

Formulación de un Plan de Mantenimiento Preventivo para la Empresa Municipal de Acueducto,
Alcantarillado y Aseo EMACALA E.S.P S.A.S

Marlon Yesid Martínez Cáceres

Trabajo de Grado para optar el título de Ingeniero Mecánico

Director:

Julián Ernesto Jaramillo Ibarra

Ingeniero Mecánico

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica

Bucaramanga

2022

Dedicatoria

Primeramente, quiero dedicar este proyecto a mi madre Luz Darys Cáceres, por hacer todo lo posible para que yo pudiera lograr mi sueño, a mis hermanos: Luis Martínez y Liliana Martínez, a mi padre Luis Alfredo Martínez, a mis sobrinos: Luisa, Sandro y María Paz. Quiero dedicarlo también a todos mis compañeros y amigos que me apoyaron en el proceso de mi carrera, especialmente a: Iván Pacheco, Sebastián Guerra, David Pardo, Ricardo Blanco, Brandon López, Daimer Pedrozo, Oscar Ramos y Brayan Segura. Y por último quiero dedicarlo a mis abuelos: Rafael y Vicente que me acompañan desde el cielo.

Agradecimientos

Primeramente, agradecer a Dios por permitirme formar como ingeniero, a Orlando Castro gerente de EMACALA E.S.P.S.A.S., a mi compañera de vida Aylín Gelves por apoyarme siempre en mi proyecto, a todos esos profesores que hicieron parte de mi formación, a mis compañeros de clase con los que compartí alegrías y tristezas, y finalmente quiero agradecer a mi director de proyecto Julián Jaramillo.

Contenido

	Pág.
Introducción	16
1. Objetivos	17
1.1 Objetivo General	17
1.2 Objetivos Específicos.....	17
2. Planteamiento del problema.....	18
3. Justificación	19
4. Marco Teórico.....	20
4.1 Mantenimiento	20
4.1.1 Mantenimiento Preventivo.....	21
4.1.2 Ventajas.....	21
4.1.3 Desventajas	21
4.2 Mantenimiento Correctivo	22
4.2.1Ventajas.....	22
4.2.2 Desventajas	22
4.3 Mantenimiento Predictivo.....	23
4.3.1. Ventajas.....	23
4.3.2. Desventajas	23
4.4. Análisis de Criticidad de los Equipos	24
4.4.1 Criticidad por Equipos	24

4.4.1.1. Criticidad Tipo 1. Equipo Absolutamente Necesario para Garantizar la Continuidad de Operación de la Planta.	24
4.4.1.2. Criticidad Tipo 2.	24
4.4.1.3. Criticidad Tipo 3.	24
4.5. Indicadores Indispensables para la Gestión del Mantenimiento.....	25
4.5.1. MTBF: Mean Time Between Failures	26
4.5.2. MTTR: Mean Time To Repair.....	26
4.5.3. Disponibilidad.....	27
4.5.4. Confiabilidad.....	28
4.5.5. Mantenibilidad	28
4.6. Antecedentes internacionales.	29
4.6.1. Realizar el Plan de Mantenimiento Preventivo de la Maquinaria del Departamento de Marcos y Molduras en la Empresa Antiguo Arte Europeo S.A. De C.V.	29
4.6.2. Diseño de un Plan de Mantenimiento Preventivo para la Empresa Extruplas S.A.....	29
4.7. Antecedentes Nacionales	29
4.7.1. Propuesta de un Plan de Mantenimiento Preventivo para la Planta de Tratamiento de Agua Potable del Municipio de Cogua Cundinamarca	29
4.7.2. Desarrollo de un Plan de Mantenimiento Preventivo para los Activos de la Empresa Industrias CTS S.A.S.	30
4.8. Antecedentes Regionales	30
4.8.1. Diseño de Plan de Mantenimiento Preventivo y Correctivo Programado para Equipos de Remoción de Tierra en la Empresa ARISMENDY ANDRADE Y CIA LTDA	30
5. Descripción de las Actividades de la Empresa EMACALA E.S.P S.A.S	31

FORMULACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	6
5.1. Historia.....	31
5.2. Misión	31
5.3. Visión.....	31
5.4. Ubicación.....	32
5.5. Tipo de Maquinaria.....	32
6. Codificación de los Equipos	33
6.1. Codificación no Funcional.....	33
6.2. Codificación Funcional.....	33
6.2.1. Ubicación de los Equipos.....	34
6.2.2. Codificación de los Equipos	34
7. Metodología	35
7.1. Fase I: Plantear la Integridad Operacional del Sistema de Bombeo de la Empresa EMACALA E.S.P. S.A.S, con el Propósito de Comprender el Principio de Funcionamiento y así Operar de Manera Segura.	35
7.2. Fase II: Establecer Indicadores de Mantenimiento que Contribuyan a la Mejora Continua del Servicio de Agua en el Municipio, y a su vez, Localicen las Fallas que Afecten el Funcionamiento Óptimo de la Maquinaria para así Determinar los Niveles de Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad	35
7.3. Fase III: Analizar los Costos y la Viabilidad de Aplicar este Tipo de Mantenimiento en la Empresa.....	36
8. Cronograma.....	37
9. Presupuesto	42
10. Metodología	45

FORMULACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	7
10.1. Diseño de Plantilla de Turnos	45
10.2. Diseño de Planilla de Mantenimientos	46
10.3. Ordenes de Trabajo	47
10.4. Descripción de cada Subsistema del Tratamiento de Aguas de la Empresa EMACALA E.S.P.S.A.S.	47
10.4.1. Barcaza.....	47
10.4.2. Desarenador	47
10.4.3. Floculador	48
10.4.4. Sistema de Bombeo.....	48
10.4.5. Sedimentador	48
10.4.6. Filtro.....	48
10.4.7. Tanque de Almacenamiento	49
10.4.8. Tanque Elevado	49
10.4.9. Red de Distribución	49
11. Análisis de Criticidad.....	50
11.1. Definición de Criticidad.....	50
11.1.1. Factores de Ponderación Basados en el Riesgo	51
11.1.1.1. Frecuencia de Fallas (FF).....	51
11.1.1.2. Impacto Operacional (IO)	51
11.1.1.3. Flexibilidad Operacional (FO).....	51
11.1.1.4. Costo de Mantenimiento (CM)	51
11.1.1.5. Impacto en Seguridad, Higiene y Ambiente (SHA).	51
11.2. Identificación de Componentes.....	51

FORMULACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	8
11.2.1. Eje de Giro	52
11.2.2. Rodamientos	52
11.2.3. Impulsor o Rodete.....	52
11.2.4. Sello Mecánico.....	52
11.2.5. Brida de Impulsión.....	52
11.2.6. Carcasa o Caracol	52
11.2.7. Anillo de Desgaste	53
11.2.8. Brida de Succión	53
11.3. Análisis de Criticidad para el Sistema de Bombeo.....	53
11.3.1. Asignación de Valores para la Criticidad del Sistema de Bombeo	54
11.3.2 Criticidad Total por Riesgos para el Sistema de Bombeo.	55
11.3.3. Matriz de Criticidad para el Sistema de Bombeo.	55
11.3.4. Resultados del Análisis de la Criticidad para el Sistema de Bombeo.....	56
11.3.5. Asignación de Valores para Criticidad de los Componentes de una Bomba Centrífuga .	56
11.3.6. Criticidad Total por Riesgos de los Componentes de una Bomba Centrífuga.	57
11.3.7. Matriz de Criticidad de los Componentes de una Bomba Centrífuga.	57
11.3.8. Resultados del Análisis de la Criticidad para la Bomba Centrífuga.	58
12. Evaluación de Indicadores de Mantenimiento.....	58
12.1. Los Indicadores para Medir Mejor la Eficiencia del Servicio son: Disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad.	59
13. Seguridad Operacional.....	59
13.1. Diagrama de Pareto.....	60
13.2. Plan de Integridad Operacional.....	61

FORMULACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	9
13.3. Plan de Turnos para los Equipos.....	63
14. Taxonomía del Sistema de Bombeo	64
14.1. Plan de Mantenimiento Preventivo para EMACALA.	65
15. Costos de Mantenimiento	66
15.1. Costos de Mantenimiento Correctivo	67
15.2. Costos de Mantenimiento Preventivo	68
15.3. Comparación de Costos de Mantenimiento	68
16. Conclusiones.....	70
17. Recomendaciones	71
Referencias Bibliografía	73
Apéndices.....	75

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. <i>Mean Time Between Failures</i>	26
Figura 2. <i>Mean Time To Repair</i>	27
Figura 3. <i>Disponibilidad</i>	27
Figura 4. <i>Confiabilidad</i>	28
Figura 5. <i>Mantenibilidad</i>	28
Figura 6. <i>Ubicación de EMACALA</i>	32
Figura 7. <i>Inventario</i>	33
Figura 8. <i>Diagrama de Flujo de la Planta</i>	47
Figura 9. <i>Sistema de Bombeo</i>	50
Figura 10. <i>Componentes de una Bomba Centrifuga</i>	51
Figura 11. <i>Gráfico de Pareto para Averías y Daños en el Sistema</i>	61
Figura 12. <i>Plan de Operación para Bombas en la Barcaza</i>	63
Figura 13. <i>Plan de Operación para las Bombas en la Planta de Tratamiento</i>	63
Figura 14. <i>Componentes de un Sistema de Bombeo</i>	64
Figura 15. <i>Gráfico de Costos</i>	69
Figura 16. <i>Gráfica de Comparación de Costos de Mantenimiento</i>	70

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. <i>Cronograma</i>	37
Tabla 2. <i>Presupuesto</i>	42
Tabla 3. <i>Planilla de Turnos</i>	45
Tabla 4. <i>Planilla de Control de Mantenimiento.</i>	46
Tabla 5. <i>Tabla de Ponderados de Criticidad</i>	53
Tabla 6. <i>Análisis de Criticidad para el Sistema de Bombeo</i>	54
Tabla 7. <i>Criticidad Total por Riesgos para el Sistema de Bombeo.</i>	55
Tabla 8. <i>Matriz de Criticidad para el Sistema de Bombeo.</i>	55
Tabla 9. <i>Jerarquía de Criticidad para el Sistema de Bombeo.</i>	56
Tabla 10. <i>Valoración de la Criticidad</i>	56
Tabla 11. <i>Análisis de Criticidad de los Componentes de una Bomba Centrífuga.</i>	56
Tabla 12. <i>Criticidad Total por Riesgos de los Componentes de una Bomba Centrífuga.</i>	57
Tabla 13. <i>Matriz de Criticidad de los Componentes de una Bomba Centrífuga.</i>	57
Tabla 14. <i>Jerarquía de Criticidad de los Componentes de una Bomba Centrífuga.</i>	58
Tabla 15. <i>Tabla de Cálculos de Disponibilidad, Confiabilidad y Mantenibilidad.</i>	59
Tabla 16. <i>Averías</i>	60
Tabla 17. <i>Elementos de Protección.</i>	62
Tabla 18. <i>Consecuencias y Peligros para Evitar en la Operación.</i>	62
Tabla 19. <i>Colores para la Frecuencia y Urgencia.</i>	64

FORMULACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	12
Tabla 20. <i>Codificación para el Mantenimiento</i>	65
Tabla 21. <i>Plan de Mantenimiento Preventivo</i>	65
Tabla 22. <i>Costos del Mantenimiento Correctivo</i>	67
Tabla 23. <i>Costos de Mantenimiento Preventivo</i>	68
Tabla 24. <i>Costos Totales</i>	68
Tabla 25. <i>Análisis de Costos</i>	69
Tabla 26. <i>Costos de Mantenimiento para el Total de los Equipos</i>	70

Lista de Apéndice

	Pág.
Apéndice A. <i>Ficha de Mantenimiento</i>	75
Apéndice B. <i>Orden de Trabajo</i>	76
Apéndice C. <i>Tablas de Distribución Normal para los Cálculos de Mantenibilidad</i>	77
Apéndice D. <i>Diagrama de los 5 por qué</i>	85

Resumen

Título: Formulación de un plan de mantenimiento preventivo para la empresa municipal de acueducto, alcantarillado y aseo EMACALA E.S.P S.A.S.*

Autor: Marlon Yesid Martínez Cáceres**

Palabras Clave: Mantenimiento preventivo, planta de tratamiento de aguas, integridad operacional, acueducto, EMACALA E.S.P S.A.S

Descripción: El objetivo de este proyecto es la formulación de un plan de mantenimiento preventivo para la planta de tratamiento de agua EMACALA E.S.P.S.A.S. del municipio de San Pablo, Bolívar, el sistema de bombeo estudiado consta de ocho equipos con características y criticidades diferentes. En este proyecto se evaluaron estos dispositivos para determinar cuáles son los más críticos, analizando la seguridad operacional como parámetro principal a la hora de realizar el estudio. En este proyecto se pudo evidenciar el costoso plan de mantenimiento correctivo que maneja por su parte la empresa, que asciende a un valor de \$108'440.000 anualmente, con la implementación del plan propuesto en este documento, tendría un costo de \$87'072.000 anuales, que equivale a 19.7% menos comparándolo con el plan de mantenimiento actual de la empresa.

En consecuencia, se diseñaron planillas de turnos para los equipos en estudio, con el propósito de alternar cargas de trabajo, se elaboraron ordenes de trabajo para la realización de los mantenimientos y, un análisis de consecuencias y accidentes evidentes en la operación de esta maquinaria, cumpliendo con el objetivo de la seguridad del operador. Además, se definió la criticidad para cada subsistema de las bombas centrifugas con el fin de priorizar actividades de mantenimiento y establecer rutinas para la planta, asimismo, se establecieron indicadores de mantenimiento tales como: Mantenibilidad, criticidad y disponibilidad, comparándolos con la influencia del funcionamiento de la empresa. Por último, se analizaron costos de intervención, costos de falla, almacenamiento y sobreinversión, para cada uno de los mantenimientos realizados en las máquinas.

Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones obtenidas con la presente investigación.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Julián Ernesto Jaramillo Ibarra, Ingeniero Mecánico

Abstract

Title: Formulation of a preventive maintenance plan for the municipal aqueduct, sewage and sanitation company EMACALA E.S.P S.A.S.*

Author: Marlon Yesid Martínez Cáceres**

Keywords: Preventive maintenance, water treatment plant, operational integrity, aqueduct, EMACALA E.S.P S.A.S

Description: The objective of this project is the formulation of a preventive maintenance plan for the EMACALA E.S.P.S.A.S. of the municipality of San Pablo, Bolívar, the pumping system studied consists of eight pieces of equipment with different characteristics and criticalities. In this project, these devices were evaluated to determine the requirements that are the most critical, analyzing operational safety as the main parameter when carrying out the study. In this project, it was possible to demonstrate the cost of the corrective maintenance plan that the company manages, which amounts to a value of \$108,440,000 per year, with the implementation of the plan proposed in this document, it has a cost of \$87,072,000 per year. which is equivalent to 19.7% less compared to the company's current maintenance plan.

Consequently, shift schedules were designed for the equipment under study, with the purpose of alternating workloads, work orders were prepared to carry out maintenance and an analysis of consequences and evident accidents in the operation of this machinery, fulfilling the objective of operator safety. In addition, the criticality was defined for each subsystem of the centrifugal pumps in order to prioritize maintenance activities and establish routines for the plant, similarly, maintenance indicators were found such as: Maintainability, criticality and availability, comparing them with the influence of the operation. of the company. Finally, intervention costs, failure costs, storage and overinvestment were analyzed for each of the maintenance performed on the machines.

Finally, the conclusions and recommendations obtained with this research are presented.

* Degree work

** Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Mechanical Engineering. Director: Julián Ernesto Jaramillo Ibarra, Mechanical Engineer

Introducción

En los últimos años, el campo del mantenimiento industrial ha evolucionado desde una visión simplista de centros de costos a centros de ganancias, donde las operaciones agregan valor al evitar costos adicionales por fallas en los equipos. Por supuesto, también hay pérdida de producción por falta de preparación. Las organizaciones deben esforzarse por optimizar la función de mantenimiento para lograr el mayor nivel de disponibilidad y confiabilidad al menor costo posible mediante una combinación de estrategias correctivas, preventivas y predictivas.

En este proyecto se estableció un plan de mantenimiento preventivo, ayudando a optimizar las tareas y tiempos de reparación determinados por la empresa, se evidenció que aunque la disponibilidad es muy alta, los niveles de mantenibilidad no son los adecuados, puesto que los tiempos medios entre fallas son muy prolongados, forzando la carga para cada máquina por día de trabajo, también se midieron los niveles de costos que requiere una parada de cualquier equipo, aunque no afecte la parada de toda la planta de tratamiento, afecta en el rendimiento de producción.

Por último, se comparó el costo del plan de mantenimiento actual con el plan de mantenimiento implementado en este proyecto, donde se estimó un ahorro notorio de hasta el 20% aproximado anualmente en los costos presupuestados para el mantenimiento, también se pudo apreciar que el nivel de mantenimiento adecuado para cada sistema está entre el 53 y 60% para poder lograr el costo óptimo de reparación.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Diseñar un plan de mantenimiento preventivo para la empresa EMACALA E.S.P S.A.S, en San Pablo, Bolívar, que contribuya al compromiso misional de la Universidad Industrial de Santander, participando activamente en el fortalecimiento de las relaciones con la industria, realizando tareas y/o actividades que la empresa necesite para incrementar la disponibilidad de las máquinas en el desarrollo de procesos bombeo de agua y minimizar costos.

1.2 Objetivos Específicos

Plantear la integridad operacional del sistema de bombeo de la empresa EMACALA E.S.P. S.A.S, con el propósito de comprender el principio de funcionamiento y así operar de manera segura.

Establecer indicadores de mantenimiento que contribuyan a la mejora continua del servicio de agua en el municipio, y a su vez, localicen las fallas que afecten el funcionamiento óptimo de la maquinaria para así determinar los niveles de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad.

Analizar los costos y la viabilidad de aplicar este tipo de mantenimiento en la empresa.

2. Planteamiento del Problema

EMACALA E.S.P. S.A.S., es una empresa que Presta y comercializa los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo en el municipio de San Pablo, identificada como sociedad por acciones simplificadas con el NIT: 900335037-5, con su planta de tratamiento de agua ubicada en la Carrera 8 # 11, Avenida de los Estudiantes, en el municipio de San Pablo, Bolívar.

Tras una inspección preliminar se encontró que la empresa no cuenta con un sistema de mantenimiento preventivo para la planta de tratamiento de aguas, por lo cual, realizan las prácticas de mantenimiento de manera correctiva, lo que comúnmente debe hacerse en cualquier maquinaria de acuerdo con la falla que se presente. También se reflejó que la empresa no cuenta con indicadores de mantenimiento que ayuden a evaluar el desempeño en las operaciones realizadas, para poder medir la evolución a largo plazo, lo cual es fundamental para mejorar continuamente según los objetivos trazados por la empresa.

Tras evidenciar que las actividades de mantenimiento no son controladas, se prevé realizar un plan de mantenimiento preventivo que se adapte a los requisitos y necesidades para cumplir las metas establecidas por la empresa.

Con esta práctica se busca aumentar el ciclo de vida de los equipos, minimizando los costos y evitando los tiempos muertos en la planta, para así cumplir con la cantidad de bombeo de agua establecida por la empresa día a día, asimismo, contando con equipos confiables y logrando suministrar agua potable a los hogares del municipio de San Pablo.

3. Justificación

En la actualidad el índice de consumo de agua potable en Colombia es muy bajo, según cifras publicadas por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) en 2017, el 60% del agua procedente de las llaves de hogares colombianos no está en condiciones óptimas de potabilización, una consecuencia que contrasta con otros factores como la contaminación de los ríos, la insuficiencia en la cobertura de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, el desarrollo de prácticas ilegales como la minería y la falta de conciencia de los ciudadanos (Cepei, 2020).

El presente proyecto realizará un análisis de los mantenimientos que se les podrán hacer a los equipos de la empresa municipal de acueducto conforme a su criticidad e importancia en esta empresa. El mantenimiento preventivo busca optimizar el funcionamiento de las máquinas con el fin de obtener mayor confiabilidad en los equipos, haciendo rutinas esenciales como inspección, limpieza, reemplazo de piezas desgastadas y lubricación; que contribuyan a la prolongación del tiempo de vida útil del sistema.

El desarrollo del plan de mantenimiento en la empresa EMACALA E.S.P S.A.S, se sustenta en observaciones previas que evidencian un servicio de suministro regular de agua potable, el cual perjudica la calidad y el buen funcionamiento del servicio público, esto se ve reflejado en la carencia de un sistema de plan de paradas programadas y, un registro de fallas, lo cual fluctúa el buen funcionamiento y la calidad del servicio. La mejor forma de administrar el mantenimiento es midiéndolo, por esta razón se busca implementar indicadores de mantenimiento, que ayuden a medir si las operaciones cumplen con los objetivos de mantenimiento, como la reducción de costos y el tiempo de inactividad.

La realización del plan de mantenimiento tiene por objetivo aumentar la disponibilidad de los equipos de la empresa y así mejorar el servicio de acueducto brindado a los hogares del municipio de San Pablo, Bolívar.

4. Marco Teórico

Existen varios conceptos que permiten el desarrollo y la integración de esta investigación, desde la escenografía histórica del mantenimiento hasta sus aplicaciones en la actualidad como eje principal en la industria, cuantificando y calificando la calidad de producción reflejándose como buena inversión. Entre ellos se encuentran las definiciones de los tipos de mantenimiento y sus aplicaciones actuales.

4.1 Mantenimiento

El mantenimiento se define como el conjunto de actividades que intentan compensar la degradación causada por el tiempo y el uso en equipos e instalaciones. Este proceso se lleva a cabo para que un elemento, o unidad de producción, pueda continuar funcionando a un rendimiento óptimo, lo que incluye servicio, inspecciones, ajustes, remplazo, reinstalación, calibración, reparación y reconstrucción.

El papel principal del mantenimiento es incrementar la disponibilidad de los equipos realizando actividades tales como planeación, organización, control y ejecución de métodos, buscando la conservación de los equipos (Mantenimiento, 2019).

Entre los tipos de mantenimiento, podemos encontrar los siguientes:

4.1.1 Mantenimiento Preventivo

El mantenimiento preventivo ayuda a prevenir las fallas en las maquinas o activos de una empresa, este mantenimiento se caracteriza porque se hace con frecuencias establecidas. Dichas frecuencias están dadas en términos de la variable de control, para este tipo de mantenimiento se tienen unos recursos establecidos, según las recomendaciones de los fabricantes.

Dentro del mantenimiento preventivo se ejecuta algo llamado plan de mantenimiento, los planes de mantenimiento se crean por equipo según las recomendaciones del fabricante. Un plan de mantenimiento está compuesto por actividades estándar que se ejecutan en un periodo medido en términos de la variable de control que tenga la máquina (Valborsoluciones, 2020).

4.1.2 Ventajas

- Reduce el tiempo de inactividad y por lo tanto provoca un aumento de la disponibilidad de los equipos e instalaciones
- La flexibilidad que permite el ajuste de la periodicidad del mantenimiento.
- Aumento de la vida útil de los componentes.
- Ahorro de energía.
- Reducción de averías.
- Estimación de un 12% al 18% más de ahorro de costes frente a una filosofía de mantenimiento reactivo (correctivo).

4.1.3 Desventajas

- Todavía es probable que ocurran averías.
- Mano de obra intensiva.
- Incluye la realización de mantenimientos que realmente no sean necesario, pero si recomendados.

- Probabilidad de daños accidentales a los componentes al realizar el mantenimiento que no sean necesarios (FMHOUSE, 2014).

4.2 Mantenimiento Correctivo

El mantenimiento correctivo consiste en ir reparando las averías a medida que están van ocurriendo, se define como una parada no programada que no está en el plan de mantenimiento y genera traumatismo en la operación y sobre costos. Al ser trabajos urgentes afecta directamente la confiabilidad y disponibilidad de los equipos.

El personal encargado de avisar de las fallas son los propios usuarios de los equipos y el encargado de las reparaciones es el personal de mantenimiento. Uno de los muchos inconvenientes de este tipo de mantenimiento, es que el usuario en la mayoría de los casos avisa del daño siempre y cuando el equipo le impida seguir trabajando (Valborsoluciones, 2020).

4.2.1 Ventajas

- Bajo costo.
- Menos personal.

4.2.2 Desventajas

- Aumento de costes debido a las paradas no planificadas de los equipos.
- Aumento de los costes laborales, especialmente si se necesita tiempo extra.
- El costo involucrado en la reparación o sustitución del equipo.
- Equipos secundarios pueden sufrir posibles daños durante las averías del elemento principal
- El uso ineficiente de los recursos de personal (FMHOUSE, 2014).

4.3 Mantenimiento Predictivo

El mantenimiento predictivo consiste en conocer permanentemente el estado y funcionalidad de los equipos, mediante el uso de unas técnicas determinadas. El mantenimiento predictivo es el mantenimiento que ayuda a predecir el estado de una máquina; sin hacer una intervención directa sobre ella. El fin de este mantenimiento es poder intervenir la maquina o activo en el momento justo antes que falle.

Las acciones y/o técnicas se aplican con el objetivo de detectar fallas y defectos de activos en las etapas incipientes para evitar que las fallas se manifiesten durante operación y que ocasionen paros de emergencia y tiempos muertos causando impacto financiero negativo. Adicional este mantenimiento genera oportunidades de ahorro en la operación y ejecución del mantenimiento preventivo (Valborsoluciones, 2020).

4.3.1. Ventajas

- Aumento del componente operacional vida / disponibilidad.
- Permite a las acciones correctivas preventivas.
- Disminución del tiempo de inactividad de los equipos.
- Disminución de los costos de materiales y mano de obra.
- Mejora de la moral de los trabajadores.
- Ahorro de energía.
- Estimación de un incremento del 8% al 12% más de ahorro de costes sobre los ya conseguidos con un programa de mantenimiento preventivo.

4.3.2. Desventajas

- Importante inversión inicial en equipos de diagnóstico.
- Aumento de la inversión en la capacitación del personal.

- Ahorros potenciales que no se ven fácilmente por la dirección.
- Ahorros a largo plazo (FMHOUSE, 2014).

4.4. Análisis de Criticidad de los Equipos

El concepto de análisis de criticidad se basó en las definiciones de Mendoza, Huerta en la tesis 'El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional, 2000'.

Es una metodología que permite establecer la jerarquía o prioridades de procesos, sistemas y equipos, creando una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas, direccionando el esfuerzo y los recursos en áreas donde sea más importante y/o necesario mejorar la fiabilidad operacional, basado en la realidad actual.

4.4.1 Criticidad por Equipos

4.4.1.1. Criticidad Tipo 1. Equipo absolutamente necesario para garantizar la continuidad de operación de la planta.

4.4.1.2. Criticidad Tipo 2. Necesario para la operación de la planta, pero puede ser parcial o totalmente reemplazado.

4.4.1.3. Criticidad Tipo 3. No es esencial para el funcionamiento de la planta, puede ser fácilmente reemplazable.

También se elaborará una ficha técnica de cada componente del sistema de bombeo, el cual contendrá características importantes como: Modelo, características técnicas, capacidad, fabricante, partes principales, etc.

Para el plan de mantenimiento se realizará una lista de tareas para cada pieza en cada sistema de bombeo. Se realizará un formato, que en la primera columna incluya en números de forma correlativa, cada actividad; en la segunda columna el código de la actividad; en la siguiente columna la lista de actividades de mantenimiento; en la cuarta, la frecuencia de trabajo, en la

próxima columna se listan las herramientas, luego el personal, y el tiempo empleado en cada actividad.

La frecuencia de trabajo describe la periodicidad con que se deben realizar las actividades de mantenimiento.

H – Horas

D – Días

S – Semana

M – Mes

A – Año

4.5. Indicadores Indispensables para la Gestión del Mantenimiento

Los indicadores son muy importantes para los gestores de mantenimiento porque la rutina de trabajo, equipo de mantenimiento, procesos y equipos pueden ser analizados con la ayuda de ellos.

En el siguiente apartado, se establece la lista de los principales indicadores de mantenimiento propuesta por Gabriel Lameirinhas en la página web Tractian; los cuales contribuirán a establecer la ruta óptima en el desarrollo del proyecto y la importancia del abordaje de estos en el plan de mantenimiento para optimizar el servicio de la planta.

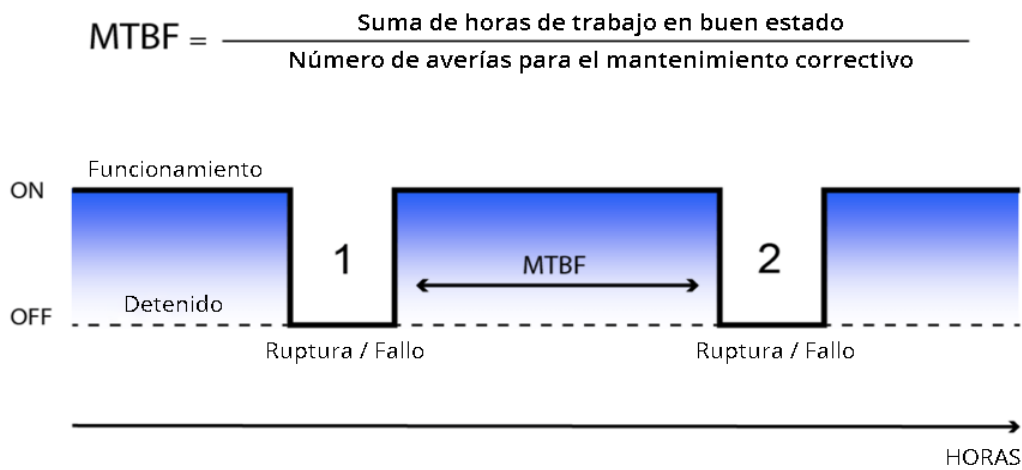
- **MTBF:** Tiempo medio entre fallos
- **MTTR:** Tiempo medio para reparación
- **Disponibilidad**
- **Confiabilidad**
- **Mantenibilidad**

4.5.1. MTBF: Mean Time Between Failures

El MTBF o tiempo medio entre fallos, es uno de los indicadores más importantes para el sector de mantenimiento. Consiste en medir el tiempo total de buen funcionamiento medio entre cada fallo de un equipo reparable, convirtiéndose en una herramienta óptima para medir la confiabilidad de la máquina.

Figura 1.

Mean Time Between Failures



Nota: 8 indicadores indispensables para la gestión del mantenimiento - TRACTIAN, (2021)

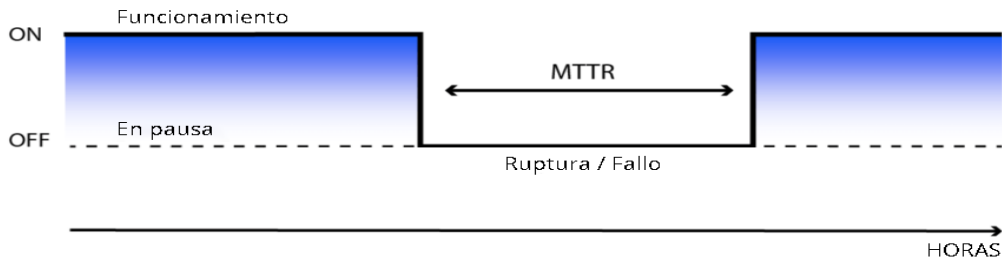
4.5.2. MTTR: Mean Time To Repair

Este indicador está muy asociado a la mantenibilidad, es decir, a la facilidad de un equipo de mantenimiento encontrar y reubicar un equipo en condiciones de ejecutar sus funciones después de un fallo. En otras palabras, el MTTR indica cuál es el tiempo medio para reparación.

Figura 2.

Mean Time To Repair

$$MTTR = \frac{\text{Suma de los tiempos de reparación}}{\text{Número de intervenciones realizadas}}$$



Nota: 8 indicadores indispensables para la gestión del mantenimiento - TRACTIAN, (2021)

4.5.3. Disponibilidad

Se define como la capacidad de un elemento estar en condiciones de ejecutar una cierta función en un instante dado, o durante un intervalo de tiempo determinado.

Figura 3.

Disponibilidad

$$DISPONIBILIDAD = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100$$

$$D = \frac{181,6}{181,6 + 12} \times 100 \longrightarrow D = 93,8\%$$



Nota: 8 indicadores indispensables para la gestión del mantenimiento - TRACTIAN, (2021)

4.5.4. Confiabilidad

Es la probabilidad de que un elemento desempeñe su función especificada en el proyecto, de acuerdo con las condiciones de operación, en un intervalo específico de tiempo.

Figura 4.

Confiabilidad

$$\text{CONFIABILIDAD} = R(t) = e^{-\lambda \cdot t}$$

λ = Tasa de fracaso $\lambda(t) = \frac{1}{\text{MTBF}}$	t = Tiempo Debe seguir la unidad MTBF (horas, días...)	e = El Número de Euler 2,7182 ...
---	---	--



Nota: 8 indicadores indispensables para la gestión del mantenimiento - TRACTIAN, (2021)

4.5.5 Mantenibilidad

La mantenibilidad (o capacidad de mantenimiento) es la facilidad, precisión y seguridad con la que se realizan las tareas de mantenimiento después de detectar una avería en un activo o equipo. Por lo tanto, calcular la mantenibilidad es estimar la probabilidad de que un equipo vuelva a funcionar normalmente después del mantenimiento.

Figura 5.

Mantenibilidad

$$M(t) = 1 - e^{-(\mu t)}$$

Nota: Mantenibilidad de Los Equipos: Qué Es Y Cómo Mejorarla Infraspak Blog, (2022)

4.6. Antecedentes internacionales.

4.6.1. Realizar el Plan de Mantenimiento Preventivo de la Maquinaria del Departamento de Marcos y Molduras en la Empresa Antiguo Arte Europeo S.A. De C.V.

Este proyecto tuvo como objetivo principal, implementar un plan de mantenimiento preventivo aplicado a los equipos de la empresa del departamento de Marcos y Molduras, México, haciendo una revisión del historial de cada máquina involucrada y realizando un inventario de los equipos existentes con sus características. Por último, realizando el plan de mantenimiento preventivo para cada sistema, con su respectivo plan de lubricación y limpieza, haciendo recomendaciones a los operarios de la empresa (Cervantes, 2011).

4.6.2. Diseño de un Plan de Mantenimiento Preventivo para la Empresa Extruplas S.A.

Este proyecto tuvo como objetivo, diseñar un plan de mantenimiento preventivo de una extrusora utilizada en la empresa, para esto se analizó el estado actual de la empresa, donde se concluyó que el mantenimiento aplicado no era el idóneo, luego, mediante inventarios y fichas técnicas de la maquinaria de la empresa, se determinó el tipo de mantenimiento óptimo para la empresa según los requerimientos, también analizaron los costos de cada alternativa de mantenimiento, para así seleccionar el mantenimiento preventivo, donde finalmente se hizo la codificación de los equipos y su plan de mantenimiento preventivo con rutinas establecidas (Valdivieso, 2010).

4.7. Antecedentes Nacionales

4.7.1. Propuesta de un Plan de Mantenimiento Preventivo para la Planta de Tratamiento de Agua Potable del Municipio de Cogua Cundinamarca

El proyecto tuvo como objeto principal la implementación de una herramienta de escritorio que pudiera ayudar a planificar la reparación y mantenimiento preventivo de los equipos que

formaban parte de la cámara de vacío de la planta potabilizadora municipal EAAAZ de Cagua, Cundinamarca. Tras analizar la causa raíz de las fallas en los equipos determinaron que no había necesidad de remplazarlos, pero con un mantenimiento de reparación adecuado, los equipos seguirían funcionando y con el mantenimiento preventivo recomendado en el proyecto se evitó que el equipo volviera a su estado original, el estado de falla (Rodríguez, Cubillos & Muñoz 2019).

4.7.2. Desarrollo de un Plan de Mantenimiento Preventivo para los Activos de la Empresa Industrias CTS S.A.S.

Este proyecto tuvo como objetivo, desarrollar un plan de mantenimiento preventivo para los activos de la empresa, el primer paso que se realizó fue realizar un inventario de equipos, para luego concluir con el plan de mantenimiento preventivo, luego se hizo un análisis de criticidad por equipos, donde finalmente con la ayuda del diagrama de Pareto, se determinaron los más críticos con sus respectivas rutinas de mantenimiento y presupuesto para la implementación de este (Millerlandy, 2015).

4.8. Antecedentes Regionales

4.8.1. Diseño de Plan de Mantenimiento Preventivo y Correctivo Programado para Equipos de Remoción de Tierra en la Empresa ARISMENDY ANDRADE Y CIA LTDA

Este proyecto tuvo como objetivo realizar un plan de mantenimiento preventivo para los equipos de remoción de tierra de la empresa, mejorando el plan de mantenimiento que se tenía, este proyecto realizó un plan de mantenimiento preventivo detallado para una retroexcavadora, un vibro compactador y un minicargador, haciendo rutinas de limpieza e inspección por cantidad de horas de trabajo de la maquina teniendo en cuenta que estas absorben polvo o impurezas como consecuencia de la remoción de tierras, por ultimo con la ayuda del programa Optimize

Maintenance V2.0 como base de datos, tales como las horas de trabajo y el operario, se realizaron las rutinas de mantenimiento periódicamente (Ávila, A & Escorcía, J, 2012).

5. Descripción de las Actividades de la Empresa EMACALA E.S.P S.A.S

EMACALA E.S.P. S.A.S. Es una empresa que presta y comercializa los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo en el municipio de San Pablo.

5.1. Historia

La empresa EMACALA E.S.P S.A.S. Surge de la transformación de UNAESP Mediante decreto 010 de enero 25 de 2010. En el mandato del señor EMILIO BRITTON BARRIOS, el gerente de esta época era el señor HIPÓLITO VÁSQUEZ PEDROZO.

5.2. Misión

EMACALA E.S.P. S.A.S. Es una empresa que presta y comercializa los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo en el municipio de San pablo, comprometida con el mejoramiento continuo, enfocado en el logro de la calidad, la conservación del medio ambiente y el desarrollo y bienestar de la población.

5.3. Visión

EMACALA E.S.P. S.A.S. será una organización líder a nivel regional en la operación y comercialización de los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado y aseo, comprometida con el desarrollo sostenible, la generación de valor empresarial y el reconocimiento en la comunidad de San Pablo.

5.4. Ubicación

La Empresa Municipal De Acueducto Alcantarillado Aseo De San Pablo Sociedad Por Acciones Simplificada EMACALA E.S.P. S.A.S se encuentra situada en el departamento de Bolívar, en la localidad SAN PABLO y su dirección postal es Calle 16 7 53 Esquina, San Pablo, Bolívar.

Figura 6.

Ubicación de EMACALA.




Nota: Google Maps, (2022)

5.5. Tipo de Maquinaria

A continuación, se mostrará el inventario realizado para la maquinaria involucrada en la empresa como objeto de estudio.

Figura 7.*Inventario*

		Inventario de Planta de tratamiento de Aguas Emacala
N°	Inventario de los equipos de bombeo	Cantidad
1	Bomba centrífuga de 75 Hps	2
2	Bombas centrífuga de 50 Hps	2
3	Bomba centrífuga de 60 Hps	1
4	Bombas centrífuga de 40 Hps	3
5	Válvula de compuerta	12
6	Válvula cheque	8
7	Tablero de control de mando	8

6. Codificación de los Equipos

Este es el primer paso para realizar este proyecto, con el fin de identificar la ubicación de cada equipo en la empresa, asignándole un código único.

6.1. Codificación no Funcional

Normalmente se usa con el objetivo de inventariar, localizar y trazar el mantenimiento de todos los equipos. Es un código simple, normalmente no superior a 6 caracteres alfanuméricos. Por ello, es un tipo de codificación que se puede usar cuando no hay muchos equipos y normalmente una sola instalación.

6.2. Codificación Funcional

Este tipo de codificación es la utilizada en industrias con gran cantidad de equipos y/o varias instalaciones. El código aporta información significativa de la máquina, como puede ser la planta (cuando hay más que una), la funcionalidad del equipo o su pertenencia a un sistema más amplio. El código funcional va a reflejar que:

La empresa puede tener una o varias plantas de producción, cada una de las cuales puede estar dividida en diferentes zonas o áreas funcionales.

Estas áreas funcionales pueden tener en común la similitud de sus equipos, una línea de producto determinada o una función. Cada una de estas áreas estará formada por un conjunto de sistemas, iguales o diferentes.

Cada sistema o equipo a su vez está dividido en una serie de elementos.

Los elementos o piezas son partes más pequeñas que habitualmente se sustituyen en una reparación o mantenimiento (González, 2021).

Para el siguiente proyecto se tomará en cuenta la codificación no funcional, dando como resultado la ubicación y codificación de los equipos.

6.2.1. Ubicación de los Equipos

En la empresa se determinó que existen tres grandes zonas donde se concentran los equipos de bombeo, los cuales son:

Barcaza Principal: (BP)

Barcaza Secundaria: (BS)

Planta principal: (PP)

6.2.2. Codificación de los Equipos

Esto se realizará con abreviatura de dos letras, así se tomará la primera letra del nombre y segunda letra del nombre del equipo en caso de repetirse las características, en caso de obtener diferentes características se tomará la segunda letra para identificar las características del equipo, como son:

Bomba Centrifuga de 75 Hps: (BA)

Bomba Centrifuga de 60 Hps: (BC)

Bomba Centrífuga de 50 Hps: (BD)

Bomba centrífuga de 40 Hps: (BE)

Válvula de Compuerta: (VC)

Válvula cheque: (VQ)

Tablero de Control de mando: (TC)

7. Metodología

7.1. Fase I: Plantear la Integridad Operacional del Sistema de Bombeo de la Empresa EMACALA E.S.P. S.A.S, con el Propósito de Comprender el Principio de Funcionamiento y así Operar de Manera Segura.

✓ Elaborar una planilla para el control de las horas de trabajo realizadas diariamente por cada máquina de bombeo.

✓ Diseñar planilla para el control del mantenimiento realizado a cada parte.

✓ Diseñar rutinas de mantenimiento ajustadas al presupuesto de la empresa.

7.2. Fase II: Establecer Indicadores de Mantenimiento que Contribuyan a la Mejora Continua del Servicio de Agua en el Municipio, y a su vez, Localicen las Fallas que Afecten el Funcionamiento Óptimo de la Maquinaria para así Determinar los Niveles de Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad

✓ Inspeccionar las maquinas en funcionamiento, verificando que estén en su funcionamiento óptimo.

✓ Indagar en la empresa sobre las fallas más frecuentes.

- ✓ Hacer un análisis de criticidad de los equipos para determinar la periodicidad del mantenimiento requerido.

- ✓ Investigar los indicadores de mantenimiento

- ✓ Identificar los indicadores de mantenimiento aplicables a la empresa.

- ✓ Evaluar los indicadores para determinar las mejoras en el tiempo.

7.3. Fase III: Analizar los Costos y la Viabilidad de Aplicar este Tipo de Mantenimiento en la Empresa.

- ✓ Identificar los costos directos e indirectos en la gestión del mantenimiento.

- ✓ Calcular los costos de producción.

- ✓ Análisis del costo beneficio para la empresa.

		Cronograma de actividades							
Actividades		Proyecto de grado I				Proyecto de grado II			
		Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
	especificaciones técnicas.								
Establecer indicadores de mantenimiento que contribuyan a la mejora continua del servicio de agua en el municipio, y a su vez, localicen las fallas que afecten el funcionamiento óptimo de la maquinaria para así determinar los niveles de confiabilidad,	Inspeccionar las maquinas en funcionamiento, verificando que estén en su funcionamiento óptimo. Indagar en la empresa sobre las fallas más frecuentes. Hacer un análisis de criticidad de los equipos para determinar la periodicidad del mantenimiento requerido.								

		Cronograma de actividades							
Actividades		Proyecto de grado I				Proyecto de grado II			
		Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
disponibilidad y mantenibilidad.	Investigar los indicadores de mantenimiento						■		
	Identificar los indicadores de mantenimiento aplicables a la empresa.						■	■	■
	Evaluar los indicadores para determinar las mejoras en el tiempo.						■	■	■
	Identificar los costos directos e indirectos en						■	■	■
Analizar los costos y la viabilidad de aplicar este tipo de mantenimiento en la empresa.	la gestión del mantenimiento.						■	■	■
	Calcular los costos de producción.						■	■	■
	Análisis del costo beneficio para la empresa.						■	■	■

		Cronograma de actividades							
Actividades	Evaluación	Proyecto de grado I				Proyecto de grado II			
		Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Resultados	Análisis.								
	Conclusiones.								
	Recomendaciones.								
Presentación del informe	Elaboración del informe.								
	Revisión del proyecto.								
	Presentación final y sustentación.								

9. Presupuesto

Tabla 2.

Presupuesto

Título	Actividad	Fuente de financiación	Costo unitario	Unidad	Cantidad	Costo total
Gastos generales y papelería						

FORMULACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Título	Actividad	Fuente de financiación	Costo unitario	Unidad	Cantidad	Costo total
Transporte	Viáticos para la movilidad a la empresa y reuniones con el director de proyecto.	Estudiante/Empresa	\$ 120.000,00	Día	8	\$ 960.000,00
Bibliografía	Acceso de información y bases de datos	UIS	\$ 200.000,00	Mes	8	\$ 1.600.000,00
Papelería	Fotocopias, hojas que necesiten ser impresas y lapiceros.	Estudiante	\$ 15.000,00	Mes	8	\$ 120.000,00
Internet	Conexión a internet para búsqueda de información para realizar el proyecto.	Estudiante	\$ 60.000,00	Mes	8	\$ 480.000,00
					Subtotal	\$ 3.160.000,00
Recursos humanos						
Director de proyecto	Orientación por parte del director	UIS	\$ 300.000,00	Hora	32	\$ 9.600.000,00
Estudiante	Trabajo realizado por el estudiante	Estudiante	\$ 20.000,00	Hora	320	\$ 6.400.000,00
					Subtotal	\$ 16.000.000,00
Equipos						
Licencia	Licencia de Office 365	UIS	\$ 300.000,00	Unidad	1	\$ 300.000,00

FORMULACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Título	Actividad	Fuente de financiación	Costo unitario	Unidad	Cantidad	Costo total
Equipo de computo	Computador portátil Lenovo Ideapad 330	Estudiante	\$ 2.500.000,00	Unidad	1	\$ 2.500.000,00
					Subtotal	\$ 2.800.000,00
Imprevistos						
Imprevistos	Máximo 10% del presupuesto para gastos.		\$ 1.620.000,00	General		\$ 2.196.000,00
					Total	\$ 24.156.000,00


10. Metodología

10.1. Diseño de Plantilla de Turnos

Para la elaboración de la plantilla se tomó en cuenta los siguientes datos tales como lo son: Nombre de máquina, fecha, firma de operario, hora de encendido y hora de apagado de máquina, nombre del operador.

Tabla 3.

Planilla de Turnos



Planilla de turnos mensual de EMACALA

Fecha (DD/MM/AAAA)	Hora de inicio	Hora final	Nombre de máquina	Operario	Total horas de trabajo	Firma
-----------------------	-------------------	---------------	----------------------	----------	---------------------------	-------

10.2. Diseño de Planilla de Mantenimientos

Las plantillas de control de mantenimientos son un conjunto de actividades destinadas a preparar, planificar y revisar los resultados de las actividades de mantenimiento. Esto dará como resultado que se tomen medidas correctivas para lograr objetivos más altos. (Ver Apéndice A)

Tabla 4.

Planilla de Control de Mantenimiento.

Control de Mantenimiento

Maquina: _____ Marca: _____ Fecha: _____

Parte revisada	Hora	Trabajo realizado	Observaciones	Firma

Autoriza: _____

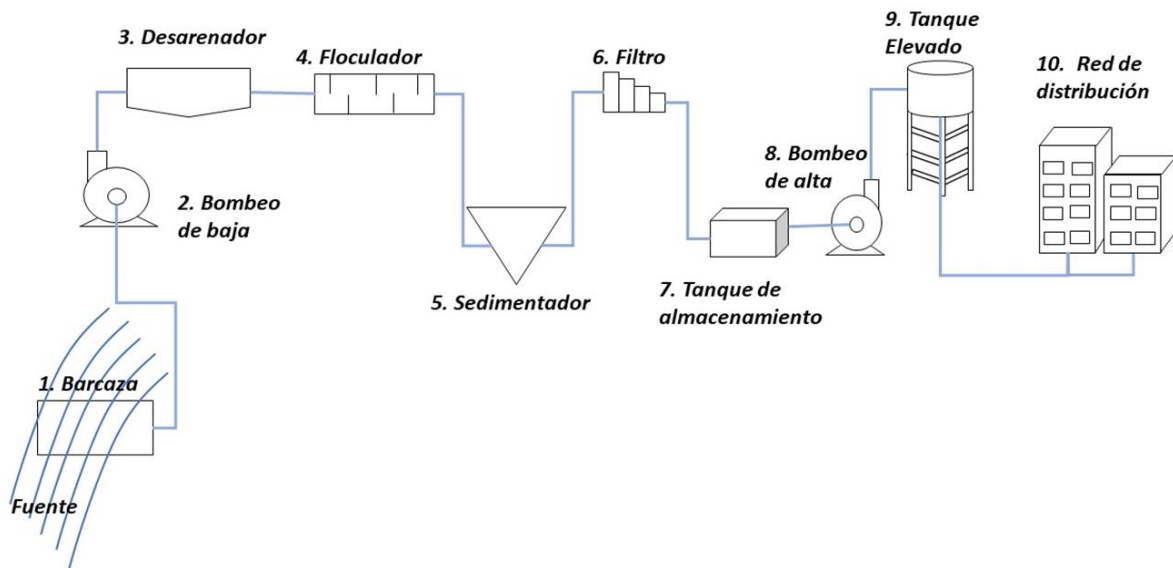
Ing. Orlando Castro Reyes

10.3. Ordenes de Trabajo

Es un documento que contiene todas las instrucciones para la realización del servicio, mostrando etapas, plazos, presupuestos, gestores y plazos. En las prácticas ejecutadas en la empresa, se diseñó una plantilla de orden de trabajo para la empresa. (Ver Apéndice B)

Figura 8.

Diagrama de Flujo de la Planta.



10.4. Descripción de cada Subsistema del Tratamiento de Aguas de la Empresa EMACALA E.S.P.S.A.S.

10.4.1. Barcaza

Barca grande y cubierta que se utiliza para mantener las bombas con su respectiva profundidad de la tubería en el río, se sostiene de un ancla atada en la tierra.

10.4.2. Desarenador

Los desarenadores son estructuras ubicadas a continuación de una captación de agua y que permiten remover partículas como arenas arcillas, gravas finas y material orgánico de cierto tamaño contenidas en el agua que ingresa de una fuente superficial, es una estructura casi obligada

y el objetivo principal es proteger la línea de conducción, equipos y accesorios instalados aguas debajo de la captación, evitando problemas de erosión y/o acumulación de materiales que pueden producir desgastes en el sistema. La sedimentación de las partículas en suspensión es debida a la acción de la gravedad y se facilita por la disminución de la velocidad horizontal en el tanque desarenador.

10.4.3. Floculador

Es un sistema que hace un proceso químico mediante el cual, con la adición de sustancias denominadas floculantes, se aglutinan las sustancias coloidales presentes en el agua, facilitando de esta forma su decantación y posterior filtrado. Es un paso del proceso de potabilización de aguas de origen superficial y del tratamiento de aguas servidas domésticas, industriales y de la minería.

10.4.4. Sistema de Bombeo

Los sistemas de bombeo mecanizados son dispositivos para elevar y extraer agua de un punto bajo a uno elevado, de agua superficial, subterránea o de depósitos a sistemas de distribución.

10.4.5. Sedimentador

Es una tecnología que está diseñada para eliminar sólidos suspendidos por sedimentación. También se le llama decantador, tanque de asentamiento o tanque de sedimentación.

10.4.6. Filtro

Permite purificar este líquido que viene directamente del acueducto y llega a través de los grifos.

10.4.7. Tanque de Almacenamiento

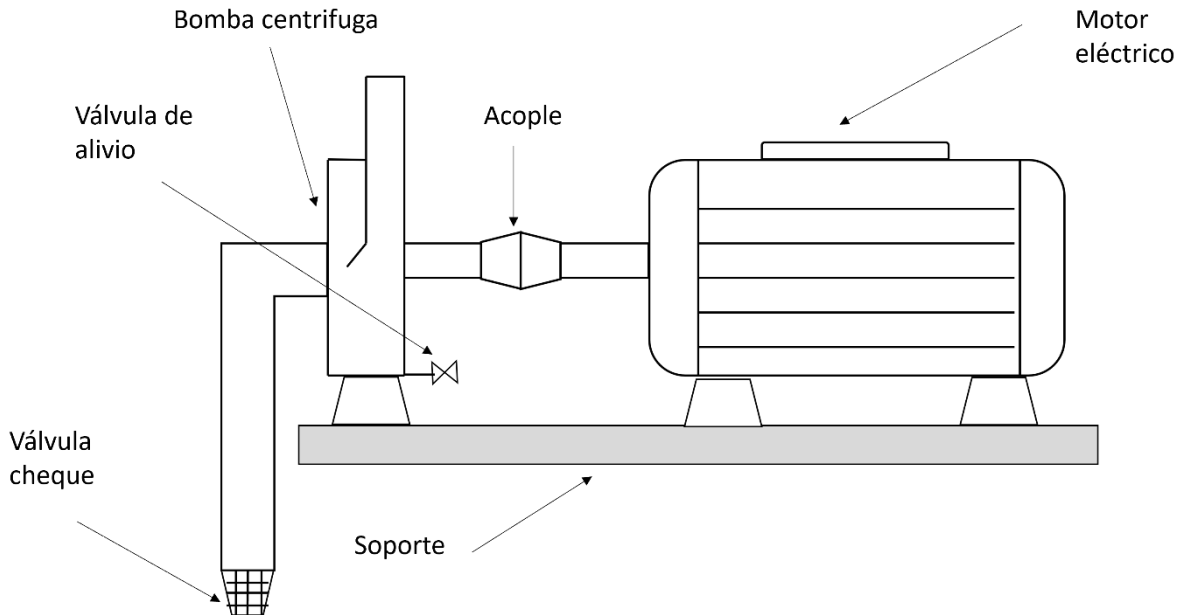
Es una estructura con dos funciones: almacenar la cantidad suficiente de agua para satisfacer la demanda de una población y regular la presión adecuada en el sistema de distribución dando así un servicio eficiente.

10.4.8. Tanque Elevado

Es un tanque de almacenamiento de agua que se encuentran por encima del nivel del terreno Natural y son soportados por columnas y pilotes o por paredes. Desempeñan un Rol importante en los sistemas de distribución de agua, tanto desde el punto de vista económico, así como del funcionamiento hidráulico del sistema y del mantenimiento de un servicio eficiente. Los tanques elevados cumplen dos propósitos fundamentales: 1) Compensar las variaciones de consumo que se producen durante el día. 2) Mantener las presiones de servicio en la red de distribución.

10.4.9. Red de Distribución

Es la parte del sistema de abastecimiento de agua potable, por medio de la cual el agua llegue desde el lugar de captación al punto de consumo en buenas condiciones, tanto en calidad como en cantidad.

Figura 9.*Sistema de Bombeo.*

11. Análisis de Criticidad

11.1. Definición de Criticidad

La criticidad total se define con un modelo matemático simple que consta del producto de la frecuencia de falla (FF) y la consecuencia de que ocurra la falla (C), como se muestra en la ecuación (1), también tenemos que la consecuencia está dada por la suma de otros factores como el impacto operacional (IO), la flexibilidad operacional (FO), el costo de mantenimiento (CM) y el impacto en seguridad, higiene y ambiente (SHA), como se muestra en la ecuación (2).

$$CTR=FF*C \quad (1)$$

$$C=IO+FO+CM+SHA \quad (2)$$

11.1.1. Factores de Ponderación Basados en el Riesgo

11.1.1.1. Frecuencia de Fallas (FF). Representa la frecuencia con la que ocurre una falla de un elemento, por lo cual deja de cumplir su función.

11.1.1.2. Impacto Operacional (IO). Simboliza cuanto bajaría el rendimiento en porcentaje, de la maquina si llegara a fallar el elemento en causa.

11.1.1.3. Flexibilidad Operacional (FO). Es el tiempo que puede tomar para poner en total funcionalidad la máquina, en función de los repuestos adquiridos.

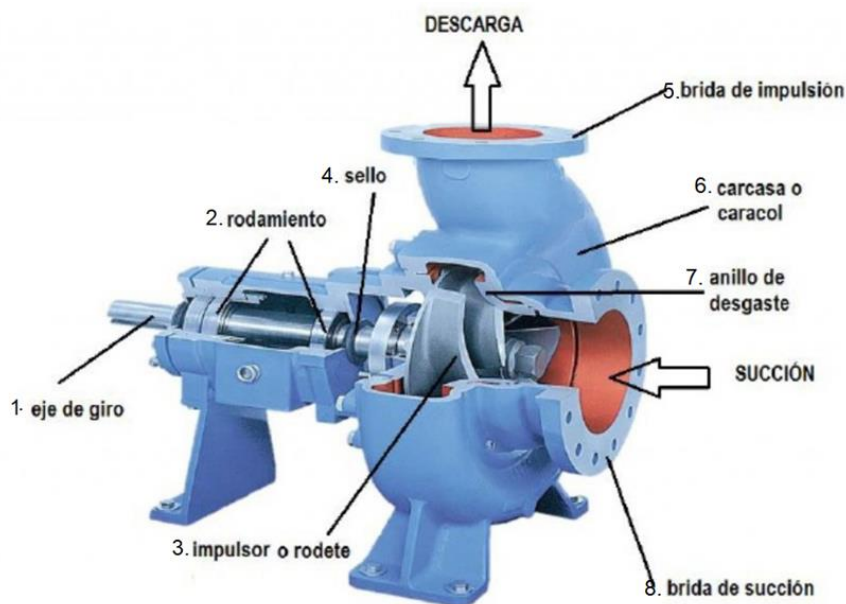
11.1.1.4. Costo de Mantenimiento (CM). Representa el costo promedio que conlleva mantener el elemento.

11.1.1.5. Impacto en Seguridad, Higiene y Ambiente (SHA). Establece si produce o no algún daño en estas áreas.

11.2. Identificación de Componentes

Figura 10.

Componentes de una Bomba Centrífuga.



Nota: Bombas de Agua Centrífugas, (2022)

11.2.1. Eje de Giro

Es un elemento de transmisión que se encuentra entre el motor y la bomba. Se elabora a partir de distintos materiales en base de acero común, acero aleado, acero al carbono y acero inoxidable.

11.2.2. Rodamientos

Estas piezas permiten el giro entre dos piezas o más. Gracias a los rodamientos la fricción creada entre el eje y las piezas se produce de una forma muy mínima. Se componen de dos cilindros que tienen igual tamaño y forma, estos están separados por un conjunto de bolas o rodillos que intercambian el rozamiento por rodaduras.

11.2.3. Impulsor o Rodete

Esta parte se compone por un conjunto de álabes que tienen la función de bombear el fluido, atravesando los constantes giros que son provocados por el motor.

11.2.4. Sello Mecánico

El sello mecánico proporciona un estado de estanqueidad entre el eje rotativo y la parte estructural de la bomba. Generalmente es fijo.

11.2.5. Brida de Impulsión

Es un elemento que une dos componentes de un sistema de tuberías, permitiendo ser desmontado sin operaciones destructivas, gracias a una circunferencia de agujeros a través de los cuales se montan pernos de unión. Está ubicada a la salida de la voluta, sirve para evacuar el líquido a la presión y velocidad creadas en la bomba.

11.2.6. Carcasa o Caracol

Esta parte se encarga de proteger a todos los mecanismos que se encuentran en el interior de la bomba y posibilitan el accionar de la misma. Se elaboran de distintos materiales dependiendo

de su objetivo, como pueden ser hierro fundido si se utiliza para bombear agua potable o de bronce o de acero inoxidable si se quiere bombear un líquido muy corrosivo.

11.2.7. Anillo de Desgaste

Su función primaria es actuar como restricción para minimizar el deslizamiento de fluidos entre las áreas de alta presión y baja presión en el interior de las bombas centrífugas. Adicionalmente son usados como elementos sacrificables, los cuales son reemplazados cuando se desgastan y se aplican por igual a la carcasa y a los impulsores.

11.2.8. Brida de Succión

Es un elemento que une dos componentes de un sistema de tuberías, permitiendo ser desmontado sin operaciones destructivas, gracias a una circunferencia de agujeros a través de los cuales se montan pernos de unión.

La tubería o tramo de succión es una de las partes del circuito hidráulico más importante y con mayor influencia en el funcionamiento de una bomba centrífuga.

Este tramo es también conocido como tubería de aspiración y comprende la tubería y accesorios instalados entre el reservorio y la conexión de succión de la bomba (Arqhys Decoración, 2018).

11.3. Análisis de Criticidad para el Sistema de Bombeo

Tabla 5.

Tabla de Ponderados de Criticidad

Tabla de ponderados		
Frecuencia de falla (FF)	1 falla por año	1
	Entre 2 y 3 fallas por año	2
	Entre 4 y 5 fallas por año	4
	Entre 6 o más fallas por año	6

Tabla de ponderados		
Impacto operacional (IO)	Pérdida de capacidad entre 1% y 25%	1
	Pérdida de capacidad entre 26% y 50%	2
	Pérdida de capacidad entre 51% y 75%	4
	Pérdida de capacidad entre 76% y 100%	6
Flexibilidad operacional (FO)	Repuesto listo para instalar	1
	Repuesto en bodega	2
	Repuesto no en bodega	3
Costo de mantenimiento (CO)	Entre 0 y \$1000,000	1
	Entre \$1000,000 y \$2000,000	2
	Mas de \$2000,000	4
Impacto en seguridad, higiene y medio ambiente (SHA)	No produce	0
	Si produce	1

11.3.1. Asignación de Valores para la Criticidad del Sistema de Bombeo

Tabla 6.

Análisis de Criticidad para el Sistema de Bombeo.

Tabla de asignación de valores						
N°	Elemento	FF	IO	FO	CM	SHA
1	Tablero eléctrico	2	6	3	4	0
2	Motor eléctrico	4	6	2	4	1
3	Bomba	4	6	3	4	1
4	Válvula cheque	2	2	3	1	1
5	Acople	2	6	3	2	0
6	Válvula manual	1	2	3	2	0

11.3.4. Resultados del Análisis de la Criticidad para el Sistema de Bombeo.

Tabla 9.

Jerarquía de Criticidad para el Sistema de Bombeo.

Tabla de resultados		
N°	Elemento	
3	Bomba	MC
2	Motor eléctrico	MC
1	Tablero eléctrico	MC
5	Acople	C
4	Válvula cheque	C
6	Válvula manual	NC

Tabla 10.

Valoración de la Criticidad

Muy crítico	MC
Crítico	C
No crítico	NC

11.3.5. Asignación de Valores para Criticidad de los Componentes de una Bomba Centrífuga

Luego se analizó cada componente de la bomba centrífuga.

Tabla 11.

Análisis de Criticidad de los Componentes de una Bomba Centrífuga.

Tabla de Asignación de Valores						
N°	Elemento	FF	IO	FO	CM	SHA
1	Eje de giro	1	4	1	1	0
2	Rodamientos	2	6	2	4	1
3	Implusor o rodete	2	4	2	4	1
4	Sello mecánico	4	4	4	1	1
5	Brida de impulsión	1	2	3	2	0

Tabla de Asignación de Valores						
N°	Elemento	FF	IO	FO	CM	SHA
6	Carcasa o caracol	1	4	3	2	0
7	Anillo de desgaste	4	4	4	2	1
8	Brida de succión	2	6	3	2	0

11.3.6. Criticidad Total por Riesgos de los Componentes de una Bomba Centrífuga.

Tabla 12.

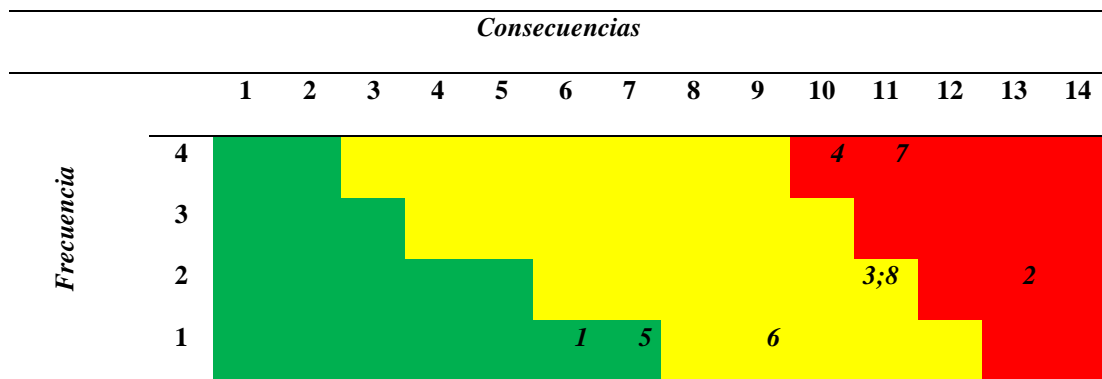
Criticidad Total por Riesgos de los Componentes de una Bomba Centrífuga.

N°	Elemento	FF	C	CTR
1	Eje de giro	1	13	13
2	Rodamientos	2	11	22
3	Implusor o rodete	2	10	20
4	Sello mecánico	4	7	28
5	Brida de impulsión	1	9	9
6	Carcasa o caracol	1	11	11
7	Anillo de desgaste	4	11	44
8	Brida de succión	2	0	0

11.3.7. Matriz de Criticidad de los Componentes de una Bomba Centrífuga.

Tabla 13.

Matriz de Criticidad de los Componentes de una Bomba Centrífuga.



11.3.8. Resultados del Análisis de la Criticidad para la Bomba Centrífuga.**Tabla 14.***Jerarquía de Criticidad de los Componentes de una Bomba Centrífuga.*

N°	Elemento	
7	Anillo de desgaste	MC
4	Sello mecánico	MC
2	Rodamientos	MC
3	Implusor o rodete	C
8	Brida de succión	C
6	Carcasa o caracol	C
1	Eje de giro	NC
5	Brida de impulsión	NC

12. Evaluación de Indicadores de Mantenimiento

Los indicadores de mantenimiento nos ayudaron a medir el rendimiento y la eficiencia de cada equipo para la empresa EMACALA E.S.P.S.A.S. con el fin de identificar los cambios o modificaciones que se le deben aplicar al sistema de acueducto para suministrar un excelente servicio.

12.1. Los indicadores para medir mejor la eficiencia del servicio son: Disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad.

Tabla 15.

Tabla de Cálculos de Disponibilidad, Confiabilidad y Mantenibilidad.

Nº de bomba	Horas / día	Horas de funcionamiento / año	Número de fallas/año	MTBF	Tiempo total de Mtto en horas	MTRR	$\lambda=1/MTBF$	Disponibilidad	Confiabilidad	Mantenibilidad
1	18	6192	8	774	310	38,75	0,00129199	95,23%	0,969468058	89,09%
2	18	6192	12	516	181	15,08	0,00193798	97,16%	0,954553461	97,48%
3	18	6192	12	516	258	21,50	0,00193798	96,00%	0,954553461	93,64%
4	12	4032	9	448	187	20,78	0,00223214	95,57%	0,947838236	90,56%
5	12	4032	7	576	195	27,86	0,00173611	95,39%	0,959189457	90,74%
6	18	6192	12	516	275	22,92	0,00193798	95,75%	0,954553461	99,86%
7	18	6192	7	884,57	270	38,57	0,00113049	95,82%	0,973232978	93,00%
8	16	5472	13	420,92	120	9,231	0,00237573	97,85%	0,944577498	93,08%

Los valores de mantenibilidad se calcularon por distribución normal para hallar un valor más aproximado al real esperado y así comparar y analizar los indicadores. (Ver Apéndice C)

13. Seguridad Operacional

La seguridad operacional tiene como objetivo eliminar o disminuir los riesgos que se pueden producir en un área de trabajo, mediante técnicas y procedimientos preventivos, de este modo evitaremos accidentes.

Se estimó que entre el 60% y 80% de los accidentes en la zona de trabajo son causadas por errores humanos.

Los errores de criterio del operario más comunes son:

- Preparación inadecuada del proceso de toma de decisiones.
- Malentendido de la situación
- Inexperiencia

Analizamos la cantidad de averías o daños que sucedieron en el transcurso de las prácticas realizadas, para poner en marcha el plan operacional que tiene como objetivo este proyecto.

Tabla 16.

Averías

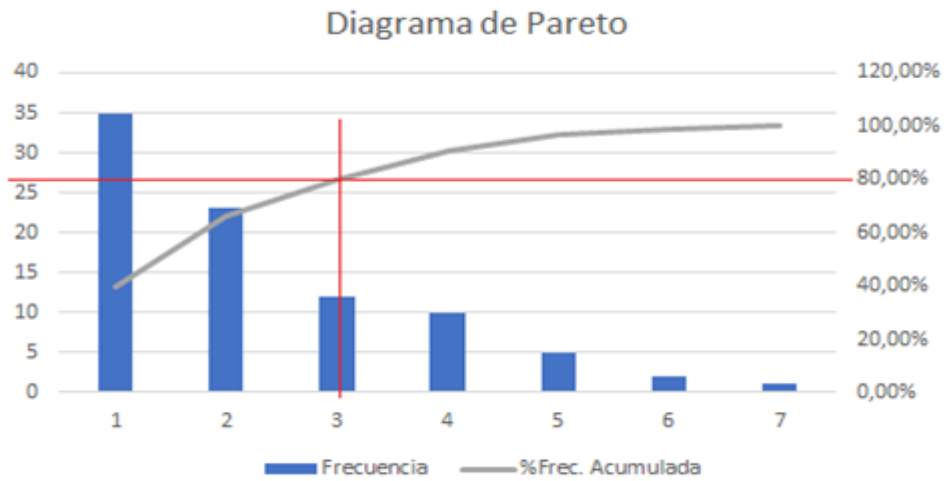
Averías para cuatro meses				
Nº	Causa de averías	Frecuencia	%Frecuencia	%Frec. Acumulada
1	Falta de cuidado en el operario	35	39,77%	39,77%
2	Mantenimiento inadecuado	23	26,14%	65,91%
3	Falta de formación del operario	12	13,64%	79,55%
4	Problemas de contaminación	10	11,36%	90,91%
5	Problemas con la red eléctrica	5	5,68%	96,59%
6	Replannificación de la producción	2	2,27%	98,86%
7	Otros	1	1,14%	100,00%
Total		88	100,00%	

13.1. Diagrama de Pareto.

Los diagramas de Pareto reflejan los conteos ordenados de frecuencia de valores de los distintos niveles de una variable categórica o nominal. Estos diagramas se basan en la regla del 80/20. Esta regla sostiene que aproximadamente el 80 % de los problemas se derivan del 20 % de las causas. (Diagrama de Pareto, 2022)

Figura 11.

Gráfico de Pareto para Averías y Daños en el Sistema



En esta gráfica se observó que la regla de Pareto se cumple, aproximadamente el 80% de los problemas de averías son causados por el operario y la falta de mantenimiento del sistema, lo que ayudó a realizar un plan de integridad operacional para el operador y los sistemas.

13.2. Plan de Integridad Operacional

La seguridad operativa es un alto nivel de seguridad, cumplimiento y operación eficiente. En general, la integridad operativa es la mejor prevención del error humano para lograr cero accidentes.

En el plan de integridad operacional se analizaron las consecuencias a los posibles accidentes provocados por errores o descuidos por parte de los operadores. Con el fin de evitar lesiones o muertes en las operaciones, se recomendaron elementos de protección personal al momento de ingresar a cualquier sector de tratamiento de aguas.

Tabla 17.

Elementos de Protección.

Elementos de protección personal (EPP)
Casco
Botas
Pantalón sin desgastes
Camisa de manga larga
Guantes
Gafas de seguridad
Protectores auditivos
Elementos dieléctricos de ser necesario
Chaleco salvavidas (para trabajar en el río)

Tabla 18.

Consecuencias y Peligros para Evitar en la Operación.

Plan de integridad operacional		
Peligros	Consecuencias	Plan de acción
Exposición al ruido.	Pérdida auditiva	Usar EPP.
Trabajo en alturas sobre la planta.	Caídas, lesiones, muertes.	Capacitación, usar EPP.
Barcaza y estructuras con aceite o humedad	Caídas, lesiones.	Aseo y orden, usar EPP.
Encendido de la bomba sin ceba.	Lesiones, daños a la propiedad.	Capacitación, mantenimiento a equipos, usar EPP.
Falla eléctrica	Lesiones eléctricas, muertes.	Capacitación, mantenimiento a equipos, usar EPP.

13.3. Plan de Turnos para los Equipos

Con el fin de mantener en buen estado los equipos de la planta se realizó la alternancia de las bombas, distribuyendo la carga de trabajo en horas por días de la semana y codificando como bombas de barcaza (BB) y bombas de la planta (BP), y un número para cada bomba, como se muestra en las siguientes tablas.

Figura 12.

Plan de Operación para Bombas en la Barcaza

Plan de operación de las bombas para evitar accidentes y fallas				
Día de la semana	Alternancia	Horas primer turno	Hora segundo turno	Hora tercer turno
		4:00 - 10:00 AM	10:00:00 AM - 4:00 PM	4:00 PM - 10:00 PM
Lunes	Bombas de barcaza	BB1, BB2.	BB3, BB4, BB5.	BB1, BB2.
Martes	Bombas de barcaza	BB3, BB4, BB5.	BB1, BB2.	BB3, BB4, BB5.
Miércoles	Bombas de barcaza	BB1, BB2.	BB3, BB4, BB5.	BB1, BB2.
Jueves	Bombas de barcaza	BB3, BB4, BB5.	BB1, BB2.	BB3, BB4, BB5.
Viernes	Bombas de barcaza	BB1, BB2.	BB3, BB4, BB5.	BB1, BB2.
Sábado	Bombas de barcaza	BB3, BB4, BB5.	BB1, BB2.	BB3, BB4, BB5.
Domingo	Bombas de barcaza	BB1, BB2.	BB3, BB4, BB5.	BB1, BB2.

Figura 13.

Plan de Operación para las Bombas en la Planta de Tratamiento.

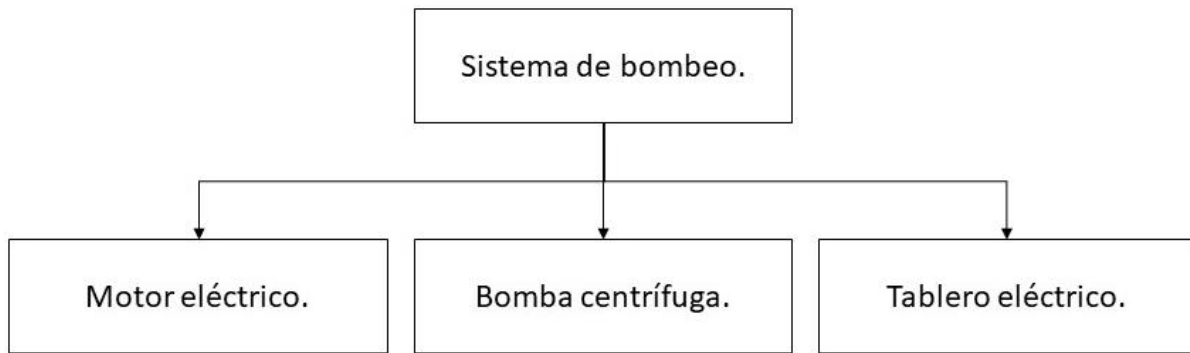
Plan de operación de las bombas para evitar accidentes y fallas				
Día de la semana	Alternancia	Horas primer turno	Hora segundo turno	Hora tercer turno
		4:00 - 10:00 AM	10:00:00 AM - 4:00 PM	4:00 PM - 10:00 PM
Lunes	Bombas de planta	BP1, BP2.	BP3, BP2.	BP1, BP3.
Martes	Bombas de planta	BP3, BP2.	BP1, BP2.	BP1, BP3.
Miércoles	Bombas de planta	BP1, BP3.	BP1, BP2.	BP3, BP2.
Jueves	Bombas de planta	BP1, BP2.	BP3, BP2.	BP1, BP3.
Viernes	Bombas de planta	BP3, BP2.	BP1, BP2.	BP1, BP3.
Sábado	Bombas de planta	BP1, BP3.	BP1, BP2.	BP3, BP2.
Domingo	Bombas de planta	BP3, BP2.	BP1, BP2.	BP1, BP3.

Después de hacer la alternancia de cada bomba, se hizo un análisis de causa raíz de las fallas más comunes encontradas en cualquier sistema de bombeo de agua, en esta parte se analizó causas, consecuencias y fallas funcionales con la técnica de los 5 porqués. (Ver Apéndice D)

14. Taxonomía del Sistema de Bombeo

Figura 14.

Componentes de un Sistema de Bombeo



El siguiente esquema de colores representa la frecuencia de las inspecciones o reparaciones que se realizarán a futuro en la planta de agua.

Tabla 19.

Colores para la Frecuencia y Urgencia.

Diaria	
Semanalmente	
Bimestral	
Trimestral	
Semestral	
Anualmente	
Cada 2/5 años	

También se formó una pequeña codificación para representar cada subsistema.

Tabla 20.

Codificación para el Mantenimiento

Códigos	Componente
202211	Tablero
202215	Motor eléctrico
202218	Bomba centrífuga

14.1. Plan de Mantenimiento Preventivo para EMACALA.

Tabla 21.

Plan de Mantenimiento Preventivo

Componente	Actividad	Frecuencia
202211	Inspección visual del cableado	Diaria
202211	Inspeccionar el buen funcionamiento del botón de arranque/parada	Diaria
202218	Inspeccionar el estado de los soportes	Diaria
202218	Medir presión mayor a 20 psi y menor a 45 psi	Diaria
202218	Medir ceba	Diaria
202218	Inspección visual de posibles fugas por el cuerpo de la bomba	Diaria
202218	Inspeccionar fugas/funcionamiento de válvula de alivio	Diaria
202218	Realizar inspección de válvulas manuales	Diaria
202218	Inspeccionar el buen estado de la carcasa	Diaria
202211	Medir corriente con pinza	Semanal
202218	Medir nivel de aceite/llevar de ser necesario	Semanal
202218	Realizar inspección por análisis de vibraciones	Bimestral
202215	Inspeccionar alineación por análisis de vibraciones	Bimestral
202218	Lubricar con aceite cojinetes	Bimestral
202215	Limpiar caja de terminales en motor	Bimestral

Componente	Actividad	Frecuencia
202211	Limpiar contactor	Bimestral
202211	Realizar inspección por análisis de termografía	Trimestral
202215	Limpiar ventilador de motor	Semestral
202218	Engrasar válvula manual	Semestral
202215	Verificar aislamiento del estator	Semestral
202218	Cambiar cordón plomaginado	Semestral
202215	Verificar consumo eléctrico con multímetro	Semestral
202218	Cambiar anillos de desgaste	Anual
202215	Inspeccionar por análisis de ultrasonido el estado del estator	Anual
202218	Cambiar aceite de bomba	Anual
202218	Cambiar rodamientos	Anual
202215	Realizar inspección por análisis de ultrasonido	Anual
202218	Cambiar rodete	Cada 2 años
202215	Cambiar rodamientos de motor	Cada 2 años
202215	Cambiar aislamiento de estator	Cada 5 años

15. Costos de Mantenimiento

Los costos de mantenimiento están asociados a la restauración y mantenimiento de los activos de una empresa o sector comercial.

Los costos de mantenimiento estimados en este proyecto son aproximados reales de los gastos de producción, almacenamiento, mano de obra y repuestos necesarios para realizar el plan de mantenimiento óptimo y económico para la empresa EMACALA E.S.P.S.A.S.

La siguiente tabla muestra los costos para el mantenimiento correctivo realizado actualmente para cada sistema de bombeo, teniendo en cuenta que se cuenta con ocho (8) sistemas iguales o similares en cuanto a capacidad y carga de trabajo diario.

15.1. Costos de Mantenimiento Correctivo

Tabla 22.

Costos del Mantenimiento Correctivo

Correctivo					
N°	Intervenciones	Costo de falla	Almacenamiento	Sobre-inversión	Total
1	\$ 340.000,00	\$ 300.000,00	\$ -	\$ 120.000,00	\$ 760.000,00
2	\$ 920.000,00	\$ 360.000,00	\$ 60.000,00	\$ 150.000,00	\$ 1.490.000,00
3	\$ 460.000,00	\$ 360.000,00	\$ -	\$ -	\$ 820.000,00
4	\$ 240.000,00	\$ 420.000,00	\$ -	\$ -	\$ 660.000,00
5	\$ 570.000,00	\$ 600.000,00	\$ -	\$ 220.000,00	\$ 1.390.000,00
6	\$ 730.000,00	\$ 360.000,00	\$ -	\$ -	\$ 1.090.000,00
7	\$ 260.000,00	\$ 420.000,00	\$ 60.000,00	\$ -	\$ 740.000,00
8	\$ 450.000,00	\$ 480.000,00	\$ 70.000,00	\$ 120.000,00	\$ 1.120.000,00
9	\$ 3.405.000,00	\$ 600.000,00	\$ -	\$ 240.000,00	\$ 4.245.000,00
10	\$ 640.000,00	\$ 360.000,00	\$ -	\$ 240.000,00	\$ 1.240.000,00
Total	\$ 8.015.000,00	\$ 4.260.000,00	\$ 190.000,00	\$ 1.090.000,00	\$13.555.000,00

En la siguiente tabla se puede apreciar los costos que implica el plan de mantenimiento preventivo propuesto.

15.2. Costos de Mantenimiento Preventivo

Tabla 23.

Costos de Mantenimiento Preventivo

Preventivo						
N°	Intervenciones	Costo de falla	Almacenamiento	Sobre-inversión	Total	
1	\$ 345.000,00	\$ 50.000,00	\$ 95.000,00	\$ 90.000,00	\$ 580.000,00	
2	\$ 750.000,00	\$ 30.000,00	\$ 95.000,00	\$ 360.000,00	\$ 1.235.000,00	
3	\$ 450.000,00	\$ 60.000,00	\$ 95.000,00	\$ 360.000,00	\$ 965.000,00	
4	\$ 384.000,00	\$ 60.000,00	\$ 95.000,00	\$ 100.000,00	\$ 639.000,00	
5	\$ 975.000,00	\$ 60.000,00	\$ 95.000,00	\$ 170.000,00	\$ 1.300.000,00	
6	\$ 450.000,00	\$ 60.000,00	\$ 95.000,00	\$ 100.000,00	\$ 705.000,00	
7	\$ 420.000,00	\$ 60.000,00	\$ 95.000,00	\$ 100.000,00	\$ 675.000,00	
8	\$ 975.000,00	\$ 60.000,00	\$ 95.000,00	\$ 220.000,00	\$ 1.350.000,00	
9	\$ 1.290.000,00	\$ 60.000,00	\$ 95.000,00	\$ 490.000,00	\$ 1.935.000,00	
10	\$ 1.005.000,00	\$ 60.000,00	\$ 95.000,00	\$ 340.000,00	\$ 1.500.000,00	
Total	\$ 7.044.000,00	\$ 560.000,00	\$ 950.000,00	\$ 2.330.000,00	\$ 10.884.000,00	

15.3. Comparación de Costos de Mantenimiento

En la siguiente tabla se compararon los costos del mantenimiento preventivo y el correctivo.

Tabla 24.

Costos Totales

Tabla de costos totales					
Mantenimiento	Intervenciones	Costo de falla	Almacenamiento	Sobreinversión	Total
Correctivo	\$ 8.015.000,00	\$ 4.260.000,00	\$ 190.000,00	\$ 1.090.000,00	\$ 3.555.000,00
Preventivo	\$ 7.044.000,00	\$ 560.000,00	\$ 950.000,00	\$ 2.330.000,00	\$ 10.884.000,00

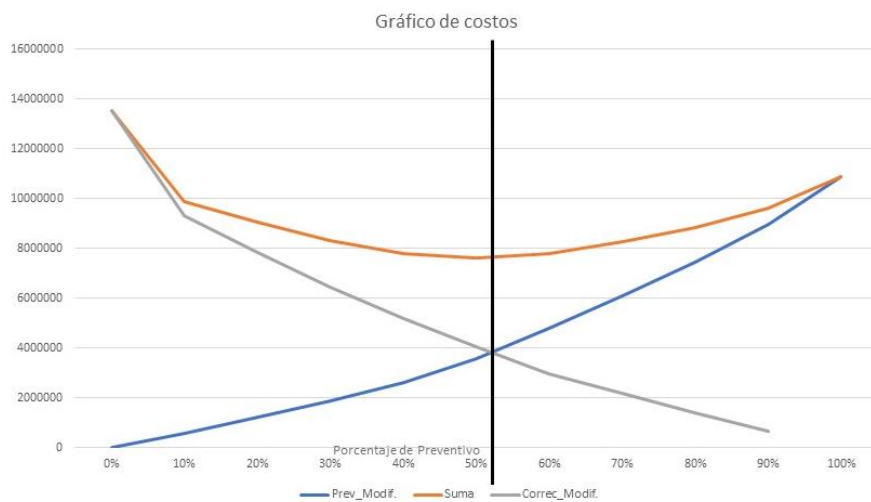
Tabla 25.

Análisis de Costos.

Mtto Prev.	% Mtto Prev.	Prev_Modif.	Suma	Correc_Modif.	% Mtto Correc.	Mtto Correc.
0	0%	0	\$ 13.555.000,00	\$ 13.555.000,00	100%	\$ 4.245.000,00
\$ 580.000,00	10%	\$ 580.000,00	\$ 9.890.000,00	\$ 9.310.000,00	90%	\$ 1.490.000,00
\$ 639.000,00	20%	\$ 1.219.000,00	\$ 9.039.000,00	\$ 7.820.000,00	80%	\$ 1.390.000,00
\$ 675.000,00	30%	\$ 1.894.000,00	\$ 8.324.000,00	\$ 6.430.000,00	70%	\$ 1.240.000,00
\$ 705.000,00	40%	\$ 2.599.000,00	\$ 7.789.000,00	\$ 5.190.000,00	60%	\$ 1.120.000,00
\$ 965.000,00	50%	\$ 3.564.000,00	\$ 7.634.000,00	\$ 4.070.000,00	50%	\$ 1.090.000,00
\$ 1.235.000,00	60%	\$ 4.799.000,00	\$ 7.779.000,00	\$ 2.980.000,00	40%	\$ 820.000,00
\$ 1.300.000,00	70%	\$ 6.099.000,00	\$ 8.259.000,00	\$ 2.160.000,00	30%	\$ 760.000,00
\$ 1.350.000,00	80%	\$ 7.449.000,00	\$ 8.849.000,00	\$ 1.400.000,00	20%	\$ 740.000,00
\$ 1.500.000,00	90%	\$ 8.949.000,00	\$ 9.609.000,00	\$ 660.000,00	10%	\$ 660.000,00
\$ 1.935.000,00	100%	\$ 10.884.000,00	\$ 10.884.000,00	0	0%	0

Figura 15.

Gráfico de Costos



Se pudo apreciar que el porcentaje recomendado de mantenimiento preventivo está entre el 53% y 60% con un costo aproximado de \$7.677.000 de pesos colombianos.

Tabla 26.

Costos de Mantenimiento para el Total de los Equipos

Costos de mantenimiento			
	Costo por sistema	Cantidad	Total costos
Correctivo por sistema	\$ 13.555.000,00	8	\$ 108.440.000,00
Preventivo por sistema	\$ 7.677.500,00	8	\$ 61.420.000,00
		Ahorro	\$ 47.020.000,00

Figura 16.

Gráfica de Comparación de Costos de Mantenimiento



16. Conclusiones

✓ Los accidentes y fallas ocasionados por errores humanos se pueden evitar progresivamente, capacitando al personal en el uso de los elementos de protección y rutinas de inspección preoperacional de los sistemas de bombeo.

- ✓ El propósito del mantenimiento es garantizar la funcionalidad de los equipos y sistemas, se debe enfatizar en el origen de la falla y no solo en repararla.
- ✓ La empresa debe dirigir el mantenimiento hacia la disponibilidad, se debe actuar esencialmente en la mantenibilidad para aumentar la disponibilidad.
- ✓ A nivel comparativo, los costos del mantenimiento correctivo son más elevados respecto a intervenciones, por su parte, en los costos de falla se reflejó un ahorro de hasta siete veces su valor en el mantenimiento preventivo.
- ✓ Actualmente, los costos de mantenimiento estimados ascienden a una cantidad superior a los \$108.000.000 de pesos anuales, mediante la elaboración de la gráfica de comparación, se estimó un ahorro aproximado de \$47.000.000 de pesos en los costos totales del mantenimiento presupuestado anualmente, aplicando el plan de mantenimiento preventivo.

17. Recomendaciones

- ✓ Implementar el software MP versión 10 para la gestión del mantenimiento en la empresa, que cuente con una base de datos sobre los historiales de fallas, manejo de inventarios de los repuestos, presupuesto anual y control de gastos, con el fin de ayudar a la organización a cumplir sus objetivos empresariales.
- ✓ Para determinar la efectividad de la implementación del programa, se deben realizar auditorías internas para identificar las no conformidades y tomar las medidas correctivas apropiadas. Su implementación es importante porque proporciona la dirección necesaria para lograr las metas organizacionales.

✓ Mejorar la infraestructura, el sistema y la limpieza de las instalaciones de producción, y proporcionar los equipos de protección personal necesarios para un trabajo seguro.

✓ Los programas deben diseñarse para proporcionar a los nuevos empleados conciencia y capacitación sobre temas de salud y seguridad.

Referencias Bibliografía

- Ávila, A. & Escorcía, J. (2012). *Diseño de plan de mantenimiento preventivo y correctivo programado para equipos de remoción de tierra en la empresa Arismendy Andrade y CIA LTDA* <https://biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0063119.pdf>
- Cepei. (2020, Diciembre 16). *352 municipios de Colombia no cuentan con acceso a agua potable de calidad.* <https://cepei.org/novedad/352-municipios-de-colombia-no-cuentan-con-acceso-a-agua-potable-de-calidad/>
- Cervantes, G. (2011) *Realizar el plan de mantenimiento preventivo de la maquinaria del Departamento de marcos y molduras en la empresa antiguo arte Europeo S.A. De C.V.* Universidad Tecnológica Tula-Tepeji <https://www.uttt.edu.mx/catalogouniversitario/imagenes/galeria/71a.pdf>
- González, C, (2021). *¿Qué es la codificación de equipos en un sistema de mantenimiento? - Software GMAO.* <https://software.aeromarine.es/que-es-la-codificacion-de-equipos-en-un-sistema-de-mantenimiento/#:~:text=La%20codificaci%C3%B3n%20industrial%20de%20sistemas,%2C%20almac%C3%A9n%2C%20compra%20o%20financieras.>
- Jmp. (2022). *Diagrama de Pareto.* https://www.jmp.com/es_co/statistics-knowledge-portal/exploratory-data-analysis/pareto-chart.html
- Lameirinhas, G. (2022). *8 indicadores indispensables para la gestión del mantenimiento - TRACTIAN.* <https://traction.com/blog/8-indicadores-indispensables-para-la-gestion-del-mantenimiento>
- Mantenimiento. (2019). *Mantenimiento.* <https://mantenimiento.win/>

Millerlandy, N. (2015). *Desarrollo de un plan de mantenimiento preventivo para los activos de la empresa Industrias CTS S.A.S.* Universidad Industrial de Santander
<http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2015/156235.pdf>

Rodríguez, A.; Cubillos, H. & Muñoz A. (2019). *Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo para la Planta de tratamiento de agua potable del municipio de Cagua Cundinamarca Caso de estudio: Cámara de vacío.* Eccí.edu.co.
<https://doi.org/https://repositorio.ecci.edu.co/handle/001/1966>

Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. (2012). *Manual de Mantenimiento.*
https://repositorio.sena.edu.co/sitios/fedemetal_manual_mantenimiento/#

Termo-Watt.com. (2018, Marzo 28). *¿Cuáles son los tipos de mantenimiento industrial?*
<https://www.termo-watt.com/termo-watt-empresa/blog-actualidad/82-cuales-son-los-tipos-de-mantenimiento-industrial>

Valborsoluciones. (2020). *Tipos de mantenimiento industrial: ventajas y desventajas.* Valbor Soluciones. <https://www.valborsoluciones.com/mantenimiento/tipos-de-mantenimiento-industrial-ventajas-y-desventajas/>

Valdivieso, J. (2010). *Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para la empresa Extruplas S.A.* Universidad Politécnica Salesiana
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/831/12/UPS-CT001680.pdf>

Apéndices

Apéndice A. Ficha de Mantenimiento.

FICHA DE MANTENIMIENTO

×

Máquina: BOMB2

Marca: SIEMENS

Modelo 1LA5 223-4YA89

Fabricante: SIEMENS

Código: P1BC02

Observaciones de máquina: NINGUNA



Fecha: 12/07/2022

Hora: 06:00 PM

Responsable: Abel Mejia

Insumos: Extractor estándar

Descripción: Cambiar rodamientos 6212ZN y 6213ZN

Mantenimiento Correctivo

Ya fue realizado

Observaciones: Utilizar equipos de seguridad como: Botas, guantes, gafas de protección y casco.

Hecho por:

Autorizado por:



Apéndice B. Orden de Trabajo



EMACALA E.S.P. S.A.S

Fecha de impresión:	26/08/2022 23:06
---------------------	------------------

Máquina-Equipo:	BARCAZA1
Marca:	
Modelo:	
Fabricante:	
Código:	BAR1
Observaciones:	NINGUNA

Fecha y Hora de Mantenimiento:	27/07/2022 07:30 AM
Responsable:	Abel Mejía
Insumos Requeridos:	Equipo de soldadura
Descripción:	fugas internas en la barcaza, rellenar con soldadura las fugas, cambiar partes d
Observaciones:	Utilizar equipos de protección como: Botas, guantes, gafas de protección y casco.

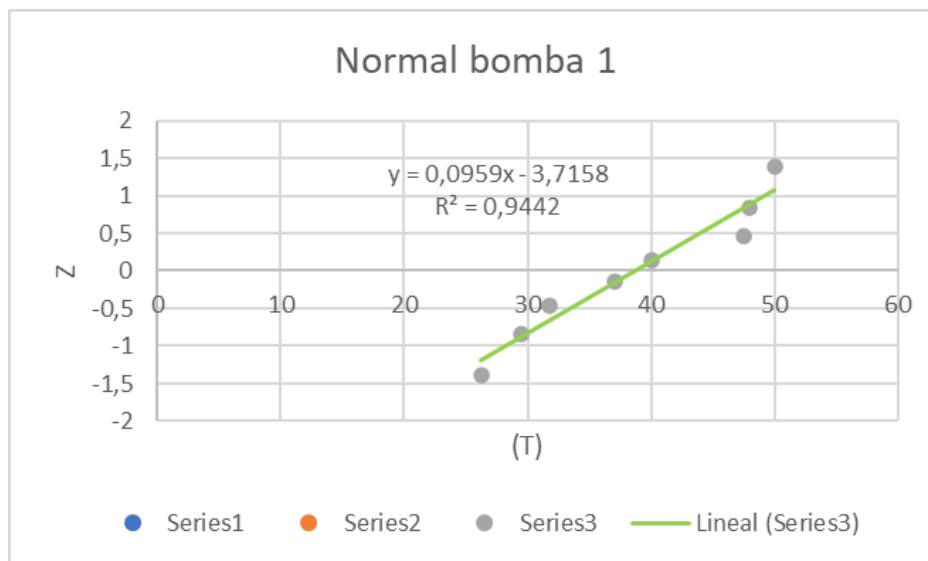
Elaborado por: MARLON MATÍNEZ

Autorizado por: ORLANDO CASTRO

Apéndice C. Tablas de Distribución Normal para los Cálculos de Mantenibilidad

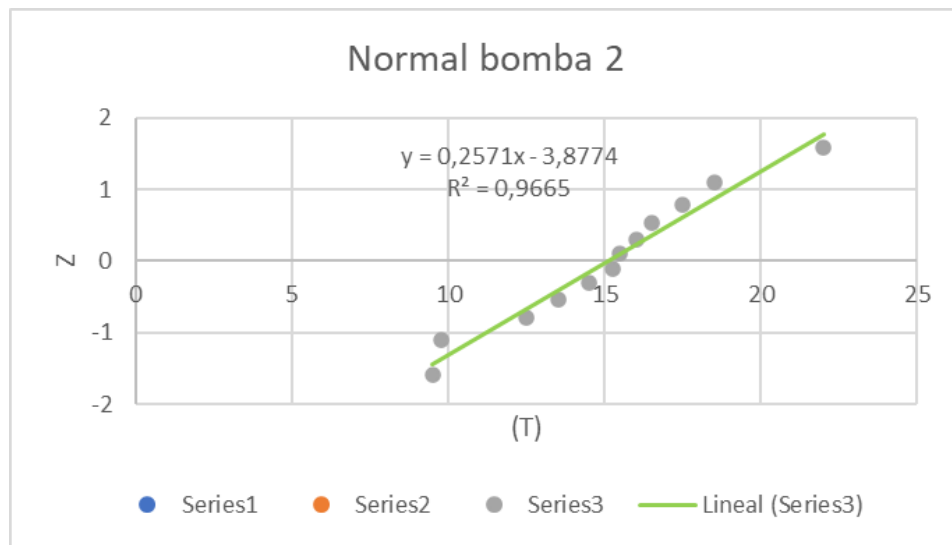
Bomba 1				
Datos de reparación	Acumulado de fallas	M(i)	Z	M(t)
26,25	1	8,33%	-1,38299413	8,56%
29,5	2	20,24%	-0,83314687	15,56%
31,75	3	32,14%	-0,46370775	22,18%
37	4	44,05%	-0,14976201	42,40%
40	5	55,95%	0,14976201	55,44%
47,5	6	67,86%	0,46370775	83,09%
48	7	79,76%	0,83314687	84,44%
50	8	91,67%	1,38299413	89,09%
Total	310	N° Fallas	8	

Desviación estandar σ	MTTR
9,134901673	38,75



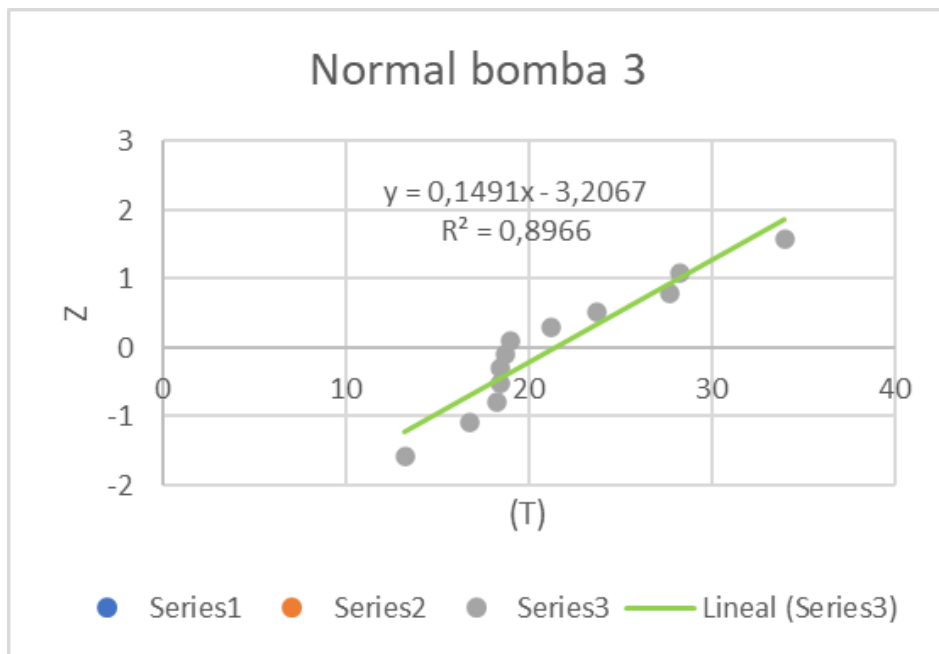
Bomba 2				
Datos de reparación	Acumulado de fallas	M(i)	Z	M(t)
9,5	1	5,65%	-1,58527782	5,72%
9,75	2	13,71%	-1,0934562	6,57%
12,5	3	21,77%	-0,77984202	23,25%
13,5	4	29,84%	-0,52904506	32,72%
14,5	5	37,90%	-0,30802341	43,45%
15,25	6	45,97%	-0,10124643	51,88%
15,5	7	54,03%	0,10124643	54,69%
16	8	62,10%	0,30802341	60,23%
16,5	9	70,16%	0,52904506	65,57%
17,5	10	78,23%	0,77984202	75,28%
18,5	11	86,29%	1,0934562	83,30%
22	12	94,35%	1,58527782	97,48%
Total	181	N° Fallas		12

Desviación estandar σ	MTTR
3,536069552	15,0833333



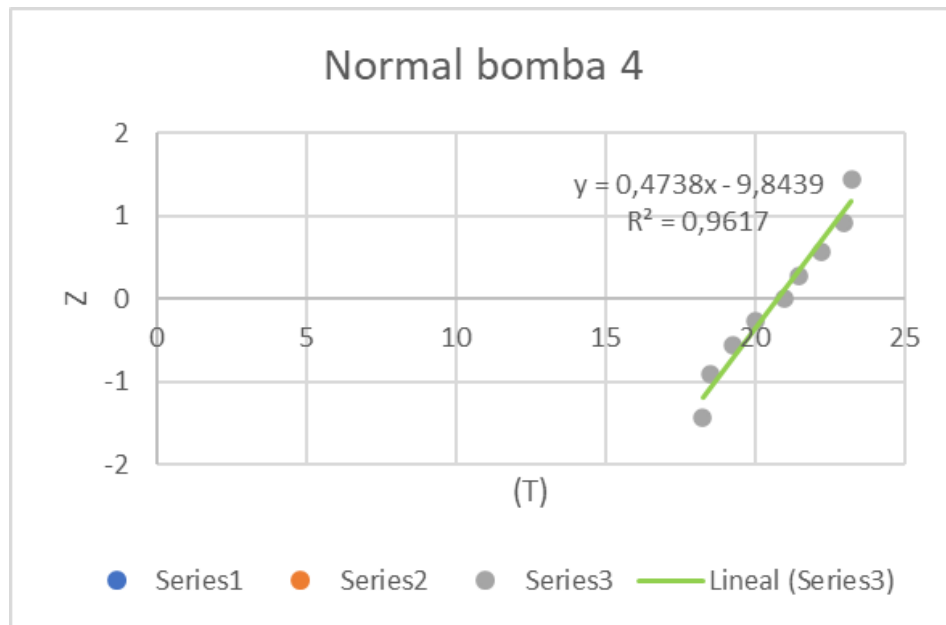
Bomba 3				
Datos de reparación	Acumulado de fallas	M(i)	Z	M(t)
13,25	1	5,65%	-1,58527782	15,70%
16,75	2	13,71%	-1,0934562	28,11%
18,25	3	21,77%	-0,77984202	34,58%
18,5	4	29,84%	-0,52904506	35,71%
18,5	5	37,90%	-0,30802341	35,71%
18,75	6	45,97%	-0,10124643	36,86%
19	7	54,03%	0,10124643	38,01%
21,25	8	62,10%	0,30802341	48,78%
23,75	9	70,16%	0,52904506	60,82%
27,75	10	78,23%	0,77984202	77,72%
28,25	11	86,29%	1,0934562	79,50%
34	12	94,35%	1,58527782	93,64%
Total	258	N° Fallas	12	

Desviación estandar σ	MTTR
8,193962756	21,5



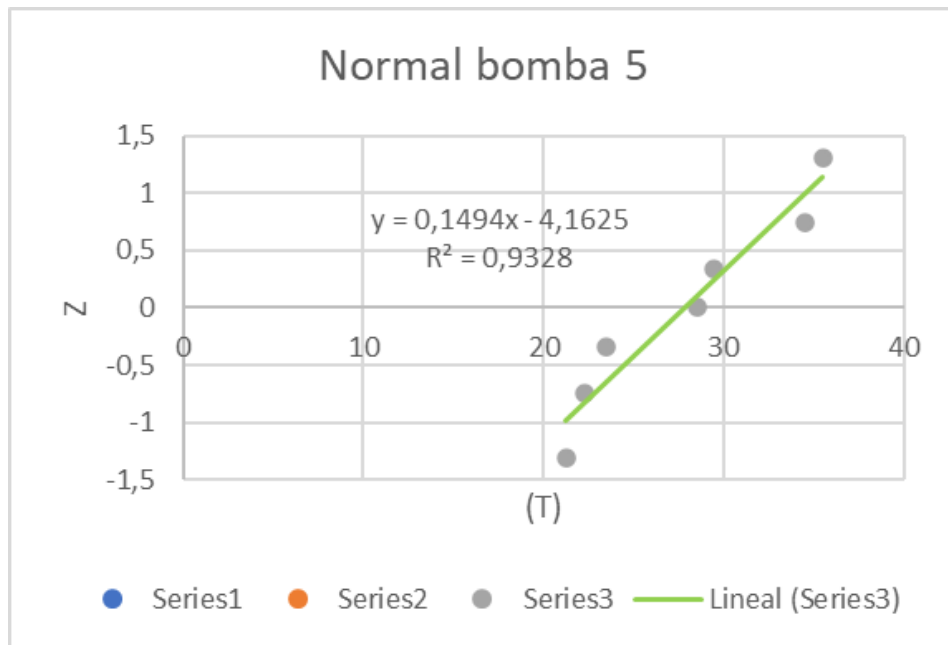
Bomba 4				
Datos de reparación	Acumulado de fallas	M(i)	Z	M(t)
18,25	1	7,45%	-1,44329932	8,95%
18,5	2	18,09%	-0,9121265	11,30%
19,25	3	28,72%	-0,56148334	20,83%
20	4	39,36%	-0,26990409	33,96%
21	5	50,00%	0	54,70%
21,5	6	60,64%	0,26990409	64,95%
22,25	7	71,28%	0,56148334	78,31%
23	8	81,91%	0,9121265	88,13%
23,25	9	92,55%	1,44329932	90,56%
Total	187	N° Fallas	9	

Desviación estandar σ	MTR
1,88100889	20,7777778



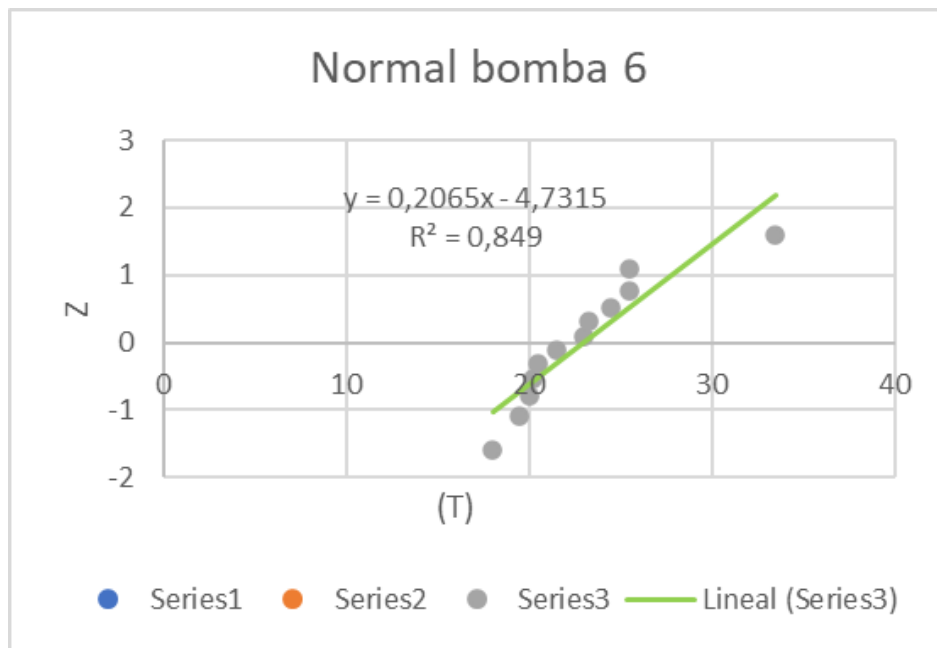
Bomba 5				
Datos de reparación	Acumulado de fallas	M(i)	Z	M(t)
21,25	1	9,46%	-1,31298148	12,61%
22,25	2	22,97%	-0,73973722	16,56%
23,5	3	36,49%	-0,34548507	22,51%
28,5	4	50,00%	0	54,44%
29,5	5	63,51%	0,34548507	61,21%
34,5	6	77,03%	0,73973722	87,52%
35,5	7	90,54%	1,31298148	90,74%
Total	195	N° Fallas	7	

Desviación estandar σ	MTRR
5,769635212	27,8571429



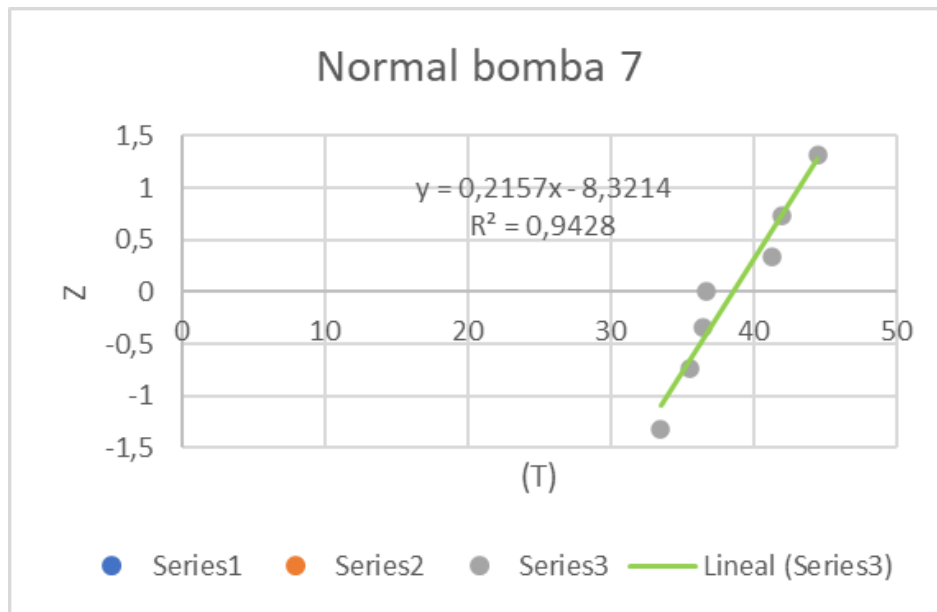
Bomba 6				
Datos de reparación	Acumulado de fallas	M(i)	Z	M(t)
18	1	5,65%	-1,58527782	22,23%
19,5	2	13,71%	-1,0934562	34,43%
20	3	21,77%	-0,77984202	38,99%
20,25	4	29,84%	-0,52904506	41,33%
20,5	5	37,90%	-0,30802341	43,70%
21,5	6	45,97%	-0,10124643	53,34%
23	7	54,03%	0,10124643	67,27%
23,25	8	62,10%	0,30802341	69,43%
24,5	9	70,16%	0,52904506	79,13%
25,5	10	78,23%	0,77984202	85,39%
25,5	11	86,29%	1,0934562	85,39%
33,5	12	94,35%	1,58527782	99,86%
Total	275	N° Fallas	12	

Desviación estandar σ	MTTR
4,126319807	21,1538462



Bomba 7				
Datos de reparación	Acumulado de fallas	M(i)	Z	M(t)
33,5	1	9,46%	-1,31298148	10,34%
35,5	2	22,97%	-0,73973722	22,23%
36,5	3	36,49%	-0,34548507	30,31%
36,75	4	50,00%	0	32,51%
41,25	5	63,51%	0,34548507	74,75%
42	6	77,03%	0,73973722	80,33%
44,5	7	90,54%	1,31298148	93,00%
Total	270	N° Fallas	7	

Desviación estandar σ	MTRR
4,017447069	38,5714286



Bomba 8				
Datos de reparación	Acumulado de fallas	M(i)	Z	M(t)
6,25	1	5,22%	-1,62352318	8,84%
6,5	2	12,69%	-1,14133307	10,79%
7,25	3	20,15%	-0,83630192	18,47%
7,25	4	27,61%	-0,59440868	18,47%
7,5	5	35,07%	-0,38330648	21,64%
8,5	9	64,93%	0,38330648	37,03%
9	7	50,00%	0	45,84%
9,5	8	57,46%	0,18816633	54,86%
11	9	64,93%	0,38330648	78,87%
11,25	10	72,39%	0,59440868	81,99%
11,75	11	79,85%	0,83630192	87,32%
11,75	12	87,31%	1,14133307	87,32%
12,5	13	94,78%	1,62352318	93,08%
Total	120	N° Fallas	13	

Desviación estandar σ	MTR
2,206669668	9,23076923

