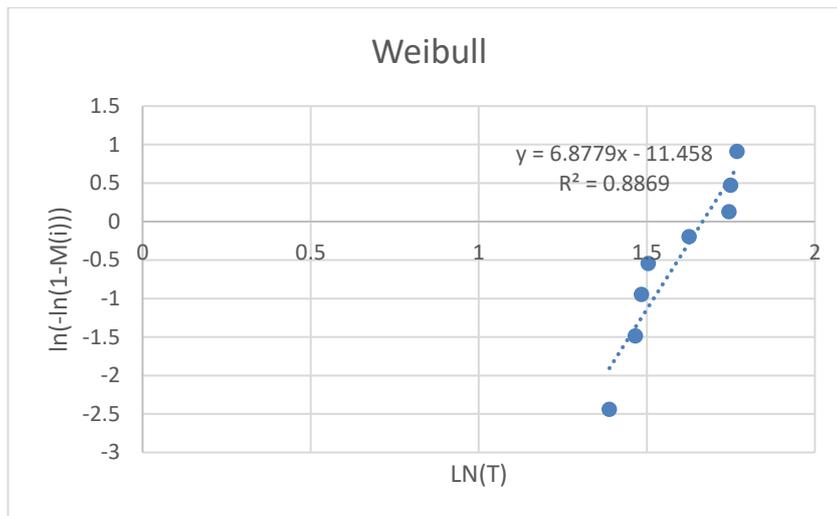
$$LN(T) = 1.388791241$$

Cálculo de ln(-ln(1-M(i)))

$$\ln(-\ln(1 - M(i))) = \ln(-\ln(1 - 8.33\%))$$

$$\ln(-\ln(1 - M(i))) = -2.441716399$$

**Gráfico 11: Modelado Weibull**



Fuente: Elaboración Propia

Cálculo de  $\beta$

$$\beta = \text{Pendiente} \left( \ln \left( -\ln(1 - M(i)) \right); \text{LN}(T) \right)$$

$$\beta = 6.87793107$$

Cálculo de  $\eta$

$$\eta = \text{EXP} \left( \text{ABS} \left( \text{INTERSECCION} \cdot \frac{\text{EJE} \left( \left( \ln \left( -\ln(1 - M(i)) \right); \text{LN}(T) \right) \right)}{\beta} \right) \right)$$

$$\eta = 5.29021588 \text{ hrs}$$

Cálculo de MTTR

$$\text{MTTR} = \frac{(4.01 + 4.33 + 4.41 + 4.5 + 5.08 + 5.72 + 5.75 + 5.86)}{8}$$

$$\text{MTTR} = 4.9575 \text{ hrs/falla}$$

$\beta$	6.87793107	
$\eta$	5.29021588	hrs
<b>MTTR</b>	4.9575	hrs/falla

Fuente: Elaboración Propia

Cálculo de M(T)

$$M(T) = 1 - \text{EXP}(-((4.957/5.29021588)^{6.87793107}))$$

$$M(T) = 47.25\%$$

Datos de Reparación (horas)	M(T)
4.9575	47.25%

Fuente: Elaboración Propia

### Modelado Normal

Tabla N° 8: Datos Modelado Normal

Datos de Reparación (horas)	Acumulado de Fallas	M(i)	Z
4.01	1	8.33%	-1.38299413
4.33	2	20.24%	-0.83314687
4.41	3	32.14%	-0.46370775
4.5	4	44.05%	-0.14976201
5.08	5	55.95%	0.149762012
5.72	6	67.86%	0.463707751
5.75	7	79.76%	0.833146866
5.86	8	91.67%	1.382994127

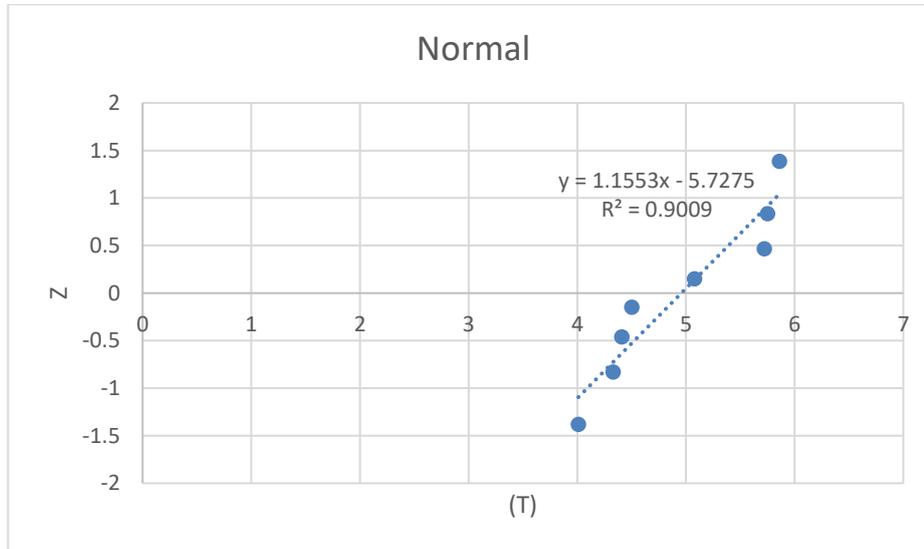
Fuente: Elaboración Propia

Cálculo de Z

$$Z = \text{INV. NORM. ESTAND}(8.33\%)$$

$$Z = -1.38299413$$

**Gráfico 12: Modelado Distribución Normal**



Fuente: Elaboración Propia

Cálculo de  $\sigma$

$$\sigma = 1/\text{PENDIENTE}(Z; \text{DATOS DE REPARACION})$$

$$\sigma = 0.86555756$$

Cálculo de MTTR

$$\text{MTTR} = \sigma * \text{ABS}(\text{INTERSECCION. EJE}(Z; \text{DATOS DE REPARACION}))$$

$$\text{MTTR} = 4.9575 \text{ hrs/falla}$$

$\sigma$	0.86555756
<b>MTTR</b>	4.9575 hrs/falla

Fuente: Elaboración Propia

Cálculo de M(T)

$$M(T) = \text{DISTR. NORM}(4.957; 4.957; 0.86555756; 1)$$

$$M(T) = 50.00\%$$

Datos de Reparación (horas)	M(T)
4.9575	50.00%

Fuente: Elaboración Propia

### Modelado Exponencial

Tabla N° 9: Datos Modelado Exponencial

Datos de Reparación (horas)	Acumulado de Fallas	M(i)	-LN(1-M(i))
4.01	1	8.33%	0.087011377
4.33	2	20.24%	0.226124179
4.41	3	32.14%	0.387765531
4.5	4	44.05%	0.580669197
5.08	5	55.95%	0.819898886
5.72	6	67.86%	1.134979933
5.75	7	79.76%	1.597603455
5.86	8	91.67%	2.48490665

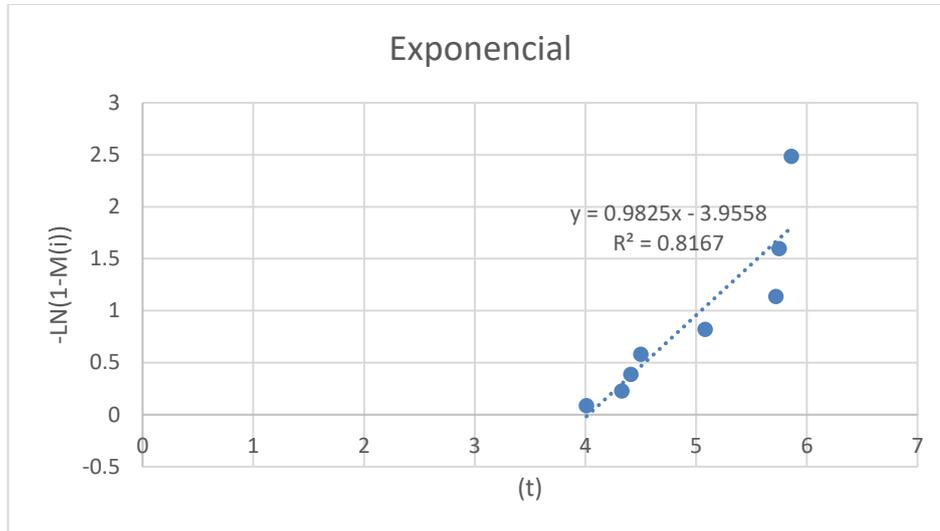
Fuente: Elaboración Propia

Cálculo de -LN(1-M(i))

$$-\text{LN}(1 - M(i)) = -\text{LN}(1 - 8.33\%)$$

$$-\text{LN}(1 - M(i)) = 0.087011377$$

**Gráfico 13: Modelo Exponencial**



Fuente: Elaboración Propia

Cálculo de  $\lambda_r$

$\lambda_r = \text{PENDIENTE}(-\text{LN}(1 - M(i)); \text{DATOS DE REPARACION})$

$\lambda_r = 0.98248359$  fallas/hr

Cálculo de MTTR

$\text{MTTR} = 1/\lambda_r$

$\text{MTTR} = 1.01782872$  hrs/falla

$\lambda_r$	0.98248358	fallas/hr
<b>MTTR</b>	1.01782872	hrs/falla

Fuente: Elaboración Propia

Cálculo de M(T)

$$M(T) = 1 - \text{EXP}(-0.9824835 * 1.01782872)$$

$$M(T) = 63\%$$

Datos de Reparación (horas)	M(T)
1.01782872	63%

Fuente: Elaboración Propia

### Cálculo de la Mantenibilidad para la Electrobomba B - 2

Tabla N° 10: Datos para el cálculo de la mantenibilidad de la electrobomba B - 2

Datos de Reparación (horas)	Acumulado de Fallas	M(i)	Número de eventos de falla
4.26	1	8.33%	
4.5	2	20.24%	
4.56	3	32.14%	
5.43	4	44.05%	
5.5	5	55.95%	
5.77	6	67.86%	
5.8	7	79.76%	

Fuente: Elaboración Propia

Ejemplo del cálculo de M(i)

$$M(i) = \frac{(\text{Acumulado de fallas} - 0.3)}{(\text{Número de fallas} + 0.4)} * 100$$

$$M(i) = \frac{(1 - 0.3)}{(7 + 0.4)} * 100$$

$$M(i) = 8.33\%$$

## Modelado Weibull

**Tabla N° 11: Datos Modelado Weibull**

Datos de Reparación (horas)	Acumulado de Fallas	M(i)	LN(T)	ln(-ln(1-M(i)))
4.26	1	8.33%	1.44926916	-2.441716399
4.5	2	20.24%	1.504077397	-1.486670964
4.56	3	32.14%	1.517322624	-0.947354424
5.43	4	44.05%	1.691939134	-0.543574052
5.5	5	55.95%	1.704748092	-0.198574256
5.77	6	67.86%	1.752672081	0.12661497
5.8	7	79.76%	1.757857918	0.468504666

Fuente: Elaboración Propia

Cálculo de LN(T)

$$LN(T) = LN(4.26)$$

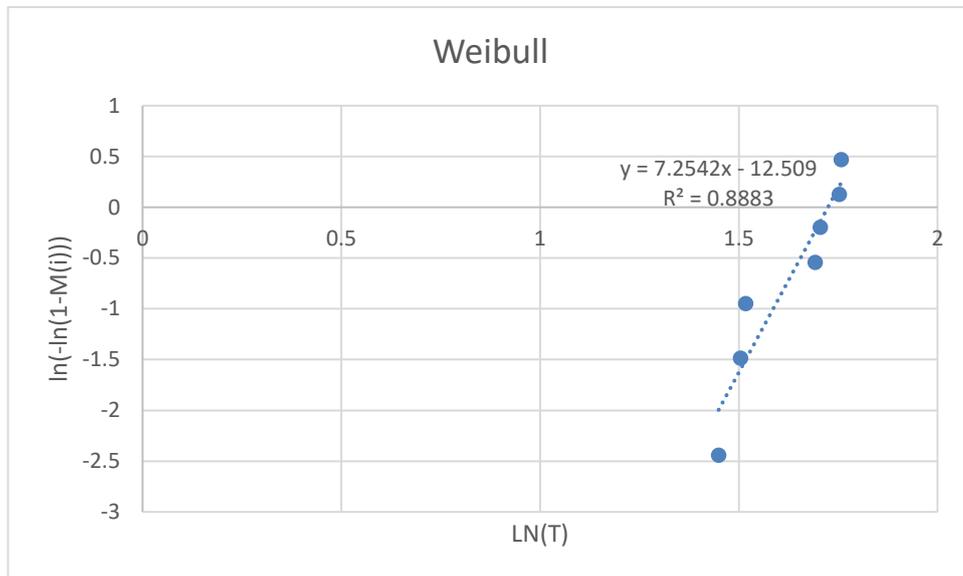
$$LN(T) = 1.44926916$$

Cálculo de ln(-ln(1-M(i)))

$$\ln(-\ln(1 - M(i))) = \ln(-\ln(1 - 8.33\%))$$

$$\ln(-\ln(1 - M(i))) = -2.441716399$$

**Gráfico 14: Modelado Weibull**



Fuente: Elaboración Propia

Cálculo de  $\beta$

$$\beta = \text{Pendiente} \left( \ln(-\ln(1 - M(i))); \text{LN}(T) \right)$$

$$\beta = 7.25422253$$

Cálculo de  $\eta$

$$\eta = \text{EXP} \left( \text{ABS} \left( \text{INTERSECCION} \cdot \frac{\text{EJE} \left( \left( \ln(-\ln(1 - M(i))); \text{LN}(T) \right) \right)}{\beta} \right) \right)$$

$$\eta = 5.60873712 \text{ hrs}$$

Cálculo de MTTR

$$\text{MTTR} = \frac{(4.26 + 4.5 + 4.56 + 5.43 + 5.5 + 5.77 + 5.8 + 5.86)}{7}$$

$$\text{MTTR} = 5.11714286 \text{ hrs/falla}$$

$\beta$	7.25422253
$\eta$	5.60873712 hrs
<b>MTTR</b>	5.11714286 hrs/falla

Fuente: Elaboración Propia

Cálculo de M(T)

$$M(T) = 1 - \text{EXP}(-((5.117/5.608737)^{7.25422253}))$$

$$M(T) = 40.19\%$$

Datos de Reparación (horas)	M(T)
5.11714286	40.19%

Fuente: Elaboración Propia

### Modelado Normal

Tabla N° 12: Datos Modelado Normal

Datos de Reparación (horas)	Acumulado de Fallas	M(i)	Z
4.26	1	8.33%	-1.38299413
4.5	2	20.24%	-0.83314687
4.56	3	32.14%	-0.46370775
5.43	4	44.05%	-0.14976201
5.5	5	55.95%	0.149762012
5.77	6	67.86%	0.463707751
5.8	7	79.76%	0.833146866

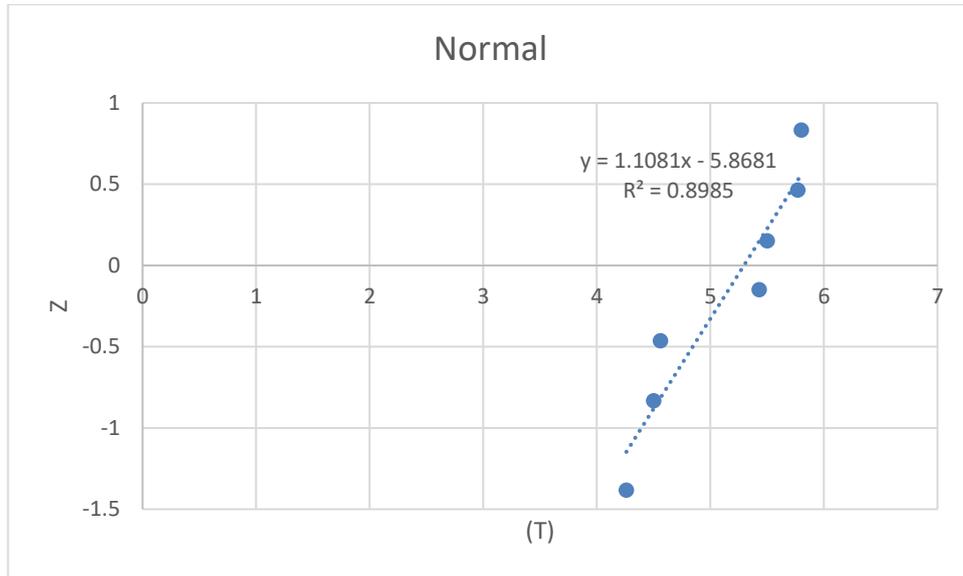
Fuente: Elaboración Propia

Cálculo de Z

$$Z = \text{INV. NORM. ESTAND}(8.33\%)$$

$$Z = -1.38299413$$

**Gráfico 15: Modelado Distribución Normal**



Fuente: Elaboración Propia

Cálculo de  $\sigma$

$$\sigma = 1/\text{PENDIENTE}(Z; \text{DATOS DE REPARACION})$$

$$\sigma = 0.90241792$$

Cálculo de MTTR

$$\text{MTTR} = \sigma * \text{ABS}(\text{INTERSECCION. EJE}(Z; \text{DATOS DE REPARACION}))$$

$$\text{MTTR} = 5.2954341 \text{ hrs/falla}$$

$\sigma$	0.90241792
<b>MTTR</b>	5.2954341 hrs/falla

Fuente: Elaboración Propia

Cálculo de  $M(T)$

$$M(T) = \text{DISTR. NORM}(5.2954; 5.2954; 0.90241792; 1)$$

$$M(T) = 50.00\%$$

Datos de Reparación (horas)	$M(T)$
5.2954341	50.00%

Fuente: Elaboración Propia

### Modelado Exponencial

**Tabla N° 13: Datos Modelado Exponencial**

Datos de Reparación (horas)	Acumulado de Fallas	$M(i)$	$-\text{LN}(1-M(i))$
4.26	1	8.33%	0.087011377
4.5	3	20.24%	0.226124179
4.56	4	32.14%	0.387765531
5.43	6	44.05%	0.580669197
5.5	8	55.95%	0.819898886
5.77	11	67.86%	1.134979933
5.8	12	79.76%	1.597603455

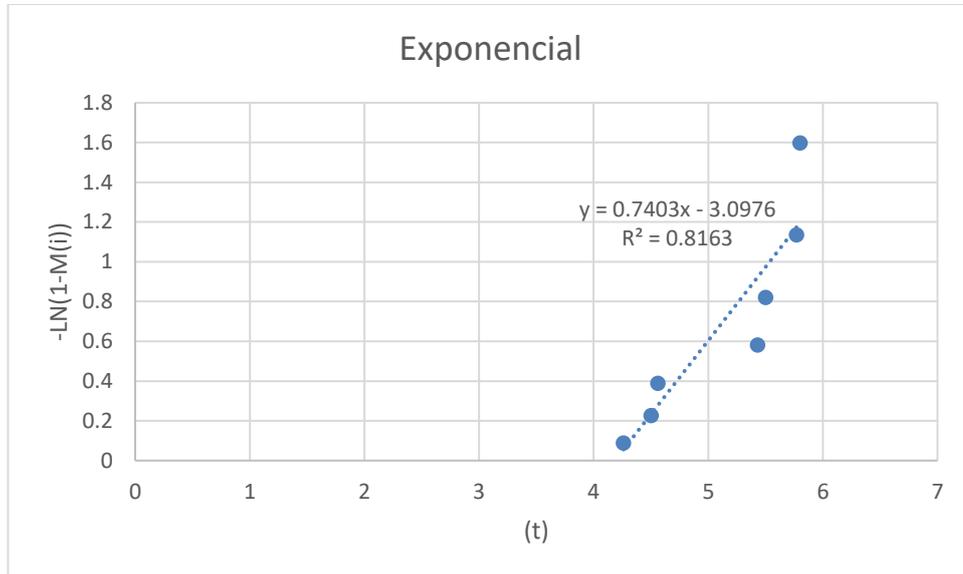
Fuente: Elaboración Propia

Cálculo de  $-\text{LN}(1-M(i))$

$$-\text{LN}(1 - M(i)) = -\text{LN}(1 - 8.33\%)$$

$$-\text{LN}(1 - M(i)) = 0.087011377$$

**Gráfico 16: Modelo Exponencial**



Fuente: Elaboración Propia

Cálculo de  $\lambda_r$

$$\lambda_r = \text{PENDIENTE}(-\text{LN}(1 - M(i)); \text{DATOS DE REPARACION})$$

$$\lambda_r = 0.74028667 \text{ fallas/hr}$$

Cálculo de MTTR

$$\text{MTTR} = 1/\lambda_r$$

$$\text{MTTR} = 1.35082805 \text{ hrs/falla}$$

$\lambda_r$	0.74028667	fallas/hr
<b>MTTR</b>	1.35082805	hrs/falla

Fuente: Elaboración Propia

Cálculo de M(T)

$$M(T) = 1 - \text{EXP}(-0.740286 * 1.350828)$$

$$M(T) = 63\%$$

<b>Datos de Reparación</b>	<b>M(T)</b>
1.35082805	63%

Fuente: Elaboración Propia

Mediante la aplicación de los 3 modelados presentados anteriormente, se puede afirmar que el modelo más conveniente para esta investigación sería el modelado de distribución normal, debido a que su coeficiente de correlación es el más próximo a 0.995, mostrando así una mayor confiabilidad en la estimación de la mantenibilidad deseada.

Como se mostró anteriormente se puede determinar que la mantenibilidad de las electrobombas B – 1 y B - 2 del reservorio R3 es del 50%, lo que lleva a afirmar que la probabilidad para realizar una reparación a ambas electrobombas dentro de 4.95 horas y 5.29 horas será de un 50% (valor referencial), lo que quiere decir que la mantenibilidad actual es funcional, sin embargo, de aplicarse un plan de mantenimiento preventivo se puede mejorar el porcentaje de mantenibilidad obtenido.

### 3.3.2. Diagnóstico de la dimensión “Disponibilidad de Equipos”

Para el desarrollo de la dimensión de disponibilidad de equipos, se requirió de la información obtenida de la encuesta y de la entrevista verbal realizada al operador de las electrobombas y al operador de mantenimiento (Ver Anexo 1,2 y 3), dichos datos consisten en las horas de operación, número de paradas y horas de mantenimiento; una vez obtenidos dichos datos, se procedió a calcular la disponibilidad como se muestra a continuación:

Cálculo de la Disponibilidad de la electrobomba B - 1

Horas de Operación : 43,800 horas

Número de Paradas : 8

Horas de Mantenimiento : 39.66 horas

$$Disponibilidad = \frac{Horas\ Totales - Horas\ parada\ por\ mantenimiento}{Horas\ Totales}$$

*Disponibilidad*

$$= \frac{43,800\ horas - (39.66\ horas + (12\ horas * (\frac{365\ dias}{2}) * 10\ años))}{43,800\ horas}$$

$$Disponibilidad = 49.91\%$$

Cálculo de la Disponibilidad de la electrobomba B - 2

Horas de Operación : 43,800 horas

Número de Paradas : 7

Horas de Mantenimiento : 35.82 horas

$$Disponibilidad = \frac{Horas\ Totales - Horas\ parada\ por\ mantenimiento}{Horas\ Totales}$$

*Disponibilidad*

$$= \frac{43,800 \text{ horas} - (35.82 \text{ horas} + (12 \text{ horas} * (\frac{365 \text{ dias}}{2}) * 10 \text{ años}))}{43,800 \text{ horas}}$$

*Disponibilidad = 49.92%*

El cálculo de la disponibilidad para las electrobombas B -1 y B - 2 visto anteriormente da un resultado del 49.91% y del 49.92% respectivamente, lo cual significa que existe una certeza del 49.91% para la electrobomba B – 1, así mismo contará con un bombeo estimado de 5,475 horas antes de que ocurra una falla, por otro lado existe la certeza del 49.92% que la electrobomba B – 2 contará con un bombeo estimado de 6,257.14 horas antes de que ocurra una falla, de esta manera se puede observar que las electrobombas presentes en el reservorio R3 no cuentan con problemas de bombeo a la zona asignada de la parte alta de la ciudad, no obstante dicho porcentaje de disponibilidad se podrá aumentar aplicando un plan de mantenimiento preventivo que permitirá disminuir el número de fallas ocasionadas por percances mecánicos, eléctricos o de temperatura, repercutiendo directamente en el porcentaje de la disponibilidad tanto de la electrobomba B – 1 como la B – 2.

### **3.4. Diagnóstico de la variable “Plan de Mantenimiento Preventivo”**

#### **3.4.1. Diagnóstico de la dimensión “Tiempo promedio entre fallas”**

Para el desarrollo de la dimensión del tiempo promedio entre fallas se utilizaron datos proporcionados por la encuesta y la entrevista verbal aplicadas al operador de mantenimiento y al operador de las electrobombas presentes en el reservorio R3,

dichos datos consisten en el número de horas operativas transcurridas durante el periodo de 10 años de funcionamiento de las dos electrobombas antes mencionadas, además el conteo del número de fallas ocurridas en dicho periodo de tiempo, una vez obtenida esta información se procedió al cálculo del promedio entre fallas (MTBF) presentado a continuación:

### Cálculo del MTBF para la electrobomba B - 1

**Tabla N° 14: Datos para el cálculo del MTBF de la electrobomba B - 1**

Datos de Reparación (horas)	Acumulado de Fallas
4.01	1
4.33	2
4.41	3
4.5	4
5.08	5
5.72	6
5.75	7
5.86	8

Fuente: Elaboración Propia

N° de horas Operativas : 43,800 horas

Número de fallas : 8 fallas

$$MTBF = \frac{N^{\circ} \text{ de horas Operativas}}{N^{\circ} \text{ de paradas correctivas}}$$

$$MTBF = \frac{43,800 \text{ horas}}{8 \text{ fallas}}$$

$$MTBF = 5,475 \text{ horas/falla}$$

### Cálculo del MTBF para la electrobomba B - 2

**Tabla N° 15: Datos para el cálculo del MTBF de la electrobomba B - 2**

Datos de Reparación (horas)	Acumulado de Fallas
4.26	1
4.5	2
4.56	3
5.43	4
5.5	5
5.77	6
5.8	7

Fuente: Elaboración Propia

N° de horas Operativas : 43,800 horas

Número de fallas : 7 fallas

$$MTBF = \frac{N^{\circ} \text{ de horas Operativas}}{N^{\circ} \text{ de paradas correctivas}}$$

$$MTBF = \frac{43,800 \text{ horas}}{7 \text{ fallas}}$$

$$MTBF = 6,257.14 \text{ horas/falla}$$

Una vez aplicado el método del tiempo promedio entre fallas, se pudo encontrar un resultado de 5,475 horas y 6,257.14 horas de operación por cada falla presentada a lo largo de los 10 años en funcionamiento de las electrobombas B – 1 y B – 2 respectivamente, lo cual es un resultado aceptable ya que, solo implica una pérdida de tiempo en el bombeo de 0.17% resultante de la suma porcentual del total de horas no bombeables debido a fallas de ambas electrobombas (0.09% B1 + 0.08% B2), lo cual es casi imperceptible debido a la baja cantidad de fallas ocurridas durante el periodo analizado de 10 años, sin embargo, se puede aumentar el tiempo promedio entre fallas disminuyendo el número de imprevistos que eviten el bombeo de las

electrobombas en las horas programadas de funcionamiento, disminuyendo dichas fallas aumentará el tiempo en que las electrobombas ofrezcan el servicio de abastecer a las zonas altas de Cajamarca denominadas R3.

### 3.4.2. Diagnóstico de la dimensión “Tiempo promedio para reparar”

Para el desarrollo de la dimensión del tiempo promedio para reparar se utilizaron datos proporcionados por la encuesta y la entrevista verbal aplicadas al operador de mantenimiento y al operador de las electrobombas presentes en el reservorio R3, dichos datos consisten en el número de fallas ocurridas durante el periodo de 10 años de funcionamiento de las dos electrobombas antes mencionadas, así mismo el tiempo de reparación independiente de cada falla, una vez obtenida esta información se procedió al cálculo del tiempo promedio para reparar (MTTR) presentado a continuación:

#### Cálculo del MTTR para la electrobomba B - 1

**Tabla N° 16: Datos para el desarrollo del MTTR de la electrobomba B - 1**

Datos de Reparación (horas)	Acumulado de Fallas
4.01	1
4.33	2
4.41	3
4.5	4
5.08	5
5.72	6
5.75	7
5.86	8

Fuente: Elaboración Propia

Tiempo Total de Reparación : 39.66 horas

Número de fallas : 8 fallas

$$MTTR = \frac{\textit{Tiempo total de reparación}}{\textit{Número de fallas}}$$

$$MTTR = \frac{39.66 \textit{ horas}}{8 \textit{ fallas}}$$

$$MTTR = 4.9575 \textit{ horas/falla}$$

### **Cálculo del MTTR para la electrobomba B - 2**

**Tabla N° 17: Datos para el desarrollo del MTTR de la electrobomba B - 2**

<b>Datos de Reparación (horas)</b>	<b>Acumulado de Fallas</b>
4.26	1
4.5	2
4.56	3
5.43	4
5.5	5
5.77	6
5.8	7

Fuente: Elaboración Propia

Tiempo Total de Reparación : 35.82 horas

Número de fallas : 7 fallas

$$MTTR = \frac{\textit{Tiempo total de reparación}}{\textit{Número de fallas}}$$

$$MTTR = \frac{35.82 \textit{ horas}}{7 \textit{ fallas}}$$

$$MTTR = 5.1171 \textit{ horas/falla}$$

Una vez aplicado el método del tiempo promedio para reparar, se pudo encontrar un resultado de 4.9575 horas y 5.1171 horas de reparación por cada falla presentada a lo largo de los 10 años en operación de las electrobombas B – 1 y B – 2 respectivamente, lo cual es un resultado aceptable ya que no supera las 12 horas de

funcionamiento por electrobomba, es decir que cuando una electrobomba se encuentre inoperativa la otra la puede reemplazar hasta su reparación, sin embargo, este resultado se puede mejorar aplicando un plan de mantenimiento preventivo que no solo disminuirá el número de fallas, si no reducirá las causas de falla acelerando la inspección y posterior solución de la anomalía encontrada.

### 3.4.3. Diagnóstico de la dimensión “Utilización de la Máquina”

Para el desarrollo de la dimensión de utilización de la máquina se utilizaron datos proporcionados por la encuesta y la entrevista verbal aplicadas al operador de mantenimiento y al operador de las electrobombas presentes en el reservorio R3, una vez obtenidos dichos datos se procedió a calcular el porcentaje de utilización de las electrobombas al día, a continuación, se presentará el cálculo respectivo.

#### Cálculo de la utilización de la electrobomba B - 1

Horas trabajadas en 10 años :

$$(12*365*10) \text{ horas} + (4.26+4.5+4.56+5.43+5.5+5.77+5.8) \text{ horas} = 43,835.82 \text{ horas}$$

Horas disponibles :

$$24*365*10 \text{ horas} = 87,600 \text{ horas}$$

$$UM = \frac{\text{Horas Trabajadas}}{\text{Horas Disponibles}} * 100\%$$

$$UM = \frac{43,835.82}{87,600} * 100\%$$

$$UM = 50.04 \%$$

### **Cálculo de la utilización de la electrobomba B - 2**

Horas trabajadas :

$$(12*365*10) \text{ horas} + (4.01+4.33+4.41+4.5+5.08+5.72+5.75+5.86) \text{ horas} = 43,839.66 \text{ horas}$$

Horas disponibles :

$$24*365*10 \text{ horas} = 87,600 \text{ horas}$$

$$UM = \frac{\text{Horas Trabajadas}}{\text{Horas Disponibles}} * 100\%$$

$$UM = \frac{43,839.66}{87,600} * 100\%$$

$$UM = 50.05 \%$$

Como se puede apreciar en el anterior cálculo el porcentaje de utilización de las electrobombas B - 1 y B - 2 es del 50.04% y del 50.05% respectivamente, lo cual significa que de las 24 horas disponibles solo se utilizó dicha electrobomba durante 12 horas aproximadamente, ya que ambas electrobombas funcionan de una forma intercalada, es decir 12 horas un día, 12 horas descansa (enfriamiento) y esta es reemplazada por la otra electrobomba presente en el reservorio R3; aplicando un plan de mantenimiento preventivo se podrá disminuir el porcentaje de utilización del equipo durante el mantenimiento permitiendo no sobrepasar el 50% de la utilización, ya que de sobrepasar significaría que una electrobomba se encuentra trabajando más tiempo que la otra electrobomba, sobrepasando el tiempo establecido por la empresa permitiendo un mayor desgaste.

#### **3.4.4. Diagnóstico de la dimensión “Cumplimiento de mantenimientos programados (MP)”**

Para el desarrollo de la dimensión de cumplimiento de mantenimientos programados (MP) se requirió de una toma fotográfica (Ver Anexo 6) de la placa de especificaciones técnicas del fabricante en las electrobombas Hidrostal analizadas, de esta se pudo rescatar el número de horas recomendadas por el fabricante para el mantenimiento de dicho equipo, así mismo se hizo una entrevista verbal para obtener el conteo de horas programadas de trabajo en el funcionamiento de las electrobombas durante el periodo de los 10 años trabajados hasta la actualidad, sin embargo esta vendría siendo la propuesta a mejorar, ya que la empresa no cuenta con un mantenimiento preventivo registrado, no obstante se pudo obtener mediante la entrevista verbal a los trabajadores involucrados con el funcionamiento de las electrobombas el número aproximado de paradas no programadas de B1 y B2 por problemas de funcionamiento en el bombeo, debido a que el área de mantenimiento no cuenta con un registro escrito de las averías ocurridas en el reservorio R3, dando así un resultado de 15 (8 – B1 y 7 – B2) mantenimientos correctivos debido a fallas durante su funcionamiento, lo cual se evitará mediante la aplicación de un plan de mantenimiento preventivo que evite consecuencias como paradas no programadas en la maquinaria.

### 3.5. Matriz de operacionalización de variables con resultados diagnóstico

Tabla N° 18: Matriz de operacionalización de variables con resultados diagnóstico

Variable	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores	Diagnóstico
<b>Dependiente</b>				
<b>Mantenibilidad de electrobombas</b>	Es el tiempo total bajo el que puede esperarse que se reparen un porcentaje fijo de fallos.  (Creus Solé, 2011)	Mantenibilidad de las electrobombas	% de mantenibilidad  $M = DISTR.NORM(x; media; Desv. Est; 1)$	Mantenibilidad  B1 = 50% B2 = 50%
		Disponibilidad de Equipos	% de disponibilidad  $Disponibilidad = \frac{Horas Totales - Horas parada por mantenimiento}{Horas Totales}$	Disponibilidad  B1 = 49.91% B2 = 49.92%
<b>Independiente</b>				

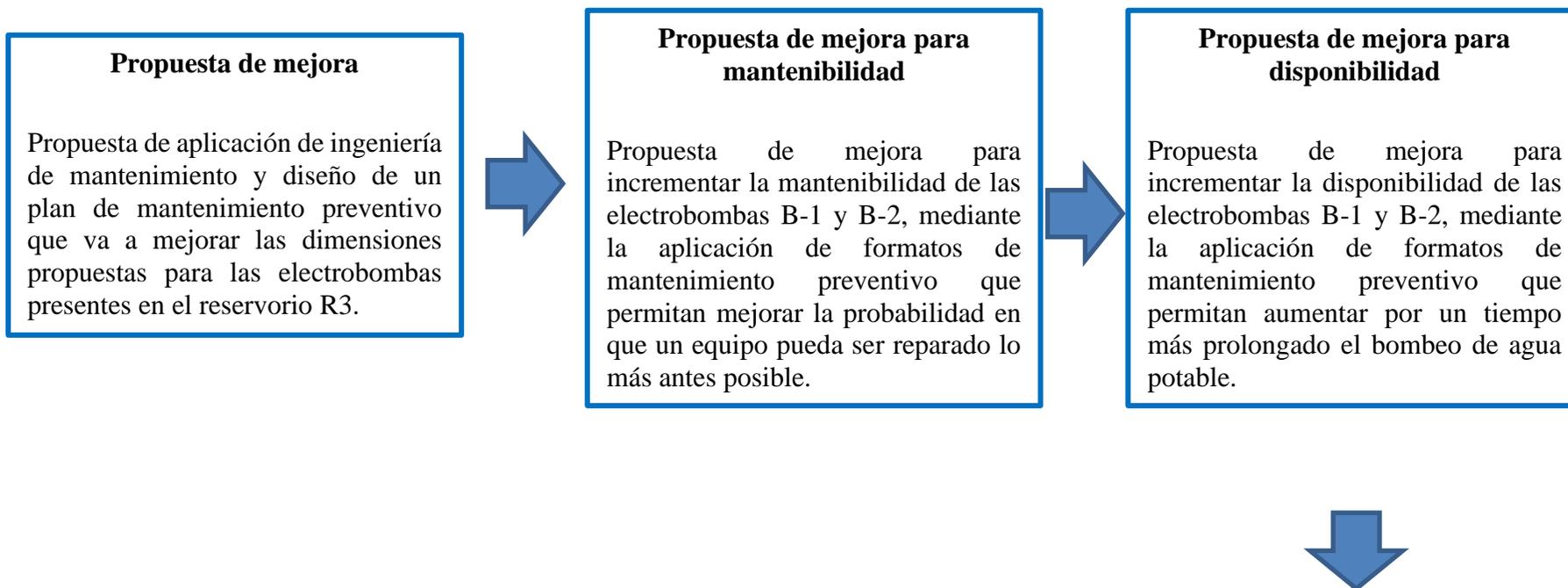
Plan de	Es aquel que	Tiempo	N° de horas/falla	MTBF
<b>mantenimiento preventivo</b>	sirve para	promedio entre	$MTBF = \frac{N^{\circ} \text{ de horas Operativas}}{N^{\circ} \text{ de paradas correctivas}}$	B1 = 5,475 horas/falla
	garantizar las prestaciones y tiempos de operación de los equipos. (Navas Carrillo, 2015)	fallas		B2 = 6,257.14 horas/ falla
		Tiempo	N° de horas/falla	MTTR
		promedio para reparar	MTTR (Hrs/ Rep) = (Total Horas Reparación / N° Reparaciones)	B1 = 4.9575 horas/falla B2 = 5.1171 horas/ falla
		Utilización de la máquina	% de utilización	Utilización
			$UM = \frac{\text{Horas Trabajadas}}{\text{Horas Disponibles}} * 100\%$	B1 = 50.04% B2 = 50.05%
		Cumplimiento de mantenimientos programados (MP)	N° de mantenimientos	N° Mantenimientos programados
			$MP (\%) = \frac{\text{Horas Programadas de Trabajo}}{\text{Horas de Mantenimiento de Fabricante}}$	B1 = 8 mantenimientos B2 = 7 mantenimientos

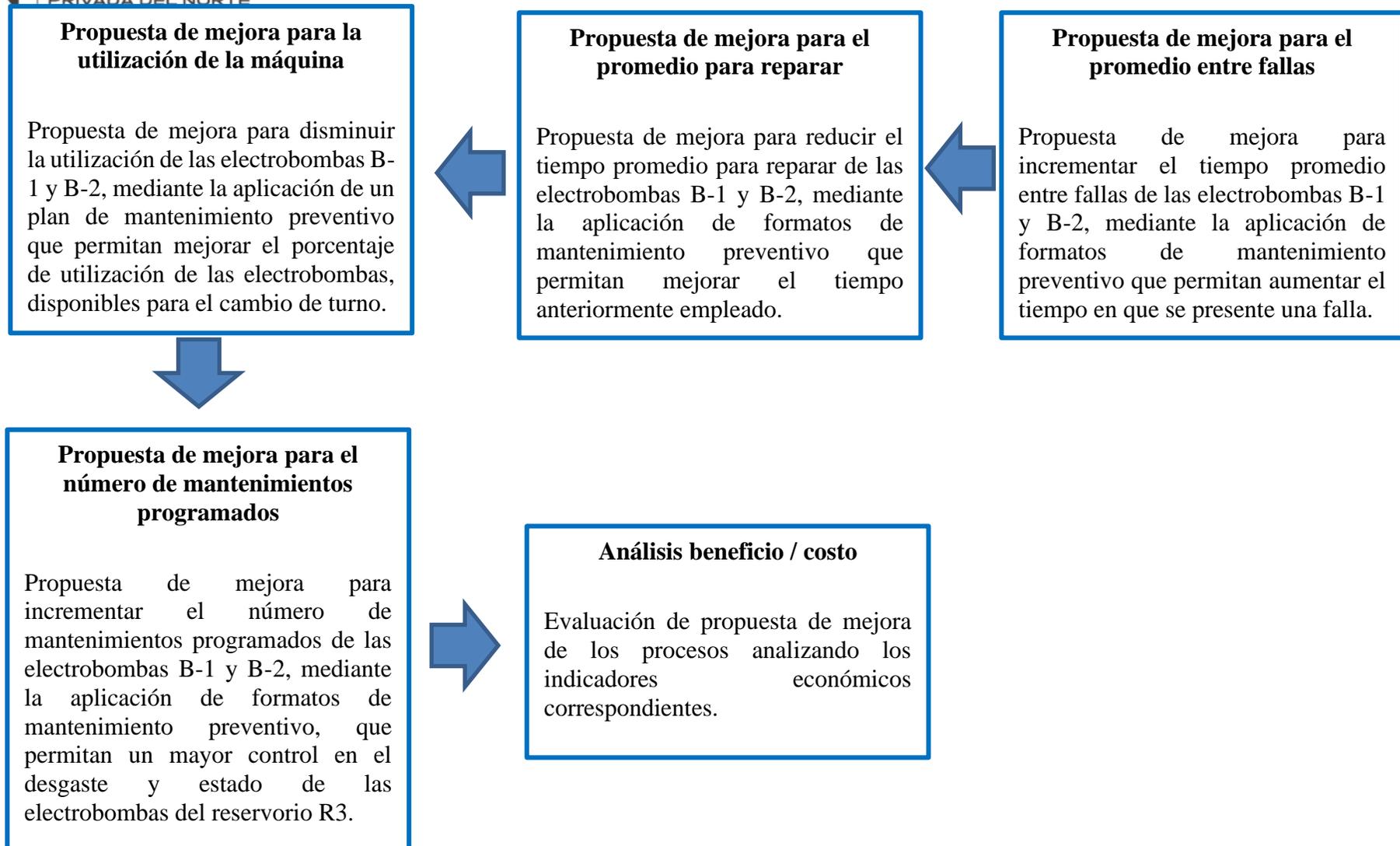
Fuente: Elaboración Propia

### 3.6. Diseño de un plan de mantenimiento preventivo.

Mediante la presente investigación se logrará desarrollar una solución que le permita a la empresa prolongar el tiempo de vida de su maquinaria y los paros innecesarios por reparación, de esta manera se presentaran seis propuestas de mejora y un análisis financiero que permita respaldar nuestra investigación, a continuación, se mostrara dichos puntos.

**Figura 3: Diagrama de la propuesta de mejora**





Fuente: Elaboración Propia

### **3.6.1. Diseño de un plan de mantenimiento preventivo**

#### **3.6.1.1. Métodos empleados para mejorar el mantenimiento en las electrobombas B – 1 y B – 2 presentes en el reservorio R3**

##### **3.6.1.1.1 Propuesta de implementación de mantenimiento preventivo y aplicación de formatos en las electrobombas B1 y B2**

Para la propuesta de mejora se considerara la reducción de los tiempos y aplicación de formatos de mantenimiento que repercutan directamente con la mantenibilidad, disponibilidad, tiempo promedio entre fallas (MTBF), tiempo promedio para reparar (MTTR), porcentaje de utilización de la máquina y en el número de mantenimientos programados en las electrobombas presentes en el reservorio R3 de la EPS Sedacaj en la ciudad de Cajamarca, puesto que al haber investigado el estado actual de dichas electrobombas mediante una serie de encuestas, entrevistas verbales y observación directa se vio la necesidad de realizar dichas mejoras que les permita prolongar la vida útil de sus equipos de bombeo de agua potable.

Según (García Garrido, 2010) afirma que cada empresa debe contar con un formato de mantenimiento que más se adapte a sus actividades o necesidades según sea el caso, así mismo menciona que dichos formatos elaborados cumplen con el objetivo de mejorar los tiempos de mantenimiento o reparación de los equipos dañados, permitiendo tener un mayor control del proceso y reducción de los tiempos mediante una programación planificada.

Los formatos diseñados de registro de capacitaciones de mantenimiento preventivo (anual), hoja de verificación, de reporte de averías, de control de mantenimiento, de requerimiento de repuestos para mantenimiento preventivo y de verificación del equipo los cuales se pueden apreciar en los Anexos 7, 8, 9, 10, 11 y 12.

Para dar inicio a la propuesta de implementación del plan de mantenimiento preventivo y formatos alineados a mejorar el MTTR, se hará una descripción del supuesto proceder del operador encargado de realizar el mantenimiento planificado ya sea a la electrobomba hidrostal B1 o B2 según el cronograma de mantenimientos preventivos propuestos en la Tabla N° 31, previamente a la fecha del mantenimiento preventivo establecida (3 días) el jefe del área de mantenimiento y control de perdidas debe brindar autorización al personal encargado de solicitar las piezas e insumos necesarios para su labor establecida, siendo de ayuda el formato de requerimiento de repuestos para mantenimiento preventivo (Ver Anexo 10) que tiene como objetivo que el personal encargado del mantenimiento a las electrobombas del reservorio R3 pueda solicitar a su jefe inmediato y posteriormente al área de logística las piezas necesarias para el mantenimiento preventivo o reparación según sea el caso, de esta manera la empresa tendrá un registro del movimiento de las piezas adquiridas por el área de logística mediante el capital de la empresa permitiendo saber el uso dado a dichas piezas.

Una vez llegada la primera inspección (18 de noviembre del 2020) el operador procederá a movilizarse según las órdenes del jefe del área de mantenimiento y control de pérdidas al reservorio R3 ubicado en el Jr. Loreto cuadra 5, una vez

presente en el cuarto de máquinas el operador encargado deberá proceder al relevo de bombeo de B1 a B2 o de B2 a B1 según sea el caso, el operador con ayuda del formato (hoja de verificación) (Ver Anexo 8) registrará los procedimientos a realizar en el mantenimiento preventivo para corroborar el correcto proceder en el mantenimiento preventivo de las electrobombas del reservorio R3, así mismo, deberá desenergizar la electrobomba cuya fecha de mantenimiento haya sido programada, el operador realizará la inspección del estado de las piezas y componentes de la maquinaria con ayuda del formato de control de mantenimiento (Ver Anexo 9) cuya función es la de registrar el uso de piezas o insumos solicitados al área de logística de la EPS Sedacaj para el proceso de mantenimiento preventivo de las electrobombas B1 y B2, así mismo, se registrará el tiempo desarrollado en dicho mantenimiento con una descripción del proceso utilizado por el operador de mantenimiento encargado, posteriormente el operador iniciará con retirar los tornillos m6x30 de la carcasa y a la vez los examinará en busca de desgaste para posteriormente reemplazarlos, seguidamente retirará la carcasa dejando expuesto todo el mecanismo interno de la máquina, a continuación el operador procederá a cambiar los cojinetes (sellos de goma) (Ver Anexo 12) del eje del impulsor por unos nuevos para evitar filtraciones, posteriormente sustituirá los pernos m4x20 (Ver Anexo 13) y el aceite de la caja de rodamientos (Ver Anexo 15) por uno nuevo mediante una engrasadora neumática para así preservar la vida de estos, luego comenzará a armar nuevamente la electrobomba, cambiando los pernos m6x30 (Ver Anexo 14) por unos nuevos, así mismo retirará el polvo acumulado mediante un trapo industrial para evitar sobrecalentamientos del equipo, finalmente el operador procederá a conectar la electrobomba a la energía

eléctrica para realizar una prueba del funcionamiento de 10 minutos y detectar ruidos extraños o inconvenientes después del mantenimiento preventivo registrándolo en el formato de verificación del equipo (Ver Anexo 11), el cual fue diseñado con el fin de registrar las piezas utilizadas en el mantenimiento preventivo o reparación del equipo según sea el caso, por otro lado, una vez que el operador de mantenimiento a realizado la reparación o mantenimiento planificado, este procederá a probar el equipo en funcionamiento, de esta manera se comprobará el correcto desarrollo de su actividad proporcionada a la electrobomba observada, finalmente el operador de mantenimiento entregará el equipo al personal pertinente en el bombeo de agua potable para la continuidad del servicio.

Finalmente mencionar que de darse el caso de un desperfecto en las electrobombas B1 y B2 a pesar de haberse dado de forma correcta el mantenimiento preventivo obtenido mediante la placa de especificaciones técnicas y el conteo de horas de uso, el operador tendrá la necesidad de realizar una reparación de emergencia en la cual deberá emplear el formato de reporte de averías (Ver Anexo 8) donde se solicitará el permiso del jefe del área de mantenimiento y control de pérdidas para su pronta reparación.

### **3.6.1.1.2 Propuesta de mejora de mantenibilidad**

Para la propuesta de mejora de mantenibilidad se busca obtener un mayor porcentaje en dicha mantenibilidad que permita garantizar la culminación de una reparación en el tiempo promedio registrado a lo largo de los 10 años por parte del personal de mantenimiento, lo cual beneficia a obtener un mayor control en la reparación de las electrobombas presente en el reservorio R3 de la EPS Sedacaj,

dicha mejora se puede ver de una forma más detallada en el punto 3.7.1. (**Diseño de mejora de dimensión “Mantenibilidad”**), donde se podrá observar la comparación entre el estado actual de las electrobombas y la posterior mejora en su mantenibilidad.

#### **3.6.1.1.3 Propuesta de mejora de disponibilidad**

Para la mejora de la disponibilidad se busca aumentar el porcentaje de tiempo garantizado de bombeo de agua potable en las electrobombas, permitiendo así obtener una mayor cantidad de horas de funcionamiento de dichos equipos antes de un mantenimiento programado, dicho cálculo se puede apreciar en el punto 3.7.2. (**Diseño de mejora de dimensión “Disponibilidad de Equipos”**), donde se podrá observar la comparación entre el estado actual de las electrobombas y la posterior mejora en su disponibilidad.

#### **3.6.1.1.4 Propuesta de mejora del tiempo promedio entre fallas**

Para la mejora del tiempo promedio entre fallas, se necesita buscar un aumento en el tiempo en que las electrobombas presentes en el reservorio posean una falla, permitiendo así prolongar el servicio de bombeo a la parte alta de la ciudad de Cajamarca, dichos cálculos se pueden observar más detalladamente en el punto 3.8.1. (**Diseño de mejora de dimensión “Tiempo promedio entre fallas”**), donde se podrá apreciar la comparación entre el estado actual de las electrobombas y la posterior mejora en su tiempo promedio entre fallas.

### **3.6.1.1.5 Propuesta de mejora del tiempo promedio para reparar**

Para la propuesta de mejora del tiempo promedio para reparar se necesita reducir los tiempos en que el personal demora en realizar una reparación de las electrobombas dañadas, reduciendo el tiempo de la inspección de la falla mediante un plan de mantenimiento preventivo que permita realizar inspecciones constantes del desgaste de los equipos, mejorará el tiempo promedio para reparar en que las electrobombas presentes en el reservorio son subsanadas, mediante el punto 3.8.2. (**Diseño de mejora de dimensión “Tiempo promedio para reparar”**) se podrá observar de una forma más detallada dichos resultados.

### **3.6.1.1.6 Propuesta de mejora de la utilización de la máquina**

Para la propuesta de mejora de la utilización de la máquina, se vio la necesidad de reducir el porcentaje de utilización del equipo que actualmente la empresa posee, ya que de sobrepasar el 50% de dicha utilización significaría que una electrobomba estaría sufriendo un mayor desgaste a comparación de la otra, realizando esta mejora se podrá preservar el tiempo de vida de los equipos, dichos cálculos se podrán apreciar en el punto 3.8.3. (**Diseño de mejora de dimensión “Utilización de la máquina”**), donde se podrá observar la comparación entre el estado actual de las electrobombas y la posterior mejora en su utilización.

### **3.6.1.1.7 Propuesta de mejora de cumplimiento de mantenimientos programados**

Para realizar la presente propuesta de mejora en el cumplimiento de mantenimientos programados, se necesita hacer un cálculo con la cantidad de horas de mantenimiento en que el fabricante recomienda realizar su mantenimiento preventivo, debido a que las electrobombas analizadas solo

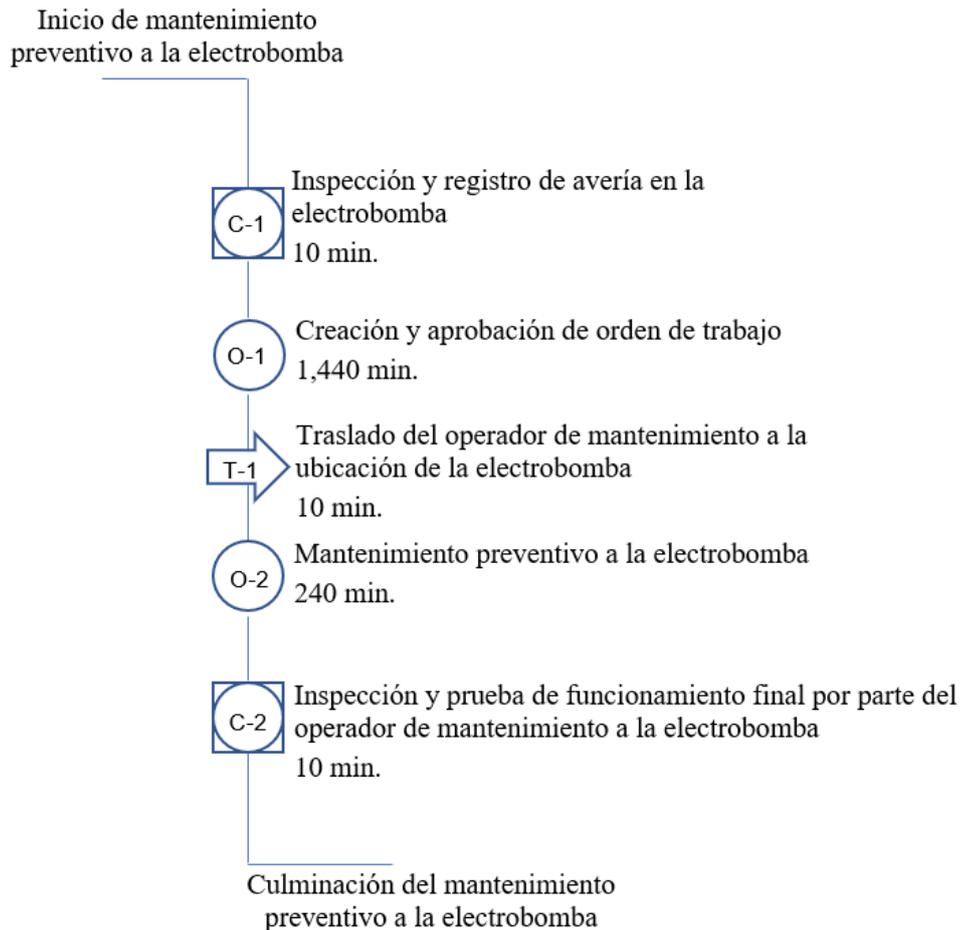
contaban con mantenimientos correctivos originados por fallas, se vio la necesidad de encontrar una cantidad optima de mantenimientos que permitan prolongar el tiempo de vida de los equipos, reduciendo el desgaste propiciado por el continuo uso, de esta manera en el punto 3.8.4. (**Diseño de mejora de dimensión “Mantenimientos programados (MP)”**) se mostrará dichos cálculos y se realizará una comparación entre en el estado actual de las electrobombas y la posterior mejora de estas.

### **3.6.2. Rediseño del diagrama de análisis de procesos**

Tras las mejoras planteadas en el presente documento se podría corroborar un cambio en los tiempos en que el personal de mantenimiento demora en realizar sus funciones, dichas funciones para la reparación de las electrobombas presentes en el reservorio R3 se muestran en la Figura 2 lo que viene siendo su proceder durante las emergencias que poseían antes de las mejoras, sin embargo mediante la Figura 4 se logra observar la reducción del tiempo de mantenimiento originado por el diseño del plan de mantenimiento preventivo que se busca presentar en esta investigación, tanto la inspección y registro del mantenimiento preventivo de la electrobomba, creación y aprobación de orden de trabajo, traslado del operador de mantenimiento e inspección y prueba de funcionamiento no pueden ser agilizados debido a su naturalidad, protocolo e importancia, sin embargo el mantenimiento si puede ser mejorado, en este caso se realizó una disminución del anterior tiempo de 360 minutos a 240 minutos aproximadamente, debido a que al contar con un plan de mantenimiento preventivo se pudo reducir considerablemente el tiempo en que el operador de mantenimiento demora en determinar la falla, siendo la principal razón

del prolongado mantenimiento según los dos operadores entrevistados durante la visita e inspección de sus instalaciones.

**Figura 4: Mejora del diagrama de procesos**



Fuente: Elaboración Propia

### 3.7. Diseño de mejora de variable “Mantenibilidad de electrobombas”

#### 3.7.1. Diseño de mejora de dimensión “Mantenibilidad”

Una vez determinado el estado actual de la mantenibilidad de las electrobombas, se vio la necesidad de plantear un diseño que mejorará dicha dimensión beneficiando al servicio de bombeo de agua potable, que se les ofrece a las zonas altas de la ciudad de Cajamarca; dicha mejora se vio planteada por la elevada cantidad de horas en que

el personal de mantenimiento demora en detectar la avería en la electrobomba presente en el reservorio R3, ya que las razones pueden ser diversas para el paro del funcionamiento de dichas electrobombas, en anteriores ocasiones se pudo detectar problemas como sobrecargas, cortocircuitos y sobrecalentamiento principalmente, sin embargo no se puede afirmar con certeza el próximo desperfecto que dichas electrobombas puedan presentar, no obstante con un plan de mantenimiento preventivo planificado previamente el operador realizara el cambio y seguimiento de las piezas y componentes de las electrobombas analizadas cada 11 meses como se puede observar en la Tabla N° 31 (Cronograma de mantenimientos preventivos programados), obteniendo un registro del estado de desgaste de las piezas utilizadas que le servirán al operador para detectar de una forma más precisa y rápida el inconveniente que dicha electrobomba pueda presentar al momento de bombear agua potable a la ciudad de Cajamarca.

Mediante esta mejora planteamos la aplicación de formatos (Ver Anexos 7, 8, 9, 10, 11 y 12) que permitan controlar las capacitaciones, pedido de piezas y el reporte de las averías que estas presenten en el momento de la inspección, teniendo un registro del deterioro de cada pieza permitiéndonos determinar el tiempo en que cada pieza debe ser reparada o reemplazada evitando principalmente las paradas innecesarias del servicio de bombeo que afecten la calidad en el servicio ofrecido a las familias de la parte alta de la ciudad de Cajamarca, determinada como la zona R3.

Después del diseño de los formatos (Ver Anexos 7, 8, 9, 10, 11 y 12) es posible lograr una mejora en la disminución de los tiempos de reparación por falla en las electrobombas, dicha disminución se debió al recorte del tiempo al momento de determinar el origen de la falla en el funcionamiento, así mismo en el seguimiento de

las fallas en los equipos, ya que con un control e inspección más minucioso, se podría predecir que pieza en la electrobomba va a fallar mediante la observación del desgaste por el uso de dichas piezas, a continuación, se observará la posible reducción detallada de los tiempos de reparación por falla y el aumento de la mantenibilidad de las electrobombas presentes en el reservorio R3.

### Cálculo de la Mantenibilidad para la Electrobomba B – 1

**Tabla N° 19: Datos supuestos para el cálculo de la mantenibilidad de la electrobomba B - 1**

Datos de Reparación (horas)	Acumulado de Fallas	M(i)
2.15	1	6.14%
2.22	2	14.91%
2.88	3	23.68%
2.98	4	32.46%
2.99	5	41.23%
3.18	6	50.00%
3.43	7	58.77%
3.59	8	67.54%
3.61	9	76.32%
3.69	10	85.09%
3.95	11	93.86%

Número de eventos de falla	
<b>n</b>	11

Fuente: Elaboración Propia

Ejemplo del cálculo de M(i)

$$M(i) = \frac{(\text{Acumulado de fallas} - 0.3)}{(\text{Número de fallas} + 0.4)} * 100$$

$$M(i) = \frac{(1 - 0.3)}{(11 + 0.4)} * 100$$

$$M(i) = 6.14\%$$

### Modelado Weibull (datos supuestos)

**Tabla N° 20: Datos Modelado Weibull**

Datos de Reparación (horas)	Acumulado de Fallas	M(i)	LN(T)	ln(-ln(1-M(i)))
2.15	1	6.14%	0.765467842	-2.758770808
2.22	2	14.91%	0.797507196	-1.823327725
2.88	3	23.68%	1.057790294	-1.308258602
2.98	4	32.46%	1.091923301	-0.935491323
2.99	5	41.23%	1.095273387	-0.632041114
3.18	6	50.00%	1.156881197	-0.366512921
3.43	7	58.77%	1.232560261	-0.120980941
3.59	8	67.54%	1.278152203	0.11803237
3.61	9	76.32%	1.283707772	0.364894181
3.69	10	85.09%	1.305626458	0.643423761
3.95	11	93.86%	1.373715579	1.026144924

Fuente: Elaboración Propia

Cálculo de LN(T)

$$LN(T) = LN(2.15)$$

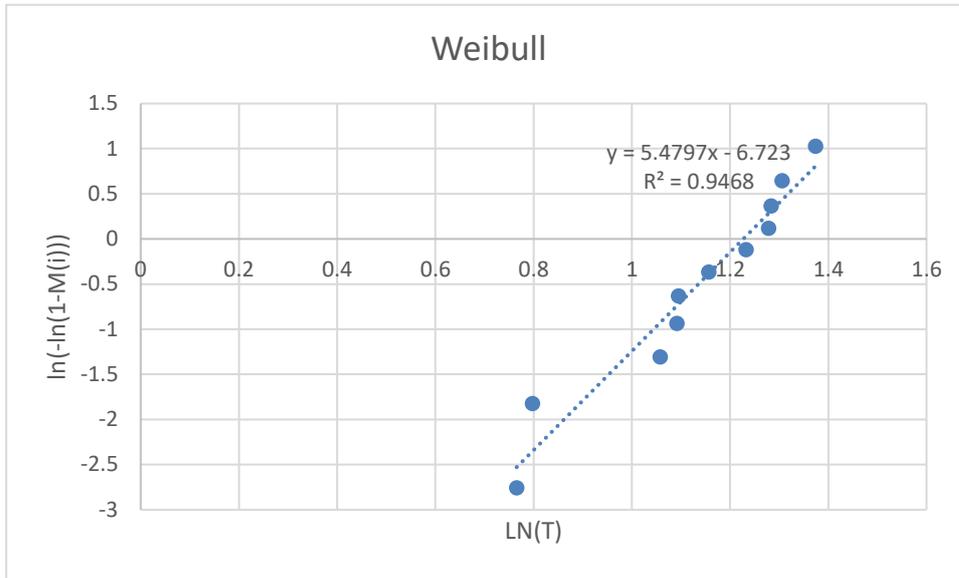
$$LN(T) = 0.765467842$$

Cálculo de ln(-ln(1-M(i)))

$$\ln(-\ln(1 - M(i))) = \ln(-\ln(1 - 6.14\%))$$

$$\ln(-\ln(1 - M(i))) = -2.758770808$$

**Gráfico 17: Modelado Weibull**



Fuente: Elaboración Propia

Cálculo de  $\beta$

$$\beta = \text{Pendiente} \left( \ln(-\ln(1 - M(i))); \text{LN}(T) \right)$$

$$\beta = 5.47970489$$

Cálculo de  $\eta$

$$\eta = \text{EXP} \left( \text{ABS} \left( \text{INTERSECCION} \cdot \frac{\text{EJE} \left( \left( \ln(-\ln(1 - M(i))); \text{LN}(T) \right) \right)}{\beta} \right) \right)$$

$$\eta = 3.41059637 \text{ hrs}$$

Cálculo de MTTR

MTTR

$$= \frac{(2.15 + 2.22 + 2.88 + 2.98 + 2.99 + 3.18 + 3.43 + 3.59 + 3.61 + 3.69 + 3.95)}{11}$$

$$\text{MTTR} = 3.15181818 \text{ hrs/falla}$$

$\beta$	5.47970489
$\eta$	3.41059637 hrs
<b>MTTR</b>	3.15181818 hrs/falla

Fuente: Elaboración Propia

Cálculo de M(T)

$$M(T) = 1 - \text{EXP}\left(-\left(\frac{3.95}{3.41059637}\right)^{5.47970489}\right)$$

$$M(T) = 89.31\%$$

Datos de Reparación (horas)	M(T)
3.95	89.31%

Fuente: Elaboración Propia

**Modelado Normal (datos supuestos)**

**Tabla N° 21: Datos Modelado Normal**

Datos de Reparación (horas)	Acumulado de Fallas	M(i)	Z
2.15	1	6.14%	-1.54309793
2.22	2	14.91%	-1.04020297
2.88	3	23.68%	-0.7164975
2.98	4	32.46%	-0.45498114
2.99	5	41.23%	-0.22168205
3.18	6	50.00%	0
3.43	7	58.77%	0.221682051
3.59	8	67.54%	0.45498114
3.61	9	76.32%	0.7164975
3.69	10	85.09%	1.040202966
3.95	11	93.86%	1.543097927

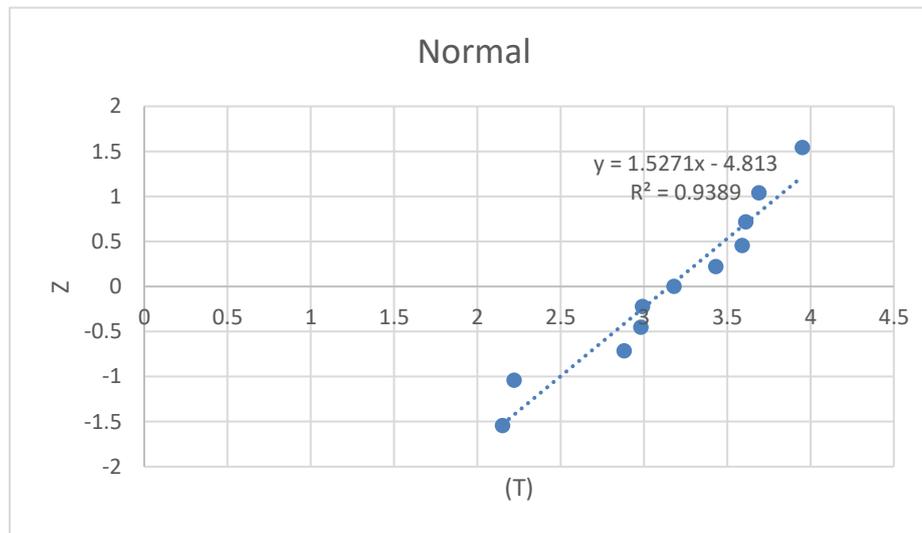
Fuente: Elaboración Normal

Cálculo de Z

$$Z = \text{INV. NORM. ESTAND}(6.14\%)$$

$$Z = -1.54309793$$

**Gráfico 18: Modelado Distribución Normal**



Fuente: Elaboración Propia

$$\sigma = 1/\text{PENDIENTE}(Z; \text{DATOS DE REPARACION})$$

$$\sigma = 0.65485052$$

Cálculo de MTTR

$$\text{MTTR} = \sigma * \text{ABS}(\text{INTERSECCION. EJE}(Z; \text{DATOS DE REPARACION}))$$

$$\text{MTTR} = 3.15181818 \text{ hrs/falla}$$

$\sigma$	0.65485052
<b>MTTR</b>	3.15181818 hrs/falla

Fuente: Elaboración Propia

Cálculo de M(T)

$$M(T) = \text{DISTR. NORM}(3.95; 3.95; 0.65485052; 1)$$

$$M(T) = 88.86\%$$

<b>Datos de Reparación (horas)</b>	<b>M(T)</b>
3.95	88.86%

Fuente: Elaboración Propia

### Modelado Exponencial (datos supuestos)

**Tabla N° 22: Datos Modelado Exponencial**

Datos de Reparación (horas)	Acumulado de Fallas	M(i)	-LN(1-M(i))
2.15	1	6.14%	0.063369614
2.22	2	14.91%	0.16148747
2.88	3	23.68%	0.27029033
2.98	4	32.46%	0.392393027
2.99	5	41.23%	0.531505829
3.18	6	50.00%	0.693147181
3.43	7	58.77%	0.886050847
3.59	8	67.54%	1.125280536
3.61	9	76.32%	1.440361582
3.69	10	85.09%	1.902985104
3.95	11	93.86%	2.790288299

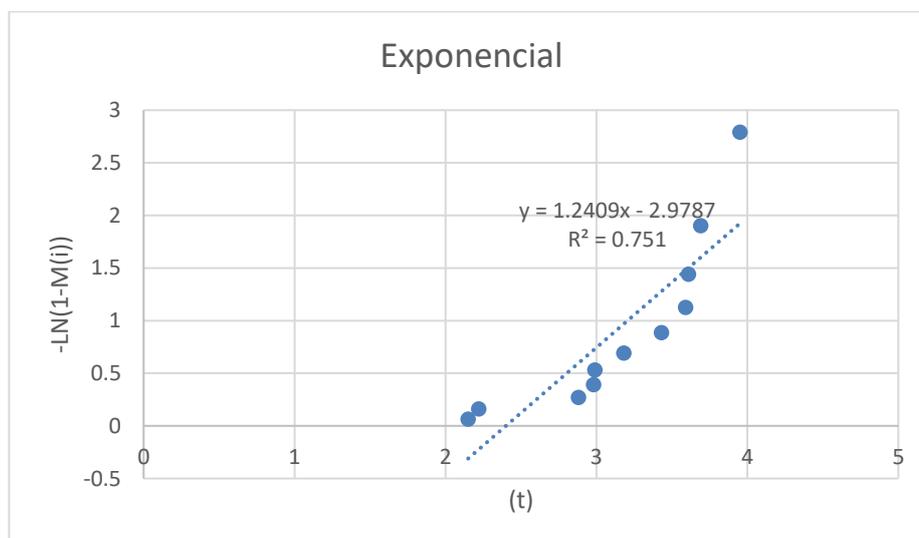
Fuente: Elaboración Propia

Cálculo de  $-\text{LN}(1-M(i))$

$$-\text{LN}(1 - M(i)) = -\text{LN}(1 - 6.14\%)$$

$$-\text{LN}(1 - M(i)) = 0.063369614$$

**Gráfico 19: Modelado Exponencial**



Fuente: Elaboración Propia

Cálculo de  $\lambda_r$

$$\lambda_r = \text{PENDIENTE}(-\text{LN}(1 - M(i)); \text{DATOS DE REPARACION})$$

$$\lambda_r = 1.24091587 \text{ fallas/hr}$$

Cálculo de MTTR

$$\text{MTTR} = 1/\lambda_r$$

$$\text{MTTR} = 0.8058564 \text{ hrs/falla}$$

$\lambda_r$	1.24091587	fallas/hr
<b>MTTR</b>	0.8058564	hrs/falla

Fuente: Elaboración Propia

Cálculo de M(T)

$$M(T) = 1 - \text{EXP}(-1.240915 * 3.95)$$

$$M(T) = 99\%$$

<b>Datos de Reparación (horas)</b>	<b>M(T)</b>
3.95	99%

Fuente: Elaboración Propia

### Cálculo de la Mantenibilidad para la Electro bomba B - 2

**Tabla N° 23: Datos supuestos para el cálculo de la mantenibilidad de la electrobomba B - 2**

Datos de Reparación (horas)	Acumulado de Fallas	M(i)
2.11	1	6.14%
2.25	2	14.91%
2.41	3	23.68%
2.67	4	32.46%
2.86	5	41.23%
3.01	6	50.00%
3.19	7	58.77%
3.22	8	67.54%
3.27	9	76.32%
3.4	10	85.09%
3.64	11	93.86%

Fuente: Elaboración Propia

Ejemplo del cálculo de M(i)

$$M(i) = \frac{(\text{Acumulado de fallas} - 0.3)}{(\text{Número de fallas} + 0.4)} * 100$$

$$M(i) = \frac{(1 - 0.3)}{(11 + 0.4)} * 100$$

$$M(i) = 6.14\%$$

Número de eventos de falla
<b>n</b> 11

Fuente: Elaboración Propia

**Modelado Weibull (datos supuestos)**

**Tabla N° 24: Datos Modelado Weibull**

Datos de Reparación (horas)	Acumulado de Fallas	M(i)	LN(T)	ln(-ln(1-M(i)))
2.11	1	6.14%	0.746687947	-2.758770808
2.25	2	14.91%	0.810930216	-1.823327725
2.41	3	23.68%	0.879626748	-1.308258602
2.67	4	32.46%	0.982078472	-0.935491323
2.86	5	41.23%	1.050821625	-0.632041114
3.01	6	50.00%	1.101940079	-0.366512921
3.19	7	58.77%	1.160020917	-0.120980941
3.22	8	67.54%	1.16938136	0.11803237
3.27	9	76.32%	1.184789985	0.364894181
3.4	10	85.09%	1.223775432	0.643423761
3.64	11	93.86%	1.291983682	1.026144924

Fuente: Elaboración Propia

Cálculo de LN(T)

$$LN(T) = LN(2.11)$$

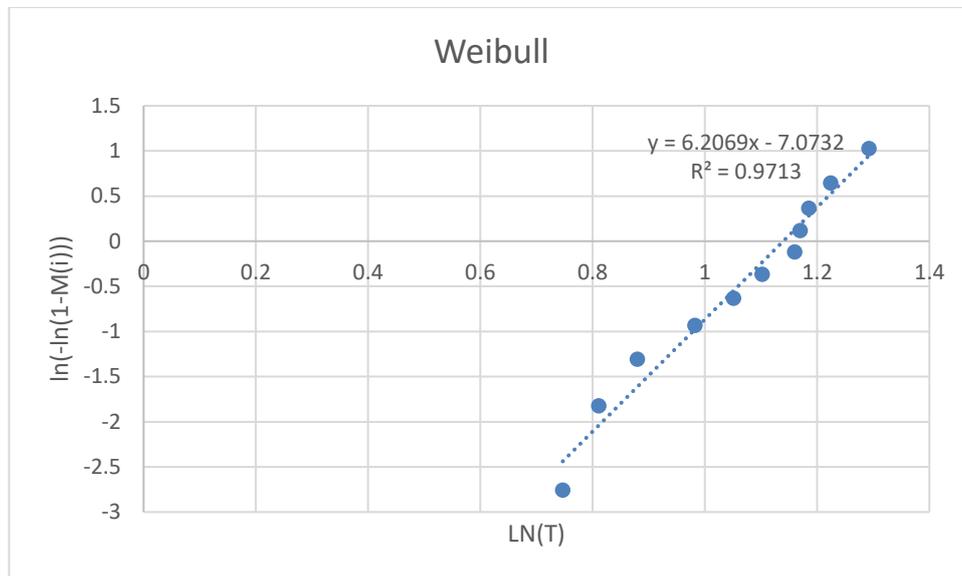
$$LN(T) = 0.746687947$$

Cálculo de ln(-ln(1-M(i)))

$$\ln(-\ln(1 - M(i))) = \ln(-\ln(1 - 6.14\%))$$

$$\ln(-\ln(1 - M(i))) = -2.758770808$$

**Gráfico 20: Modelado Weibull**



Fuente: Elaboración Propia

Cálculo de  $\beta$

$$\beta = \text{Pendiente} \left( \ln \left( -\ln(1 - M(i)) \right); \text{LN}(T) \right)$$

$$\beta = 6.2068686$$

Cálculo de  $\eta$

$$\eta = \text{EXP} \left( \text{ABS} \left( \text{INTERSECCION} \cdot \frac{\text{EJE} \left( \left( \ln \left( -\ln(1 - M(i)) \right); \text{LN}(T) \right) \right)}{\beta} \right) \right)$$

$$\eta = 3.12544384 \text{ hrs}$$

Cálculo de MTTR

MTTR

$$= \frac{(2.11 + 2.25 + 2.41 + 2.67 + 2.86 + 3.01 + 3.19 + 3.22 + 3.27 + 3.4 + 3.64)}{11}$$

$$\text{MTTR} = 2.91181818 \text{ hrs/falla}$$

$\beta$	6.2068686
$\eta$	3.12544384 hrs
<b>MTTR</b>	2.91181818 hrs/falla

Fuente: Elaboración Propia

Cálculo M(T)

$$M(T) = 1 - \text{EXP}(-((3.64/3.125443)^{6.2068686}))$$

$$M(T) = 92.39\%$$

Datos de Reparación (horas)	M(T)
3.64	92.39%

Fuente: Elaboración Propia

**Modelado Normal (datos supuestos)**

**Tabla N° 25: Datos Modelado Normal**

Datos de Reparación (horas)	Acumulado de Fallas	M(i)	Z
2.11	1	6.14%	-1.54309793
2.25	2	14.91%	-1.04020297
2.41	3	23.68%	-0.7164975
2.67	4	32.46%	-0.45498114
2.86	5	41.23%	-0.22168205
3.01	6	50.00%	0
3.19	7	58.77%	0.221682051
3.22	8	67.54%	0.45498114
3.27	9	76.32%	0.7164975
3.4	10	85.09%	1.040202966
3.64	11	93.86%	1.543097927

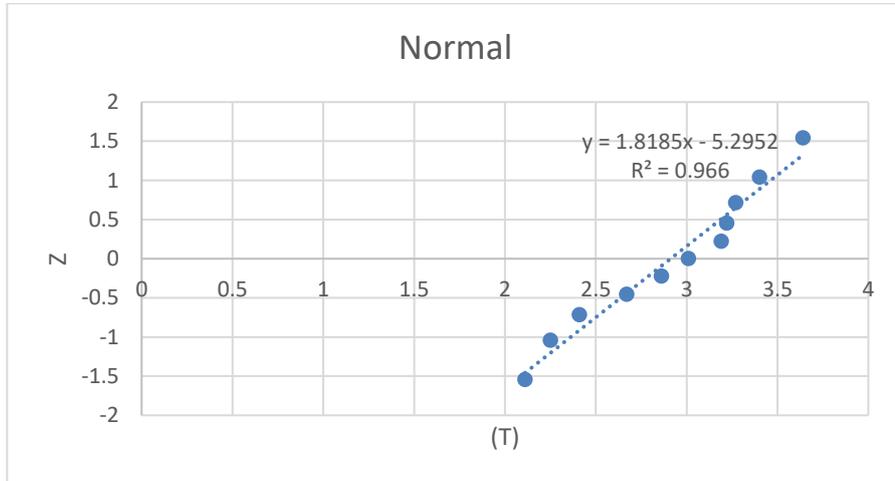
Fuente: Elaboración Normal

Cálculo de Z

$$Z = \text{INV. NORM. ESTAND}(6.14\%)$$

$$Z = -1.54309793$$

**Gráfico 21: Modelado Normal**



Fuente: Elaboración Propia

Cálculo de  $\sigma$

$$\sigma = 1/\text{PENDIENTE}(Z; \text{DATOS DE REPARACION})$$

$$\sigma = 0.54989947$$

Cálculo de MTTR

$$\text{MTTR} = \sigma * \text{ABS}(\text{INTERSECCION. EJE}(Z; \text{DATOS DE REPARACION}))$$

$$\text{MTTR} = 2.91181818 \text{ hrs/falla}$$

$\sigma$	0.54989947
<b>MTTR</b>	2.91181818 hrs/falla

Fuente: Elaboración Propia

Cálculo de M(T)

$$M(T) = \text{DISTR. NORM}(3.64; 3.64; 0.54989947; 1)$$

$$M(T) = 90.73\%$$

<b>Datos de Reparación (horas)</b>	<b>M(T)</b>
3.64	90.73%

Fuente: Elaboración Propia

### Modelado Exponencial (datos supuestos)

**Tabla N° 26: Datos Modelado Exponencial**

Datos de Reparación (horas)	Acumulado de Fallas	M(i)	-LN(1-M(i))
2.11	1	6.14%	0.063369614
2.25	2	14.91%	0.16148747
2.41	3	23.68%	0.27029033
2.67	4	32.46%	0.392393027
2.86	5	41.23%	0.531505829
3.01	6	50.00%	0.693147181
3.19	7	58.77%	0.886050847
3.22	8	67.54%	1.125280536
3.27	9	76.32%	1.440361582
3.4	10	85.09%	1.902985104
3.64	11	93.86%	2.790288299

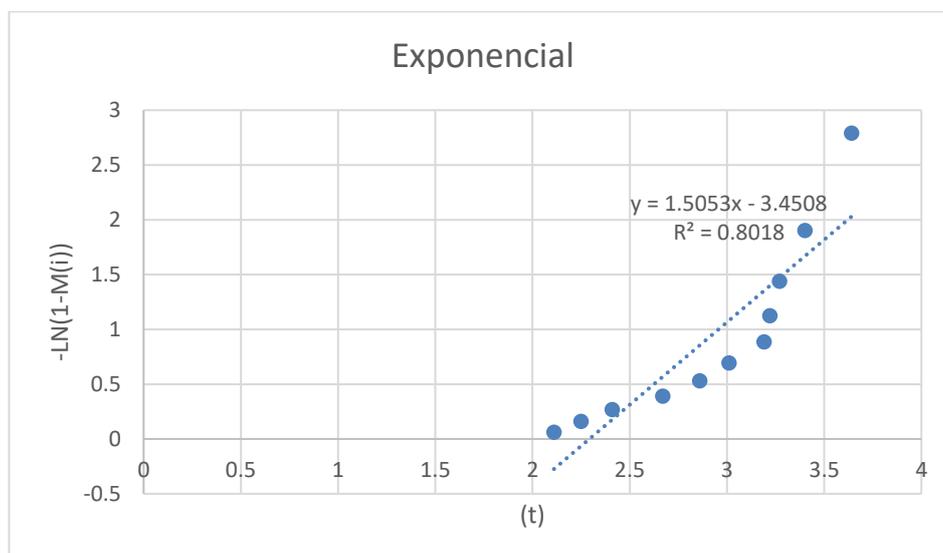
Fuente: Elaboración Propia

Cálculo de  $-\text{LN}(1-M(i))$

$$-\text{LN}(1 - M(i)) = -\text{LN}(1 - 6.14\%)$$

$$-\text{LN}(1 - M(i)) = 0.063369614$$

### Gráfico 22: Modelado Exponencial



Fuente: Elaboración Propia

Cálculo de  $\lambda_r$

$$\lambda_r = \text{PENDIENTE}(-\text{LN}(1 - M(i)); \text{DATOS DE REPARACION})$$

$$\lambda_r = 1.50533096 \text{ fallas/hr}$$

Cálculo de MTTR

$$\text{MTTR} = 1/\lambda_r$$

$$\text{MTTR} = 0.66430574 \text{ hrs/falla}$$

$\lambda_r$	1.50533096	fallas/hr
<b>MTTR</b>	0.66430574	hrs/falla

Fuente: Elaboración Propia

Cálculo de M(T)

$$M(T) = 1 - \text{EXP}(-1.50533096 * 3.64)$$

$$M(T) = 100\%$$

<b>Datos de Reparación (horas)</b>	<b>M(T)</b>
3.64	100%

Fuente: Elaboración Propia

Aplicando las mejoras del diseño planteado se podría obtener una mejora en la mantenibilidad de las electrobombas B – 1 y B – 2, dicha mantenibilidad mejoraría de 50% a 88.86% y de 50% a 90.73% respectivamente, lo cual podría indicar una probabilidad de culminar una reparación a la electrobomba B – 1 en 3.1518 horas, de igual manera existe una probabilidad de 90.73% para culminar una reparación a la electrobomba B – 2 en un tiempo de 2.9118 horas, lo cual podría indicar una mejora considerable a la mantenibilidad y control de las electrobombas presentes en el reservorio R3.

Finalmente aclarar que, al tener un mayor control en el tiempo promedio para reparar, el personal contara con un cronograma más sólido, ya que al contar con un promedio casi estable para las reparaciones podrían dedicar mayor tiempo en otras actividades de la empresa y así no perjudicar en la calidad del servicio brindado al ciudadano Cajamarquino.

### 3.7.2. Diseño de mejora de dimensión “Disponibilidad de Equipos”

Una vez aplicado el formato de registro de capacitaciones (Ver Anexo 7), el formato de hoja de verificación (Ver Anexo 8), el formato de reporte de averías (Ver Anexo 9), el formato de control de mantenimiento (Ver Anexo 10), el formato de requerimiento de repuestos para el mantenimiento preventivo (Ver Anexo 11) y el formato de verificación del equipo (Ver Anexo 12), se podría obtener una mejora en la disponibilidad de las electrobombas del reservorio R3, mejorando la detección del origen de las fallas con un plan de mantenimiento preventivo que permita tener una inspección constante del estado y desgaste de las electrobombas.

A continuación, se mostrará con mayor detalle la obtención de la disponibilidad antes mencionada.

Cálculo de la Disponibilidad de la electrobomba B - 1

Horas de Operación : 43,800 horas

Número de Paradas : 11

Horas de Mantenimiento : 34.67 horas

$$Disponibilidad = \frac{Horas\ Totales - Horas\ parada\ por\ mantenimiento}{Horas\ Totales}$$

$$= \frac{43,800 \text{ horas} - (34.67 \text{ horas} + (12 \text{ horas} * (\frac{365 \text{ dias}}{2}) * 10 \text{ años}))}{43,800 \text{ horas}}$$

$$\text{Disponibilidad} = 49.92\%$$

Cálculo de la Disponibilidad de la electrobomba B - 2

Horas de Operación : 43,800 horas

Número de Paradas : 11

Horas de Mantenimiento : 32.03 horas

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Horas Totales} - \text{Horas parada por mantenimiento}}{\text{Horas Totales}}$$

*Disponibilidad*

$$= \frac{43,800 \text{ horas} - (35.82 \text{ horas} + (12 \text{ horas} * (\frac{365 \text{ dias}}{2}) * 10 \text{ años}))}{43,800 \text{ horas}}$$

$$\text{Disponibilidad} = 49.93\%$$

Como se puede apreciar se podría obtener un aumento en la disponibilidad de las electrobombas del reservorio R3, dicha disponibilidad para el caso de B - 1 podría aumentar de 49.91% a 49.92% en garantizar un bombeo de 14,600 horas de agua potable antes de que ocurra una falla, así mismo la disponibilidad de la electrobomba B - 2 podría aumentar de 49.92% a 49.93% en garantizar un bombeo de 14,600 horas antes de que ocurra una falla, dicho aumento del 0.01% se debió a la disminución de las horas de mantenimiento en que el personal demora en culminar su periodo de mantenimiento, al ser posible detectar con mayor facilidad el origen del desperfecto, este dato puede que no sea significativo debido a su bajo aumento, sin embargo es necesario aclarar que dicha mejora fue aplicada en un periodo de 10 años siendo

3,650 días en comparación a 22 paradas por mantenimiento de las cuales solo se necesitan 3.08 horas aproximadamente para culminar dicho mantenimiento, siendo así una proporción muy dispareja entre los días de operación y las paradas de mantenimiento.

### **3.8. Diseño de mejora de variable “Plan de Mantenimiento Preventivo”**

#### **3.8.1. Diseño de mejora de dimensión “Tiempo promedio entre fallas”**

Una vez aplicado el diseño del plan de mantenimiento preventivo en las electrobombas del reservorio R3 se podría tener un mayor control en el estado en que se encuentren dichos equipos, es decir se controlara el desgaste y mal funcionamiento, evitando inconvenientes tales como sobrecargas, cortocircuitos, problemas mecánicos y sobrecalentamiento, sin embargo no se puede evitar de una forma efectiva el corte de suministro eléctrico, ya que la empresa no cuenta con un grupo electrógeno que logre abastecer energicamente a las electrobombas, es por esta razón que se ha considerado como fallas en el periodo de mejora la misma cantidad de cortos de servicio eléctrico que el periodo de 10 años antes analizado, de esta forma tanto la electrobomba B – 1 como la electrobomba B – 2 contarán con un total de 3 pares de funcionamiento por cada una, impidiendo ofrecer el servicio de calidad que abastece con agua potable a la zona alta de Cajamarca denominada R3; a continuación, se podrá observar de una forma más detallada dicha mejora en el tiempo promedio entre fallas.

### Cálculo del MTBF para la electrobomba B - 1

**Tabla N° 27: Datos supuestos para el cálculo del MTBF de la electrobomba B - 1**

Datos de Reparación (horas)	Acumulado de Fallas
4.01	1
4.33	2
4.41	3

Fuente: Elaboración Propia

N° de horas Operativas : 43,800 horas

Número de fallas : 3 fallas

$$MTBF = \frac{N^{\circ} \text{ de horas Operativas}}{N^{\circ} \text{ de paradas correctivas}}$$

$$MTBF = \frac{43,800 \text{ horas}}{3 \text{ fallas}}$$

$$MTBF = 14,600 \text{ horas/falla}$$

### Cálculo del MTBF para la electrobomba B - 2

**Tabla N° 28: Datos supuestos para el cálculo del MTBF de la electrobomba B - 2**

Datos de Reparación (horas)	Acumulado de Fallas
4.26	1
4.5	2
4.56	3

Fuente: Elaboración Propia

N° de horas Operativas : 43,800 horas

Número de fallas : 3 fallas

$$MTBF = \frac{N^{\circ} \text{ de horas Operativas}}{N^{\circ} \text{ de paradas correctivas}}$$

$$MTBF = \frac{43,800 \text{ horas}}{3 \text{ fallas}}$$

$$MTBF = 14,600 \text{ horas/falla}$$

Una vez aplicada nuestra propuesta de mejora se podría observar una mejora considerable en el tiempo promedio entre fallas (MTBF) en los equipos del reservorio R3, dicha mejora involucra un aumento del 62.5% en comparación a las obtenidas en el anterior estado actual de la electrobomba B – 1, así mismo se podría conseguir un aumento del MTBF de 57.14% en la electrobomba B – 2, lo cual implicaría una mejora considerable en el tiempo en que las electrobombas puedan ofrecer su servicio de bombeo, es decir cada 14,600 horas en funcionamiento tanto la electrobomba B – 1 como la electrobomba B – 2 presentarán una falla, siendo claramente una mejora en comparación al anterior estado actual de la empresa, ofreciendo un mejor control ante las fallas en dichas electrobombas favoreciendo la calidad en el servicio de bombeo a las zonas altas de la ciudad de Cajamarca denominada R3.

### **3.8.2. Diseño de mejora de dimensión “Tiempo promedio para reparar”**

Para realizar la mejora en el tiempo promedio para reparar (MTTR) se vio necesario aplicar los formatos de registro de capacitaciones (Ver Anexo 7), de hoja de verificación (Ver Anexo 8), de reporte de averías (Ver Anexo 9), de control de mantenimiento (Ver Anexo 10), de requerimiento de repuestos para el mantenimiento preventivo (Ver Anexo 11) y de verificación del equipo (Ver Anexo 12), los cuales se pueden apreciar en la propuesta de estandarizado del proceso ubicado en el punto 3.6.1.1.1. (**Propuesta de implementación de mantenimiento preventivo y aplicación de formatos en las electrobombas B1 y B2**) contribuyeron

a la disminución de los datos de reparación (horas) ya que existe un mayor control en el desgaste de las piezas de las electrobombas permitiendo al operador determinar con una mayor facilidad el origen de la falla al conocer el estado de las mismas mediante una previa aplicación de mantenimiento preventivo programado visto en la Tabla N° 31, contribuyendo a la disminución de la principal razón de consumo de tiempo en esa actividad, permitiendo disminuir los datos de reparación en un promedio de 2 a 4 horas con respecto al anterior dato de reparación de 4 a 6 horas, a continuación, se mostrará de una forma más detallada el cálculo de la mejora en el MTTR.

#### **Cálculo del MTTR para la electrobomba B - 1**

**Tabla N° 29: Datos supuestos para el desarrollo del MTTR de la electrobomba B - 1**

<b>Datos de Reparación (horas)</b>	<b>Acumulado de Fallas</b>
2.15	1
2.22	2
2.88	3
2.98	4
2.99	5
3.18	6
3.43	7
3.59	8
3.61	9
3.69	10
3.95	11

Fuente: Elaboración Propia

Tiempo Total de Reparación : 34.67 horas

Número de fallas : 11 fallas

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de reparación}}{\text{Número de fallas}}$$

$$MTTR = \frac{34.67 \text{ horas}}{11 \text{ fallas}}$$

$$MTTR = 3.15 \text{ horas/falla}$$

### Cálculo del MTTR para la electrobomba B - 2

**Tabla N° 30: Datos supuestos para el desarrollo del MTTR de la electrobomba B - 2**

Datos de Reparación	Acumulado de Fallas
2.11	1
2.25	2
2.41	3
2.67	4
2.86	5
3.01	6
3.19	7
3.22	8
3.27	9
3.4	10
3.64	11

Fuente: Elaboración Propia

Tiempo Total de Reparación : 32.03 horas

Número de fallas : 11 fallas

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de reparación}}{\text{Número de fallas}}$$

$$MTTR = \frac{32.03 \text{ horas}}{11 \text{ fallas}}$$

$$MTTR = 2.91 \text{ horas/falla}$$

Se puede observar una diferencia considerable en los tiempos de reparación, tal es el caso que el promedio del tiempo de reparación actual de la electrobomba B - 1 es de 4.9575 horas y de B - 2 es de 5.2954 horas, sin embargo, aplicando la mejora se

podría notar un tiempo de reparación de B - 1 de 3.1518 horas y de B – 2 de 2.9118 horas, dándonos una disminución del tiempo promedio en reparar de B – 1 de 1.8057 horas y de B – 2 de 2.3836 horas, permitiendo una mejor respuesta ante incidentes que perjudiquen el bombeo a la zona alta de Cajamarca, ya que al tener un menor tiempo en reparación de cada electrobomba, esta podría estar disponible con mayor rapidez para reemplazar a la otra electrobomba en caso de un percance no programado, finalmente aclarar que al disminuir el tiempo promedio para reparar el operador a cargo del mantenimiento tendría mayor tiempo para dedicar a otras actividades que beneficien a la calidad del servicio del cargo que este posea.

### **3.8.3. Diseño de mejora de dimensión “Utilización de la máquina”**

Para realizar la mejora de la utilización de la máquina (electrobomba) en el reservorio R3, se vio necesario disminuir la cantidad de horas trabajadas para poder lograr una mejora en el porcentaje de utilización de la máquina que no afecte el estándar propuesto por la empresa (12 horas de funcionamiento por cada electrobomba), permitiendo no dañar la calidad en su servicio, evitando el deterioro de las piezas y el tiempo de vida de los equipos al utilizar una electrobomba más tiempo del programado que la otra, debido a paros innecesarios ocurridos por imprevistos originados por la falta de un mantenimiento preventivo (sobrecargas, cortocircuitos, problemas mecánicos y sobrecalentamiento) que ocasiona un paro en el bombeo de agua potable, haciendo que una electrobomba tenga que suplir a la otra trabajando más horas y como resultado un mayor desgaste acortando su vida útil en la empresa, no obstante con la aplicación del plan de mantenimiento preventivo se podrá tener un mayor control de dichas electrobombas y su desgaste, evitando así imprevistos y permitiendo el funcionamiento de las electrobombas en sus periodos definidos de

trabajo dentro del reservorio R3, a continuación, se presentarán los cálculos necesarios que faciliten la interpretación de este.

### **Cálculo de la utilización de la electrobomba B - 1**

Horas trabajadas en 10 años :

$$12 * 365 * 10 \text{ horas} = 43,800 \text{ horas}$$

Horas disponibles :

$$24 * 365 * 10 \text{ horas} = 87,600 \text{ horas}$$

$$UM = \frac{\textit{Horas Trabajadas}}{\textit{Horas Disponibles}} * 100\%$$

$$UM = \frac{43,800}{87,600} * 100\%$$

$$UM = 50.00 \%$$

### **Cálculo de la utilización de la electrobomba B - 2**

Horas trabajadas :

$$12 * 365 * 10 \text{ horas} = 43,800 \text{ horas}$$

Horas disponibles : 87,600 horas

$$24 * 365 * 10 \text{ horas} = 87,600 \text{ horas}$$

$$UM = \frac{\textit{Horas Trabajadas}}{\textit{Horas Disponibles}} * 100\%$$

$$UM = \frac{43,800}{87,600} * 100\%$$

$$UM = 50.00 \%$$

Como se puede apreciar, se pudo realizar una mejora considerable en comparación al porcentaje de utilización que las electrobombas contaban antes de la mejora, dicha mejora se podría llegar en la diferencia de que B – 1 pase de 50.04% a 50.00% y B – 2 pase de 50.05% a 50.00%, siendo adecuado para el estándar del 50.00% propuesto por la empresa, esto fue posible por la aplicación de un plan de mantenimiento preventivo, ya que al tener un mayor control en las fallas se puede evitar que las electrobombas trabajen en horas de las cuales no fueron programadas, debido a sobrecargas, cortocircuitos, problemas mecánicos y sobrecalentamiento, beneficiando a la calidad del servicio, tiempo de vida útil y control en el cronograma de utilización del mismo.

#### **3.8.4. Diseño de mejora de dimensión “Cumplimiento de mantenimientos programados (MP)”**

Para la obtención de la mejora de cumplimiento de mantenimientos óptimos programados, se vio necesario contar con la placa de especificaciones técnicas del fabricante (Ver Anexo 6) de las dos electrobombas Hidrostral, en las cuales se encuentran las recomendaciones y especificaciones necesarias para que el equipo pueda funcionar en una forma óptima según las recomendaciones del propio fabricante, con esos datos se pudo dar inicio al cálculo y definición de los periodos de mantenimiento propuestos en la presente investigación, siendo de vital importancia para la inspección constante y programada de dichas electrobombas favoreciendo su funcionamiento y minimizando los paros de bombeo por imprevistos (sobrecargas, cortocircuitos, problemas mecánicos y sobrecalentamiento), con el conteo de horas antes mencionado y el desarrollo del plan de mantenimiento preventivo, se facilitará la obtención del número de

inspección de mantenimientos necesarias para tener un mayor control en el rendimiento y desgaste de los equipos, estos cálculos se pueden apreciar con un mayor detalle a continuación.

### **Cálculo del número de mantenimientos para la electrobomba B - 1**

Horas Programadas de Trabajo : 43,800 horas

Horas de Mantenimiento de Fabricante : 4,000 horas

$$MP (\%) = \frac{\textit{Horas Programadas de Trabajo}}{\textit{Horas de Mantenimiento de Fabricante}}$$

$$MP (\%) = \frac{43,800}{4,000}$$

$$MP (\%) = 10.95 \cong 11 \textit{ mantenimientos}$$

### **Cálculo del número de mantenimientos para la electrobomba B - 2**

Horas Programadas de Trabajo : 43,800 horas

Horas de Mantenimiento de Fabricante : 4,000 horas

$$MP (\%) = \frac{\textit{Horas Programadas de Trabajo}}{\textit{Horas de Mantenimiento de Fabricante}}$$

$$MP (\%) = \frac{43,800}{4,000}$$

$$MP (\%) = 10.95 \cong 11 \textit{ mantenimientos}$$

Como se puede observar es posible obtener 11 mantenimientos preventivos programados tanto para la electrobomba B – 1 como para la electrobomba B – 2 a partir de los datos proporcionados por el fabricante, comparando con los mantenimientos registrados por la empresa de 8 mantenimientos para B – 1 y 7 mantenimientos para B – 2, se ve un aumento debido a la naturalidad de las inspecciones constantes que permitan prevenir fallas en el funcionamiento de los

equipos, es decir que los datos anteriores a la mejora son realizados de emergencia por el paro en el funcionamiento de bombeo en dichas electrobombas, siendo así los 11 mantenimientos obtenidos para cada electrobomba una mejora, ya que podrían evitar que vuelvan a ocurrir paradas de emergencia que afecten el bienestar de los ciudadanos cajamarquinos de la zona alta.

**Tabla N° 31: Cronograma de mantenimientos preventivos programados**

<b>Cronograma de mantenimientos preventivos para las electrobombas B1 y B2 del reservorio R3 de la EPS Sedacaj a lo largo de 10 años</b>			
N° de mantenimientos preventivos	Año	Fecha	
		Electrobomba B1	Electrobomba B2
1	2020	18-Nov	19-Nov
2	2021	18-Oct	19-Oct
3	2022	18-Set	19-Set
4	2023	18-Ago	19-Ago
5	2024	18-Jul	19-Jul
6	2025	18-Jun	19-Jun
7	2026	18-May	19-May
8	2027	18-Abr	19-Abr
9	2028	18-Mar	19-Mar
10	2029	18-Feb	19-Feb
11	2030	18-Ene	19-Ene

Encargado de hacer cumplir el mantenimiento preventivo: **Jefe del área de mantenimiento y control de pérdidas de la EPS Sedacaj**

Fuente: Elaboración Propia

### 3.9. Matriz de operacionalización de variables con resultados diagnóstico y mejora

Tabla N° 32: Matriz de operacionalización de variables con resultados diagnóstico y mejora

Variable	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores	Diagnóstico	Mejora	Comparación
<b>Dependiente</b>						
<b>Mantenibilidad de electrobombas</b>	Es el tiempo total bajo el que puede esperarse que se reparen un porcentaje fijo de fallos.	Mantenibilidad de las electrobombas	% de mantenibilidad  $M = DISTR. NORM(x; media; Desv. Est; 1)$	Mantenibilidad  B1 = 50%  B2 = 50%	Mantenibilidad  B1 = 88.86%  B2 = 90.73%	Mantenibilidad  B1 = 38.86%  B2 = 40.73%
		Disponibilidad de Equipos	% de disponibilidad  $Disponibilidad = \frac{Horas Totales - Horas parada por mantenimiento}{Horas Totales}$	Disponibilidad  B1 = 49.91%  B2 = 49.92%	Disponibilidad  B1 = 49.92%  B2 = 49.93%	Disponibilidad  B1 = 0.01%  B2 = 0.01%

2011)

## Independiente

Plan de	Es aquel	Tiempo promedio	N° de horas/falla	MTBF	MTBF	MTBF
<b>Mantenimiento Preventivo</b>	que sirve para garantizar las prestaciones y tiempos de operación de los	entre fallas	$MTBF = \frac{N^{\circ} \text{ de horas Operativas}}{N^{\circ} \text{ de paradas correctivas}}$	B1 = 5,475	B1 = 14,600	B1 = 9,124
				horas/falla	horas/falla	horas/falla
		Tiempo promedio para reparar	N° de horas/falla	MTTR	MTTR	MTTR
			$MTTR \text{ (Hrs/ Rep)} = (\text{Total Horas Reparación} / N^{\circ} \text{ Reparaciones})$	B1 = 4.9575	B1 = 3.15	B1 = 1.8075
				horas/falla	horas/falla	horas/falla
				B2 = 5.1171	B2 = 2.91	B2 = 2.2071
				horas/ falla	horas/ falla	horas/ falla

equipos.	Utilización de la	% de utilización	Utilización	Utilización	Utilización
(Navas	máquina	$UM = \frac{\text{Horas Trabajadas}}{\text{Horas Disponibles}} * 100\%$	B1 = 50.04%	B1 = 50.00%	B1 = 0.04%
Carrillo,			B2 = 50.05%	B2 = 50.00%	B2 = 0.05%
2015)	Cumplimiento de	N° de mantenimientos	N°	N°	N°
	mantenimientos	$MP (\%) = \frac{\text{Horas Programadas de Trabajo}}{\text{Horas de Mantenimiento de Fabricante}}$	Mantenimientos	Mantenimientos	Mantenimientos
	programados		programados	programados	programados
	(MP)		B1 = 8	B1 = 11	B1 = 3
			B2 = 7	B2 = 11	B2 = 4

Fuente: Elaboración Propia

### 3.10. Análisis económico/financiero

#### 3.10.1. Inversión inicial

Se analizó el costo del diseño de la propuesta de mejora en la EPS Sedacaj S.A., en la cual se pudo observar los siguientes resultados:

**Costos por procedimientos:** Los costos involucrados se vieron seleccionados debido a la necesidad de realizar mantenimiento preventivo a las electrobombas B1 y B2, priorizando las piezas con mayor frecuencia de desgaste y lubricación, dichos costos se muestran en la Tabla N° 33 que se mostrará a continuación.

**Tabla N° 33: Costos por procedimientos (maquinaria, equipos y herramientas)**

<b>Costos por procedimientos (maquinaria, equipos y herramientas)</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo S/.</b>	<b>Total S/.</b>
<b>Engrasadora Neumática</b>	1	S/.149.90	S/.149.90
<b>Aceite Hélix</b>	1	S/.89.90	S/.89.90
<b>Trapo industrial</b>	2	S/.5.90	S/.11.80
<b>Perno m6x30</b>	20	S/.2.60	S/.52.00
<b>Perno m4x20</b>	32	S/.2.80	S/.89.60
<b>Sello de goma</b>	4	S/.8.90	S/.35.60
<b>Total</b>			<b>S/. 428.80</b>

Fuente: Elaboración Propia

#### **Costos por incurrir en el proceso de manejo (2 trabajadores)**

**Costos en capacitaciones anuales:** Para realizar un correcto desarrollo del plan de mantenimiento preventivo es necesario desarrollar una capacitación que permita al personal estar preparado para su papel, dichos costos involucran el pago de los honorarios del capacitador, a continuación, se mostrará en la Tabla N° 34 el costo relevante a este.

**Tabla N° 34: Costos en capacitaciones anuales**

<b>Costos en capacitaciones anuales</b>				
<b>Temas</b>	<b>N° de capacitadores</b>	<b>Tiempo horas</b>	<b>Costo S/.hora</b>	<b>Total anual S/.</b>
<b>Capacitación en mantenimiento de equipos</b>	1	4	S/.320.00	1,280.00
<b>Total</b>				<b>S/. 1,280.00</b>

Fuente: Elaboración Propia

**Costos por implementos:** Los presentes costos involucran todo material necesario que permita complementar la capacitación del personal de mantenimiento de las electrobombas B1 y B2, estos costos se pueden apreciar en la Tabla N° 35.

**Tabla N° 35: Costos por implementos**

<b>Implementos</b>			
<b>Implementos</b>	<b>Costo de material S/.</b>	<b>N° de trabajadores</b>	<b>Total anual S/.</b>
<b>Hojas informativas</b>	S/.6.50	2	S/.13.00
<b>Videos</b>	S/.2.00	2	S/.4.00
<b>Diapositivas</b>	S/.2.00	2	S/.4.00
<b>Total</b>			<b>S/. 21.00</b>

Fuente: Elaboración Propia

**Costos en material de registro:** Para realizar el plan de mantenimiento preventivo es necesario contar con material de registro que permita facilitar la inspección y proceder del plan de mantenimiento preventivo propuesto, dichos formatos van dirigido tanto para el registro de capacitaciones de mantenimiento preventivo (anual), reporte de averías, control mantenimiento, requerimiento de repuestos para mantenimiento preventivo y la verificación del equipo presente en el reservorio R3, contando con un talonario de 100 hojas por cada uno, a continuación, en la Tabla N° 36 se verán los costos que incurren a dichos formatos.

**Tabla N° 36: Costo en material de registro**

<b>Costo en material de registro (Formatos)</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo S/.</b>	<b>Total anual S/.</b>
<b>Formato de registro de capacitaciones de mantenimiento prev. (anual)</b>	1	S/.6.00	S/.6.00
<b>Formato de reporte de averías</b>	1	S/.6.00	S/.6.00
<b>Formato de control de mantenimiento</b>	1	S/.6.00	S/.6.00
<b>Formato de requerimiento de repuestos para mantenimiento prev.</b>	1	S/.6.00	S/.6.00
<b>Formato de verificación del equipo</b>	1	S/.6.00	S/.6.00
<b>Total</b>			<b>S/. 30.00</b>

Fuente: Elaboración Propia

**Costos por incurrir en la propuesta de mejora:** Para realizar nuestro diseño de mejora es necesario invertir en los siguientes costos mostrados en la Tabla N° 37.

**Tabla N° 37: Costos por incurrir en la propuesta de mejora**

<b>Costos por incurrir en la propuesta de mejora</b>						
<b>COSTOS POR INCURRIR EN EL PROCESO</b>	<b>AÑO 0 (S/.)</b>	<b>AÑO 1 (S/.)</b>	<b>AÑO 2 (S/.)</b>	<b>AÑO 3 (S/.)</b>	<b>AÑO 4 (S/.)</b>	<b>AÑO 5 (S/.)</b>
<b>Engrasadora Neumática</b>	S/.149.90	.....	.....	.....	.....	.....
<b>Aceite Hélix</b>	S/.89.90	S/.89.90	S/.89.90	S/.89.90	S/.89.90	S/.89.90
<b>Trapo industrial</b>	S/.11.80	S/.11.80	S/.11.80	S/.11.80	S/.11.80	S/.11.80
<b>Perno m6x30</b>	S/.52.00	S/.52.00	S/.52.00	S/.52.00	S/.52.00	S/.52.00
<b>Perno m4x20</b>	S/.89.60	S/.89.60	S/.89.60	S/.89.60	S/.89.60	S/.89.60
<b>Sello de goma</b>	S/.35.60	S/.35.60	S/.35.60	S/.35.60	S/.35.60	S/.35.60
<b>Capacitación en mantenimiento de equipos</b>	S/.1,280.00	S/.1,280.00	S/.1,280.00	S/.1,280.00	S/.1,280.00	S/.1,280.00
<b>Hojas informativas</b>	S/.13.00	S/.13.00	S/.13.00	S/.13.00	S/.13.00	S/.13.00
<b>Videos</b>	S/.4.00	S/.4.00	S/.4.00	S/.4.00	S/.4.00	S/.4.00
<b>Diapositivas</b>	S/.4.00	S/.4.00	S/.4.00	S/.4.00	S/.4.00	S/.4.00
<b>Formato de registro de capacitaciones de mantenimiento prev. (anual)</b>	S/.6.00	S/.6.00	S/.6.00	S/.6.00	S/.6.00	S/.6.00
<b>Formato de reporte de averías</b>	S/.6.00	S/.6.00	S/.6.00	S/.6.00	S/.6.00	S/.6.00
<b>Formato de control de mantenimiento</b>	S/.6.00	S/.6.00	S/.6.00	S/.6.00	S/.6.00	S/.6.00
<b>Formato de requerimiento de repuestos para mantenimiento prev.</b>	S/.6.00	S/.6.00	S/.6.00	S/.6.00	S/.6.00	S/.6.00
<b>Formato de verificación del equipo</b>	S/.6.00	S/.6.00	S/.6.00	S/.6.00	S/.6.00	S/.6.00
<b>TOTAL DE COSTOS</b>	<b>S/.1,759.80</b>	<b>S/.1,609.90</b>	<b>S/.1,609.90</b>	<b>S/.1,609.90</b>	<b>S/.1,609.90</b>	<b>S/.1,609.90</b>

Fuente: Elaboración Propia

**Costos de reparación por mantenimiento correctivo:** Estos costos involucran la reparación realizada normalmente por la empresa, obteniendo un promedio de S/. 2,100.00 anuales por cada electrobomba, según la estimación del jefe del área de mantenimiento y control de pérdidas de la EPS Sedacaj, dicho costo fue determinado por el precedente del cambio de piezas por el deterioro generado del constante uso durante el año, a continuación, se mostrará la Tabla N° 38.

**Tabla N° 38: Costos de reparación por mantenimiento correctivo**

<b>Costos de reparación por mantenimiento correctivo</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Número de reparaciones anuales</b>	<b>Total de la reparación anual (S/.)</b>	<b>Total anual (S/.)</b>
<b>Reparación de la electrobomba B1</b>	1	S/.2,100.00	S/.2,100.00
<b>Reparación de la electrobomba B2</b>	1	S/.2,100.00	S/.2,100.00
<b>Total</b>			<b>S/. 4,200.00</b>

Fuente: Elaboración Propia

**Costos por no incurrir en la propuesta de mejora:** Los costos involucrados al no contar con un plan de mantenimiento preventivo propuesto mediante esta investigación, generaría costos por la reparación y cambio de piezas con un mayor coste en comparación al cuidado constante de las electrobombas B1 y B2, a continuación, se mostrará el promedio del costo que se desarrollaría al no contar con la propuesta de mejora, observar Tabla N° 39.

**Tabla N° 39: Costos por no incurrir en la propuesta de mejora**

<b>Costos por no incurrir en la propuesta de mejora</b>					
<b>COSTO DE REPARACION POR MANTENIMIENTO CORRECTIVO</b>	<b>AÑO 1 (S/.)</b>	<b>AÑO 2 (S/.)</b>	<b>AÑO 3 (S/.)</b>	<b>AÑO 4 (S/.)</b>	<b>AÑO 5 (S/.)</b>
Reparación de la electrobomba B1	S/.2,100.00	S/.2,100.00	S/.2,100.00	S/.2,100.00	S/.2,100.00
Reparación de la electrobomba B2	S/.2,100.00	S/.2,100.00	S/.2,100.00	S/.2,100.00	S/.2,100.00
<b>COSTO DE REPARACION POR MANTENIMIENTO CORRECTIVO</b>	<b>AÑO 1</b>	<b>AÑO 2</b>	<b>AÑO 3</b>	<b>AÑO 4</b>	<b>AÑO 5</b>
<b>TOTAL DE COSTOS</b>	<b>S/.4,200.00</b>	<b>S/.4,200.00</b>	<b>S/.4,200.00</b>	<b>S/.4,200.00</b>	<b>S/.4,200.00</b>

Fuente: Elaboración Propia

### 3.10.2. Evaluación Costo – Beneficio: VAN, TIR, IR

Una vez detallados los costos en el punto 3.10.1 se procede a realizar el flujo de caja neto obteniendo el VAN, TIR e IR, posterior a la aplicación del diseño del plan de mejora a las electrobombas del reservorio R3, a continuación, se mostrará las tablas pertinentes para dichos cálculos, Tabla N° 40 y Tabla N° 41.

**Tabla N° 40: Flujo de caja neto**

<b>FLUJO DE CAJA NETO</b>						
	<b>AÑO 0</b>	<b>AÑO 1</b>	<b>AÑO 2</b>	<b>AÑO 3</b>	<b>AÑO 4</b>	<b>AÑO 5</b>
<b>FLUJO DE CAJA NETO</b>	S/. -1,759.80	S/.2,590.10	S/.2,590.10	S/.2,590.10	S/.2,590.10	S/.2,590.10
<b>TASA</b>						<b>9%</b>

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla N° 41: VAN, TIR, IR**

<b>VAN</b>	<b>S/. 10,074.59</b>
<b>TIR</b>	<b>146%</b>
<b>IR</b>	<b>S/. 5.72</b>

Fuente: Elaboración Propia

Una vez obtenidos los indicadores VAN, TIR e IR se puede afirmar que el VAN es de S/. 10,074.59 lo cual supera considerablemente a 0, lo que lleva a aceptar la propuesta del plan de mantenimiento preventivo mostrado, por otro lado, el TIR dio un resultado de 146% lo cual indica que es favorable, ya que es mayor a la tasa de 9% presente en el flujo de caja neto, demostrando que el plan de mantenimiento preventivo puede ser aceptado, finalmente el IR proporcionó S/. 5.72 lo cual es beneficioso para la empresa, debido a que por cada sol invertido se retornaría S/. 4.72.

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1 Discusión

En la presente investigación se tuvo como objetivo general el diseño de un plan de mantenimiento preventivo que permita incrementar la mantenibilidad que venía siendo desarrollada para las electrobombas del reservorio R3 de la EPS Sedacaj S.A., por lo cual se vio necesario analizar el mantenimiento con el que contaba la empresa previo a la mejora y su metodología de operación. Como resultado de la mejora en el mantenimiento antes desarrollado en la empresa se podría obtener un incremento en la mantenibilidad de 38.86% en B1 y 40.73% en B2.

Según (Reyes Gamboa, 2017) los métodos apropiados para la reducción de tiempos de mantenimiento son formatos que permitan obtener un mayor control del proceso, en este caso se optó por implementar documentos tales como check list de parámetros, check list de equipos, tarjeta maestra, hojas de vida, ficha de estandarización, formato de órdenes de trabajo y rutina de inspección de equipos logrando reducir los tiempos de mantenimiento previos a su aplicación, es decir una aumento del 91% a un 97%, de este modo se puede afirmar el proceder de la presente investigación, que aplicando reporte de averías y control de mantenimiento se logró una mejoría porcentual del 0.01 % en la disponibilidad en comparación a la anterior, dicha mejora parece insignificante debido a su bajo aumento, sin embargo se tiene que considerar que para la obtención de la misma se tuvo que trabajar con datos que proporcionalmente estaban muy dispares, es decir el uso del tiempo de reparación de 15 fallas y el tiempo en funcionamiento en horas de los 10 años estudiados. De igual manera se pudo obtener una mejoría en la mantenibilidad mediante la

aplicación de formatos (registro de capacitaciones de mantenimiento preventivo (anual), de reporte de averías, de control de mantenimiento, de requerimiento de repuestos para mantenimiento preventivo y de verificación del equipo) que permitieron reducir los tiempos en que un operador demora en realizar mantenimientos a los equipos, es decir permitiendo obtener un mejor resultado en el MTTR (tiempo promedio para reparar), según (Pompa Mendoza, 2018) cuyo proceder fue la aplicación de formatos (mantenimiento programado 793C) logró aumentar su mantenibilidad a 66.04% lo cual mejoró el desempeño de la maquinaria de mantenimiento de la flota de camiones CAT 793C, lo que lleva a afirmar que para la obtención de una mejor mantenibilidad es necesario la aplicación de formatos que reduzcan el tiempo promedio para reparar tal es el caso de la presente investigación que logro un aumento de la mantenibilidad del 50% a 88.86% de B1 y del 50% a 90.73% de B2.

Por otro lado tenemos a (Herrera Vargas, 2018) que habla sobre la obtención del tiempo promedio entre fallas de su flota de camiones, reduciendo el número de fallas producido durante su tiempo de operación dando una mejoría de 34.25 horas a 316 horas, antes de un desperfecto, así mismo se basó su proceder en (Global Services, 1996), el cual recomienda que las paradas no programadas deberían darse cada 80 horas para maquinaria nueva y 60 horas para maquinaria usada, de esta forma en la presente investigación se optó por una similar aplicación de formatos que permitan reducir el tiempo de mantenimiento y el número de fallas presentando una mejoría de 5,475 horas/falla a 14,600 horas/falla en caso de B1 y B2 de 6,257.14 horas/falla a 14,600 horas/falla.

También se procedió a realizar la mejora en el tiempo promedio para reparar en las electrobombas del reservorio R3 en la cual se realizó una disminución en el tiempo de reparación mediante formatos de mantenimiento (registro de capacitaciones de mantenimiento preventivo (anual), de reporte de averías, de control de mantenimiento, de requerimiento de repuestos para mantenimiento preventivo y de verificación del equipo), los cuales dieron un resultado positivo brindando una disminución de 4.9575 horas/falla a 3.15 horas/falla en B1 y en el caso de B2 de 5.1171 horas/falla a 2.91 horas/falla; de igual manera el autor (Escudero Chávez, 2016) propuso una propuesta de un programa maestro de mantenimiento preventivo para reducir los costos operativos en la cual procedió a la aplicación de formatos que le permitieron disminuir los tiempos de reparación facilitando la mejora en el tiempo promedio para reparar en la maquinaria especializada en el cuero, siendo una mejora de 14.46 horas/falla a 7.86 horas/falla, así mismo (Global Services, 1996) afirma que el tiempo óptimo para una reparación de una determinada falla se encuentra en el rango de 3 a 6 horas, refutando el proceder de la metodología en la presente investigación.

En cuanto al porcentaje de utilización de la máquina (Herrera Vargas, 2018) menciona que mediante formatos de mantenimiento es posible aumentar el porcentaje de utilización de la máquina, siendo el caso del aumento de 80.88% a 98.75% realizado por el autor, de igual manera se realizó la aplicación de formatos de mantenimiento (reporte de averías y control de mantenimiento) que facilitaron la disminución de horas trabajadas para la obtención de dicha utilización, dando la posibilidad de obtener una mejora de 50.04% a 50.00% en B1 y de 50.05% a 50.00% en B2, cumpliendo con los estándares mencionados por la empresa.

Si del cálculo del número de mantenimientos se habla del autor (García Palencia, Gestión Moderna del Mantenimiento, 2012) estipula que para el cálculo del número de mantenimientos necesarios para un equipo se utiliza el número de horas programadas de trabajo entre el número de horas de mantenimientos del fabricante siendo de esta manera el proceder en la presente investigación donde se pudo encontrar el número de mantenimientos óptimos realizando el método antes mencionado dando como resultado 11 mantenimientos para cada electrobomba presentes en el reservorio R3.

En el desarrollo de la investigación, la principal limitante encontrada es la ausencia de un plan de mantenimiento preventivo previo al desarrollado de esta investigación, al no contar con un antecedente se procedió a analizar el mantenimiento correctivo que la empresa si poseía, así mismo de su metodología de mantenimiento y proceder de sus operadores, de esta manera se realizó encuestas, entrevistas verbales y observación directa para recopilar los datos que se carecía para esta investigación, finalmente con el desarrollo de una revisión sistemática se pudo encontrar autores que contribuyeran a la metodología de esta investigación, facilitando el desarrollo y planteamiento del diseño del plan de mejora.

De esta manera a partir de la investigación realizada en el reservorio R3 (área de mantenimiento de la EPS Sedacaj S.A.), facilitará a futuras investigaciones de esta índole brindándoles una guía para realizar un estudio de trabajo empleando diagramas de procesos, diagramas de causa efecto y formatos de mantenimiento (registro de capacitaciones de mantenimiento preventivo (anual) (Ver Anexo 7), de hoja de verificación (Ver Anexo 8), de reporte de averías (Ver Anexo 9), de control de mantenimiento (Ver Anexo 10), de requerimiento de repuestos para

mantenimiento preventivo (Ver Anexo 11) y de verificación del equipo (Ver Anexo 12)) aportándoles ayuda en la toma de decisiones de su investigación que facilitaran la mejora en la mantenibilidad de los equipos mediante un plan de mantenimiento preventivo.

## 4.2 Conclusiones

Tras la propuesta del diseño de un plan de mantenimiento preventivo para incrementar la mantenibilidad de las electrobombas presentes en el reservorio R3 de la EPS Sedacaj S.A. Cajamarca, 2019 y en base a los objetivos planteados, se concluye:

- Se analizó el mantenimiento y la mantenibilidad de las electrobombas presentes en el reservorio R3, donde se pudo determinar la carencia y necesidad de un plan de mantenimiento preventivo que permita prolongar el tiempo de vida de los equipos y el control de los mismos.
- Se realizó un diseño de un plan de mantenimiento preventivo mediante la aplicación de formatos y reducción de los tiempos de reparación de un promedio de 4 horas - 6 horas a 2 horas – 4 horas aproximadamente que permitieron incrementar la mantenibilidad de las electrobombas del reservorio R3.
- Se realizó una comparación entre el estado anterior y posterior de la propuesta del diseño de un plan de mantenimiento preventivo para incrementar la mantenibilidad de las electrobombas presentes en el reservorio R3 de la EPS Sedacaj S.A. Cajamarca, 2019 en el cual se logró medir la mantenibilidad de las electrobombas antes mencionadas siendo una mejora del 38.86% en B1 y del 40.73% en B2.
- Se realizó el análisis económico/financiero, en el cual se obtuvo un TIR de 146% el cual es mayor que la tasa usada, por lo tanto, se determinó la viabilidad de la propuesta de mejora en la EPS Sedacaj S.A.

## REFERENCIAS

- Alexander, B. P. (2011). *Diseño e implementación del programa de mantenimiento para las maquinas sopladora e inyectora - sopladora de la empresa OTORGO LTDA.*
- Amambal Alaya, F., & Huatay Caja, C. V. (2018). *Diseño de un plan de gestión de mantenimiento para mejorar la disponibilidad mecánica de la maquinaria pesada en la empresa Martinez Contratistas e Ingeniería S.A. Cajamarca.*
- Arturo, A. U. (2004). *Diseño de un programa de mantenimiento preventivo para una industria productora de hormigón premezclado.*
- Briceño, E. (2008). *Manual de capacitación en operación y mantenimiento de pequeñas centrales hidráulicas.* Lima: Soluciones Prácticas - ITDG.
- Chuquimango Morocho, Y. A., & Cotrina Rodríguez, C. E. (2017). *Diseño de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) en la flota de excavadoras hidráulicas 336DL para reducir costos de reparación en la empresa COANSA del Perú Ingenieros S.A.C. Cajamarca.*
- EPS SEDACAJ S.A. (18 de 09 de 2019). *Sedacaj.* Obtenido de <http://www.sedacaj.com.pe/nuestra-empresa/historia.html>
- EPS SEDACAJ S.A. (22 de 09 de 2019). *Sedacaj.* Obtenido de <http://www.sedacaj.com.pe/transparencia/otros/mof-2017.pdf>
- Escudero Chávez, A. A. (2016). *Propuesta de un programa maestro de mantenimiento preventivo para reducir los costos operativos en la empresa Productos Industriales del Cuero S.A.C. Trujillo.*

- García Garrido, S. (2010). *Organización Gestión Integral de Mantenimiento*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos, S. A.
- García Palencia, O. (2012). *Gestión Moderna del Mantenimiento*. Mexico: Ediciones de la U.
- García Palencia, O. (2012). *Gestión Moderna del Mantenimiento Industrial*. Ecuador: Ediciones de la U.
- Global Services. (1996). *Estudio de bechmarking*. Estados Unidos: Adventure Words.
- Herrera Vargas, A. R. (2018). *Diseño de un plan de gestión de mantenimiento para incrementar la disponibilidad mecánica de equipos en la empresa San Martin contratistas generales S.A. en el proyecto Tantahuatay 2018*. Cajamarca.
- Mesa Grajales, D., Ortiz Sanchez, Y., & Pinzón, M. (2006). *LA CONFIABILIDAD, LA DISPONIBILIDAD Y LA MANTENIBILIDAD, DISCIPLINAS MODERNAS APLICADAS AL MANTENIMIENTO*. Pereira: Scientia et Technica.
- Moguel, E. A. (2005). *Metodología de la Investigacion*. Mexico D.F: Villahermosa.
- Mosquera Peña, P. M. (2018). *Plan de mantenimiento preventivo para incrementar la disponibilidad del cargador frontal 962H en la empresa ECOSERMY - YAULI*. Huancayo.
- Pesantez Huerta, A. (2007). *Elaboracion de un Plan de Mantenimiento Predictivo y Preventivo en*. Guayaquil.
- Pompa Mendoza, A. R. (2018). *Diseño del proceso de planificación y programación para incrementar la mantenibilidad de la flota de camiones CAT 793C de mantenimiento mina*. Cajamarca.

- Reyes Gamboa, E. P. (2017). *Propuesta de implementación de un plan de mantenimiento preventivo para reducir los costos operativos en el centro de beneficiado de aves Chimú Agropecuaria*. Trujillo.
- Rodriguez del Aguila, M. A. (2012). *Propuesta de mejora de la gestión de mantenimiento basado en la mantenibilidad de equipos de acarreo de una empresa minera de Cajamarca*. Cajamarca.
- Ticlavilca Rauz, J. C. (2016). *Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad mecánica del equipo ALPHA20 de la empresa Robocon S.A.C.* Huancayo.
- Toro Jaramillo, I. D., & Parra Ramírez, R. D. (2006). *Método y conocimiento metodología de la investigación*. Fondo Universidad EAFIT.
- Uribe Apaza, M. F., & Grajeda Carcausto, J. L. (2018). *Diseño del plan de mantenimiento preventivo en la empresa minera Yanacocha para incrementar la vida útil del tornamesa de la motoniveladora 24H, Cajamarca 2017*. Cajamarca.

## ANEXOS

### ANEXO 1: Entrevista al operador de mantenimiento de la EPS Sedacaj S.A.



Fuente: Propia

## ANEXO 2: Encuesta Validada

### FORMATO DE VALIDEZ BASADA EN EL CONTENIDO: EVALUACIÓN DEL ESTADO DE LAS ELECTROBOMBAS PRESENTES EN EL RESERVORIO R3 DE EPS SEDACAJ

Fecha: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_ Área de trabajo: \_\_\_\_\_

Estimado(a) encargado(a):

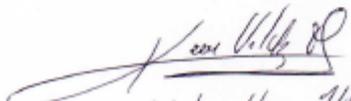
Reciba mis más cordiales saludos, el motivo de esta encuesta es determinar el estado actual de las electrobombas presentes en el reservorio R3, con el fin de poder recolectar la mayor cantidad de datos posibles para el desarrollo de nuestro proyecto de investigación (tesis). En este sentido solicito que se me pueda facilitar el desarrollo de la presente encuesta permitiéndome encontrar posibles problemas en la mantenibilidad de las electrobombas.

#### ENCUESTA

1. ¿Usted sabe manejar las electrobombas Hidrostal presentes en el reservorio R3?
  - a) Si
  - b) No
2. ¿Recibió algún tipo de capacitación?
  - a) Si
  - b) No
3. ¿Por cuánto tiempo se mantienen operativas las electrobombas Hidrostal al día?
4. ¿Alguna vez a ocurrió un pare de funcionamiento de las electrobombas Hidrostal por corte del servicio eléctrico (apagón)?
  - a) Si
  - b) No
5. ¿Se daño el equipo por el corte del suministro eléctrico ocurrido(apagón)?
  - a) Si
  - b) No
6. ¿Alguna vez las electrobombas han dejado de funcionar por algún problema mecánico?
  - a) Si
  - b) No
7. ¿Qué daños produjo el pare de las electrobombas a la división de mantenimiento y control de pérdidas?
8. ¿Conoce usted si las electrobombas presentes en el reservorio R3 cuentan con algún tipo de mantenimiento?
  - a) M. Preventivo
  - b) M. Correctivo
  - c) No cuenta con uno
9. Si cuenta con un mantenimiento preventivo, ¿En qué consiste dicho mantenimiento?
10. Si cuenta con un mantenimiento correctivo, ¿En qué consiste dicho mantenimiento?

11. ¿Las electrobombas presentes en el reservorio R3 funcionan al mismo tiempo?
  - a) Si
  - b) No
12. ¿Dichas electrobombas fueron adquiridas por la empresa y puestas en funcionamiento simultáneamente?
  - a) Si
  - b) No
13. ¿Hace cuánto tiempo llevan en funcionamiento dichas electrobombas?
14. ¿Alguna vez las electrobombas se han sobrecalentado durante su funcionamiento?
  - a) Si
  - b) No
15. ¿Qué produjo el antes mencionado sobrecalentamiento?
  
16. ¿Alguna vez las electrobombas han emitido sonidos o irregularidades durante el proceso?
  - a) Si
  - b) No
17. ¿Si se presentaron irregularidades durante el funcionamiento de las electrobombas Hidrostral, cuáles fueron?

Mejorar las dimensiones  
de la variable independiente

  
M.Sc. Ing. Mylena Leon Vilchez Torres

  
Ing. 26/06/19  
Fernando Ortega

  
26-06-19  
Jimmy Osbata

**Fuente: Propia**

**ANEXO 3: Encuesta al operador de las electrobombas Hidrostral del reservorio R3**



**Fuente: Propia**

#### **ANEXO 4: Estado actual de la Electrobomba B-1**



**Fuente: Propia**

**ANEXO 5: Estado actual de la Electrobomba B-2**



**Fuente: Propia**

**ANEXO 6: Placa de especificaciones técnicas**



**Fuente: Propia**

**ANEXO 7: Formato de registro de capacitaciones de mantenimiento preventivo (anual)**

SEDACAJ		FORMATO DE REGISTRO DE CAPACITACIONES MANTENIMIENTO PREVENTIVO (ANUAL)					
PARTICIPANTES							
N°	LUGAR	FECHA	DURACIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA CAPACITACIÓN			
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 33%; text-align: center;">_____ <b>GERENTE OPERACIONAL</b></td> <td style="width: 33%; text-align: center;">_____ <b>JEFE DEL ÁREA DE MANTENIMIENTO Y CONTROL DE PERDIDAS</b></td> <td style="width: 33%; text-align: center;">_____ <b>CAPACITADOR</b></td> </tr> </table>					_____ <b>GERENTE OPERACIONAL</b>	_____ <b>JEFE DEL ÁREA DE MANTENIMIENTO Y CONTROL DE PERDIDAS</b>	_____ <b>CAPACITADOR</b>
_____ <b>GERENTE OPERACIONAL</b>	_____ <b>JEFE DEL ÁREA DE MANTENIMIENTO Y CONTROL DE PERDIDAS</b>	_____ <b>CAPACITADOR</b>					

**Fuente: Elaboración Propia**

**ANEXO 8: Formato de hoja de verificación, mantenimiento preventivo reservorio R3**

 <b>HOJA DE VERIFICACIÓN</b> <b>MANTENIMIENTO PREVENTIVO RESERVORIO R3</b>		
Fecha:	Hora:	
Lugar:	Horometro de la electrobomba:	
Electrobomba:		
Procedimientos del mantenimiento preventivo		
N°	Actividad	Completado
1	Relevo de bombeo de B1 a B2 o de B2 a B1	
2	Desenergizar la electrobomba	
3	Inspección del estado de las piezas y componentes de la maquinaria	
4	Retirar y examinar tornillos m6x30 de la carcasa	
5	Retirar la carcasa de la electrobomba	
6	Cambio de cojinetes (sellos de goma) del eje del impulsor	
7	Cambio de pernos m4x20	
8	Cambio del aceite de la caja de rodamientos	
9	Armado de la carcasa de la electrobomba	
10	Cambio de pernos m6x30	
11	Retirar el polvo acumulado	
12	Prueba de funcionamiento de 10 minutos	
* En el recuadro en blanco de la columna "Completado" llenar con "X"		
<hr/> Jefe del área de mantenimiento y control de perdidas		<hr/> Operador de mantenimiento

**Fuente: Elaboración Propia**

**ANEXO 9: Formato de reporte de averías**

		<b>REPORTE DE AVERÍAS</b>		<b>N°:</b>
Fecha:		Supervisor de Operaciones:		
Proyecto:		Operador:		
Código:		Año:		
Tipo:		Placa:		
Marca:		Horometro:		
<b>Prioridad:</b>				
Normal ( )		Urgente ( )		Programado ( )
<b>Naturaleza:</b>				
Mantenimiento ( )			Averia ( )	
<b>Tipo de Mantenimiento:</b>				
Preventivo ( )			Correctivo ( )	
<b>DESCRIPCIÓN</b>				
Operador		Aprobado: SI ( ) NO ( )		
		Jefe de Operaciones		

**Fuente: Elaboración Propia**

**ANEXO 10: Formato de control de mantenimiento**

SEDACAJ		CONTROL DE MANTENIMIENTO				
Turno: N ( ) D ( )			Hora de Ingreso:		Fecha:	
Apellidos y Nombres:					Hora de Salida:	
					DNI:	
Ítem	Partes de electrobomba	Horometro	Hora de Inicio	Hora de Terminio	Total de Horas	Descripción de la actividad
1	Inductor					
2	Entrehierro					
3	Carcasa					
4	Cojinete					
5	Rotor					
6	Refrigeración					
7	Rodete o impulsor					
8	Difusor					
9	Ejes					
10	Sello mecánico					
11	Juntas o anillos tóricos					
12	Juntas espejo					
13	Juntas del laberinto					
14	Voluta					
15	Rodamientos					
			Total de Horas			
Firma del Trabajador			Firma del supervisor			

**Fuente: Elaboración Propia**



### ANEXO 12: Formato de verificación del equipo

	PROCESO		CODIGO:
	<b>MANTENIMIENTO PREVENTIVO</b>		
RUTA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO E INSPECCIÓN		VERSIÓN: 01	
EQUIPO: ELECTROBOMBA HIDROSTAL B <input type="checkbox"/>		FRECUENCIA:	ANUAL
CÓDIGO:			
FECHA Y HORA DE PROGRAMACIÓN:			
PRECAUCIONES:		ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL NECESARIOS	
Desconectar todo tipo de energía eléctrica, mecánica, hidráulica o neumática.		Guantes de cuero o de caucho.	
Identificar la máquina y el área de trabajo con los rótulos de mantenimiento.		Tapabocas.	
		Guantes de latex.	
		Tapa oídos y casco.	
FECHA Y HORA DE INICIO:			
FECHA Y HORA DE FINALIZACION:			
REALIZADO POR:			
VERIFICADO POR:			
<b>1. REPUESTOS UTILIZADOS EN LA RUTA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO E INSPECCIÓN</b>			
DESCRIPCIÓN	REFERENCIA	CANTIDAD	OBSERVACIONES
<b>2. OBSERVACIONES GENERALES Y ESTADO DEL EQUIPO</b>			
<b>3. ENTREGA DEL EQUIPO</b>			
ENTREGADO POR:			
RECIBIDO POR:			
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN:			
EL EQUIPO ESTA APTO PARA SEGUIR OPERANDO SI ___ NO ___			

**Fuente: Elaboración Propia**

**ANEXO 13: Cojinete (sellos de goma)**



**Fuente: Hidrostral**

**ANEXO 14: Pernos m4x20**



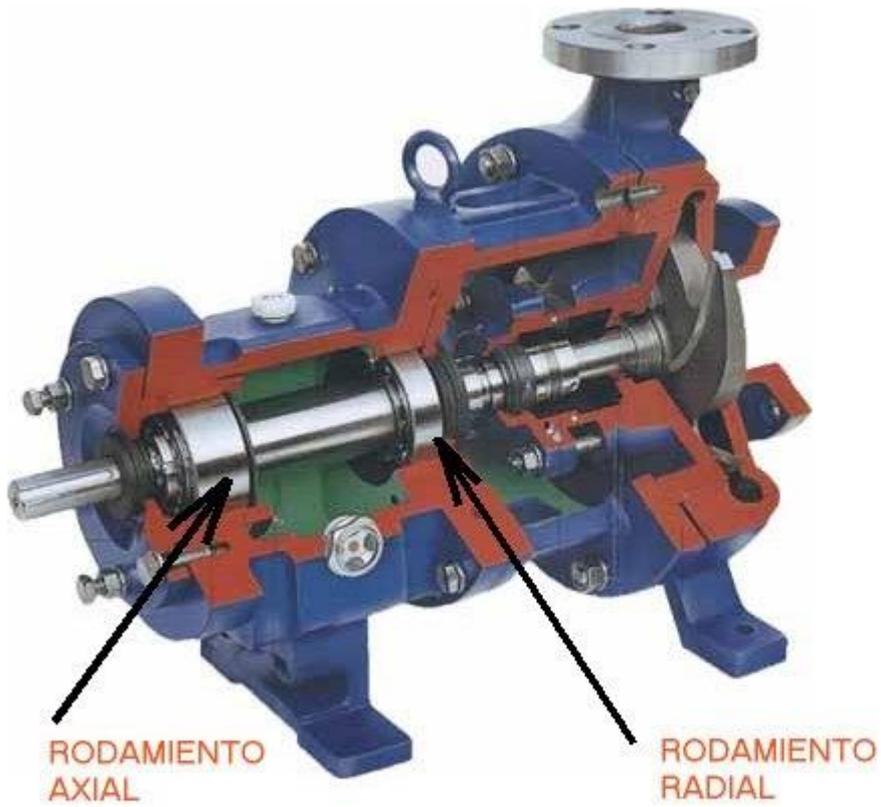
**Fuente: Maestro**

**ANEXO 15: Pernos m6x30**



**Fuente: Maestro**

### ANEXO 16: Caja de rodamientos



**Fuente: Hidrostral**