

**Universidad Tecnológica ECOTEC**

**Facultad de Ingenierías, Arquitectura y Ciencias de la Naturaleza**

**Título del trabajo:**

Implementación de un Sistema de Gestión de Mantenimiento Planificado (MP) según TPM, para los equipos del sistema eléctrico de media tensión y aireación

**Línea de Investigación:**

Gestión de los procesos productivos y operativos industriales

**Modalidad de titulación:**

Trabajo de Integración Curricular

**Carrera/programa:**

Ingeniería Industrial

**Título a obtener:**

Ingeniero Industrial

**Autores:**

Derian Isaac Velásquez Bohórquez

Alberto Stalyn Mendoza Pisco

**Tutor:**

PhD. Pedro José Tobar Espinoza

Guayaquil – Ecuador

2024

**AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, a Dios, por haberme permitido llegar hasta estas instancias de vida y al Ing. Félix Aquiles Reinado Bones, por haberme encaminado a una lucha incesante de los principios personales y profesionales, por brindarme las oportunidades de aprendizaje necesarias para cambiar vidas y mi vida. (Alberto Mendoza)

Quiero agradecer a mis padres, quienes con su apoyo incondicional y grandes consejos me han guiado en cada paso de mi vida. A mis docentes y compañeros, por brindarme sus experiencias y conocimientos que han aportado a mi crecimiento personal y profesional, y a mi Dios por darme la fortaleza para no decaer, la sabiduría para tomar buenas decisiones y la inteligencia para lograr llegar a la meta de esta maravillosa carrera. (Derian Velásquez)

**DEDICATORIA**

Este logro se lo dedico en especial a mi madre María del Carmen Pisco Parrales quien luchó sin descanso para hacerme hombre de bien, a mi padre Remigio Alberto Mendoza Dueñas quien hoy ya no está a mi lado pero que sin duda fue mi pilar fundamental en mi formación humana, a mi hermano Luis Antonio Mendoza Pisco a quien extraño cada día, pero hoy goza de la presencia del señor, fue mi aliento y esperanza para no decaer en el camino. (Alberto Mendoza)

Dedico este logro a mi padre Vicente Washington Velásquez Tomalá y a mi madre Evelyn Zobeida Bohórquez Carvajal, por ser mi mayor fuente de inspiración y por su constante motivación y apoyo durante todo este largo proceso. Esto es el fruto de su confianza y ese amor incondicional que tienen en mí. (Derian Velásquez)

## Certificado de Aprobación Final

### **PROCESO DE TITULACIÓN CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TUTOR**

Samborondón, 16 de Diciembre de 2024

Magíster

**Erika Ascencio**

**Unidad Académica: Facultad de Ingenierías, Arquitectura y Ciencias de la Naturaleza**  
Universidad Tecnológica ECOTEC

De mis consideraciones:

Por medio de la presente comunico a usted que el trabajo de titulación TITULADO "IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PLANIFICADO (MP) SEGÚN TPM, PARA LOS EQUIPOS DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE MEDIA TENSIÓN Y AIREACIÓN" fue revisado, siendo su contenido original en su totalidad, así como el cumplimiento de los requerimientos establecidos en la guía para su elaboración, por lo que se autoriza al estudiante: VELÁSQUEZ BOHÓRQUEZ DERIAN ISAAC y MENDOZA PISCO ALBERTO STALYN, para que proceda con la presentación oral del mismo.

**ATENTAMENTE,**




PEDEJO JOSE TOBAR  
ESPINOZA

**Firma**

**PhD. Pedro José Tobar Espinoza**  
Tutor

## Certificado de Porcentaje de Coincidencia





**CERTIFICADO DE ANÁLISIS**  
magister

# Velásquez-Mendoza

1%

Textos sospechosos

 **1% Similitudes**  
 0% similitudes entre comillas  
 0% entre las fuentes mencionadas


 **< 1% Idiomas no reconocidos**

Nombre del documento: Velásquez-Mendoza.docx  
 ID del documento: d0167f99768aad313e5c668459bf2fbdcc30a8aa  
 Tamaño del documento original: 5,9 MB  
 Autores: []




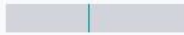
Depositante: DIEGO ANDRES PEÑA ARCOS  
 Fecha de depósito: 16/12/2024  
 Tipo de carga: interface  
 fecha de fin de análisis: 16/12/2024

Número de palabras: 13.415  
 Número de caracteres: 86.076

Ubicación de las similitudes en el documento:



**Fuentes principales detectadas**

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	 <a href="https://es.slideshare.net/PM-FacilitadoresAbril2022.pdf">es.slideshare.net   PM FacilitadoresAbril2022.pdf</a> <a href="https://es.slideshare.net/slideshow/pm-facilitadoresabril2022pdf/253333481">https://es.slideshare.net/slideshow/pm-facilitadoresabril2022pdf/253333481</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (47 palabras)
2	 <b>Documento de otro usuario</b> #99bdd1 El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (27 palabras)

## RESUMEN

La investigación trata sobre la implementación de un Sistema de Gestión de Mantenimiento Planificado (MP) basado en la metodología japonesa Total Productive Maintenance (TPM), que consistió en seis etapas, iniciando por un levantamiento exhaustivo de la situación actual de los equipos, recursos, personal y los procesos de mantenimiento actuales. Se realizó el presupuesto, un análisis de la estructura de mantenimiento donde se presentó la propuesta económica e incremento del personal a la plana directiva, obteniendo la aprobación de los recursos planteados, se realizó la restauración de los equipos. Se realizó el control de stock de las herramientas y repuestos. Se estructuraron los planes de mantenimiento preventivo y predictivo, donde se utilizó la experiencia de los técnicos, los manuales de los equipos. Finalmente se evaluó el sistema implementado, donde dicha implementación resultó primordial para mejorar la disponibilidad y por ende tener la mayor cantidad de equipos en buen estado, esto debido a que el proceso de mantenimiento actual en la empresa presenta una alta cantidad de averías en los equipos. La población en su totalidad estuvo conformada por 1.411 equipos tanto de aireación como media tensión en una empresa del sector camaronero en la parroquia Taura. Se mejoró la disponibilidad y confiabilidad de los equipos eléctricos de media tensión y aireación, donde se analizaron los resultados y el impacto positivo que tiene la implementación del mantenimiento planificado mediante los indicadores clave para su evaluación como la disponibilidad, MTBF y MTTR. Los resultados evidenciaron una disminución significativa en las cantidades de averías, incremento en la disponibilidad y una mejora y formación en las habilidades de los técnicos y operadores.

Palabras Clave: Mantenimiento Planificado, TPM, confiabilidad, aireación, media tensión.

### **ABSTRACT**

The research focuses on the implementation of a Planned Maintenance Management System (MP) based on the Japanese methodology Total Productive Maintenance (TPM), which consisted of six stages. It began with a thorough assessment of the current state of equipment, resources, personnel, and existing maintenance processes. A budget was prepared, along with an analysis of the maintenance structure, which included presenting the economic proposal and the request for additional personnel to the management team. After obtaining approval for the proposed resources, the equipment was restored. Stock control of tools and spare parts was carried out. Preventive and predictive maintenance plans were structured, leveraging the experience of technicians and the equipment manuals. Finally, the implemented system was evaluated, with the implementation proving essential to improving availability and, consequently, ensuring the highest number of operational equipment. This was particularly relevant as the company's current maintenance process exhibited a high number of equipment failures. The entire study population consisted of 1,411 pieces of equipment, including aeration and medium-voltage equipment, within a shrimp industry company located in the parish of Taura. The availability and reliability of medium-voltage electrical and aeration equipment were improved, and the results were analyzed, demonstrating the positive impact of planned maintenance implementation through key evaluation indicators such as availability, MTBF (Mean Time Between Failures), and MTTR (Mean Time To Repair). The results showed a significant reduction in the number of failures, an increase in availability, and an improvement in the skills and training of technicians and operators.

Keywords: Planned Maintenance, TPM, reliability, aeration, medium voltage.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN</b>	9
1.1 Antecedentes	10
1.2 Planteamiento del problema	11
1.3 Pregunta científica	12
1.4 Objetivos	12
1.4.1 Objetivo general	12
1.4.2 Objetivos específicos	13
1.5 Justificación	13
<b>CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO</b>	16
2.1 Sector Camaronero en Ecuador	16
2.2 Mantenimiento Productivo Total (TPM)	17
2.3 Sistemas de Aireación Eléctrica en la Industria Acuícola	19
2.4 Sistemas de Media Tensión en la Industria Acuícola	20
2.5 Implementación de un Sistema de Mantenimiento Planificado (MP) según TPM	22
2.6 Marco Conceptual	25
<b>CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA DEL PROCESO DE INVESTIGACIÓN</b>	27
3.1 Enfoque de la Investigación	27
3.2 Alcance de la Investigación	28
3.3 Delimitación de la Investigación	28
3.4 Población y Muestra de la Investigación	29
3.4.1 Población de la Investigación	29
3.5 Métodos Empleados	29
3.6 Procesamiento y Análisis de la Información	30
3.6.1 Etapa 1: Levantamiento de la situación actual	30
3.6.2 Etapa 2: Restauración de las deterioraciones y mejoras	39
3.6.3 Etapa 3: Estructuración del control de informaciones y de datos	50
3.6.4 Etapa 4: Estructuración del Mantenimiento Periódico	53
3.6.5 Etapa 5: Estructuración del Mantenimiento Predictivo	59
<b>CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	62



4.1 Etapa 6: Evaluación del Mantenimiento Planificado	9
4.1.1 Presentación de Resultados	62
<b>CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES</b>	73
<b>CAPÍTULO 6: RECOMENDACIONES</b>	75
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	76

## TABLA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Muestra los 8 pilares fundamentales del Mantenimiento Productivo Total (TPM) siendo uno de ellos el pilar de Mantenimiento Planificado (MP). Fuente C. Roser, 2021</i>	16
<i>Figura 2. Matriz de tabulación de datos en el levantamiento estadístico de la situación actual en los primeros 90 días de gestión. Fuente propia.</i>	35
<i>Figura 3. Gráfica de porcentajes para equipos de aireación eléctrica en el mes de junio 2023. Fuente propia.</i>	36
<i>Figura 4. Gráfica de porcentajes para equipos de aireación eléctrica en el mes de julio 2023. Fuente propia.</i>	37
<i>Figura 5. Gráfica de porcentajes para equipos de aireación eléctrica en el mes de agosto 2023. Fuente propia.</i>	37
<i>Figura 6. Gráfica de porcentajes para equipos de media tensión en el mes de junio 2023. Fuente propia.</i>	40
<i>Figura 7. Gráfica de porcentajes para equipos de media tensión en el mes de julio 2023. Fuente propia.</i>	40
<i>Figura 8. Gráfica de porcentajes para equipos de media tensión en el mes de agosto 2023. Fuente propia.</i>	41
<i>Figura 9. Porcentaje de 90 días de los tipos de fallas para los equipos de aireación eléctrica. Fuente propia.</i>	44
<i>Figura 10. Porcentaje de 90 días de los tipos de fallas para los equipos de media tensión. Fuente propia.</i>	45

	10
<i>Figura 11. Estructura de mantenimiento actual vs propuesta para implementar el pilar de MP. Fuente propia.</i>	46
<i>Figura 12. Matriz de descripción de tareas necesarias según los cargos. Fuente propia.</i>	47
<i>Figura 13. Matriz de habilidades y competencias necesarias para el sistema de mantenimiento. Fuente propia.</i>	48
<i>Figura 14. Cálculo de presupuesto para la restauración y mejora de los equipos de aireación eléctrica con un total de \$650.000,00. Fuente propia.</i>	49
<i>Figura 15. Tabla de referencia para el cálculo de gastos según las horas de trabajo. Fuente propia.</i>	49
<i>Figura 16. Cálculo de presupuesto para la restauración y mejora de los equipos de media tensión con un total de \$776.130,75. Fuente propia.</i>	50
<i>Figura 17. Reuniones, charlas de orientación y capacitación al personal operativo y técnico. Fuente propia.</i>	50
<i>Figura 18. Reemplazo y ajuste de motor a los equipos de aireación eléctrica. Fuente propia.</i>	51
<i>Figura 19. Ajuste de conexiones, cambio de contactores y guardamotores en tableros de control de aireación eléctrica. Fuente propia.</i>	51
<i>Figura 20. Restauración del suministro de energía en la parte superior de los postes en media tensión. Fuente propia.</i>	52
<i>Figura 21. Instalación de transformadores para una correcta tensión de corriente a los tableros de distribución. Fuente propia.</i>	52
<i>Figura 22. Reparación de los seccionadores en postes de alimentación en media tensión. Fuente propia.</i>	53
<i>Figura 23. Retiro de maleza en los postes para evitar aterrizamiento de línea. Fuente propia.</i>	53

	11
<i>Figura 24. Adquisición de 467 equipos nuevos de aireación eléctrica en el mes de noviembre del 2023. Fuente propia.</i>	54
<i>Figura 25. Control de repuestos por mes que se debe tener en stock. Fuente propia.</i>	55
<i>Figura 26. Plan visual de mantenimiento macro para todos los meses y días del año. Fuente propia.</i>	59
<i>Figura 27. Plan de mantenimiento preventivo para los aireadores eléctricos. Fuente propia</i>	60
<i>Figura 28. Nomenclaturas del tipo de mantenimiento a realizarse. Fuente propia.</i>	60
<i>Figura 29. Planilla de acciones de mantenimiento con frecuencia trimestral. Fuente propia.</i>	61
<i>Figura 30. Check list de inspección de equipos de aireación eléctrica. Fuente propia.</i>	62
<i>Figura 31. Estándar de inspección para equipos de media tensión. Fuente propia.</i>	62
<i>Figura 32. Inspecciones con planillas para media tensión. Fuente propia.</i>	63
<i>Figura 33. Inspecciones con planillas para aireación eléctrica. Fuente propia.</i>	63
<i>Figura 34. Megger para medir aislamiento en motores eléctricos reductores. Fuente propia.</i>	65
<i>Figura 35. Amperímetro para medición en sistemas eléctricos. Fuente propia.</i>	65
<i>Figura 36. Medidor de media tensión para comprobación de fluido de energía en postes. Fuente propia.</i>	66
<i>Figura 37. Telurómetro para medir la resistencia de puesta a tierra. Fuente propia.</i>	66
<i>Figura 38. Planilla de inspección con herramientas especiales para el plan de mantenimiento. Fuente propia.</i>	67
<i>Figura 39. Línea de tiempo de la implementación del sistema de mantenimiento. Fuente propia.</i>	70
<i>Figura 40. Porcentaje de disponibilidad por mes, desde junio 2023 hasta noviembre 2024. Fuente propia.</i>	71

<i>Figura 41. Cálculo del tiempo promedio entre fallas (MTBF) para todos los meses de gestión. Fuente propia.</i>	12
<i>Figura 42. Cálculo del tiempo promedio para reparar (MTTR) para todos los meses de gestión. Fuente propia.</i>	72
<i>Figura 43. Porcentaje de disponibilidad por mes, desde junio 2023 hasta noviembre 2024. Fuente propia.</i>	73
<i>Figura 44. Cálculo del tiempo promedio entre fallas (MTBF) para todos los meses de gestión. Fuente propia.</i>	74
<i>Figura 45. Cálculo del tiempo promedio para reparar (MTTR) para todos los meses de gestión. Fuente propia.</i>	75
<i>Tabla 1. Cantidad de equipos totales de media tensión y aireación. Fuente propia.</i>	76
<i>Tabla 2. Modelo de los equipos de media tensión. Fuente propia.</i>	
<i>Tabla 3. Tabla de 90 días de fallas para los equipos de aireación eléctrica. Fuente propia.</i>	
<i>Tabla 4. Tabla de 90 días de fallas para los equipos de media tensión. Fuente propia.</i>	
<i>Tabla 5. Inventario de adquisición de herramientas necesarias para técnicos de mantenimiento. Fuente propia.</i>	

## CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

The Inca Trail (2021), comparte informes sobre la historia del impacto del camarón en el país a través de los años, indicando que el cultivo de camarón en Ecuador ha representado uno de los impulsores económicos más relevantes del país desde los años 1970. Con el transcurso del tiempo, este sector ha vivido un desarrollo tecnológico significativo, fomentando la competitividad y la sostenibilidad de la industria. Este progreso ha contemplado la actualización de los sistemas eléctricos y el uso de tecnologías para mejorar los procesos de producción, como la aireación de las piscinas de cultivo.

Los sistemas de aireación, unida a la infraestructura eléctrica de media tensión, es fundamental para asegurar un entorno ideal para el desarrollo de los camarones. Estos sistemas posibilitan un control exacto y eficaz de la oxigenación del agua, un elemento crucial para la salud y el crecimiento de los organismos. Es fundamental la confiabilidad de los equipos eléctricos de media tensión y aireación, que impulsan la producción, para garantizar la continuidad de las operaciones de las camaroneras y mantener la competitividad en el mercado global.

De acuerdo con el Instituto Japonés de Mantenimiento de Planta (JIPM), la puesta en marcha de un Sistema de Gestión de Mantenimiento Planificado (MP) de acuerdo con la metodología TPM (Total Productive Maintenance) es esencial para asegurar la fiabilidad de los equipos a través de las seis etapas que ofrece este pilar. No solo se busca evitar averías en los equipos, ya que también optimiza el desempeño de todos los sistemas eléctricos que nos faciliten grandes cantidades de producción a un costo reducido. Este método asegura un funcionamiento más eficaz, extiende la duración de los equipos y reduce las interrupciones no programadas que podrían impactar en la producción.

Este estudio se lleva a cabo para una empresa en el sector camaronero en la parroquia Taura, donde los sistemas eléctricos de media y aireación eléctrica son elementos esenciales para mantener la estabilidad del proceso productivo.

### **1.1 Antecedentes**

Según el Instituto Japonés de Mejora Continua (JIPM), el desarrollo de sistemas de gestión de mantenimiento planificado ha sido el foco de múltiples investigaciones en diferentes industrias. La metodología de Mantenimiento Productivo Total (TPM), introducida por primera vez en Japón en la década de 1970, ha sido ampliamente implementada en industrias con gran necesidad de maquinaria y equipos eléctricos. TPM aspira maximizar la eficacia de los equipos a través de la participación activa de toda la jerarquía de la organización, fomentando la independencia en las operaciones y la prevención de averías o fallas.

En el ámbito de la acuicultura, especialmente en el sector camaronero, la confiabilidad de los sistemas de aireación y la electrificación de media tensión son tecnologías relativamente recientes. No obstante, estas investigaciones también han destacado la importancia de una correcta gestión del mantenimiento para evitar averías en los equipos, particularmente en los que componen la infraestructura eléctrica de media tensión y aireación.

Además, estudios llevados a cabo en sectores con características parecidas, como la agricultura intensiva o la minería, han enfatizado la relevancia de un mantenimiento planificado en sistemas eléctricos complejos. De acuerdo con García (2018), en la industria agrícola, la implementación de TPM en sistemas de riego ha disminuido las interrupciones no programadas, lo que señala una relación directa entre una correcta gestión del mantenimiento y el incremento en la eficiencia operativa.

Dentro del marco ecuatoriano, la producción de camarón ha tenido un incremento constante, lo que ha motivado la implementación de sistemas eléctricos más sólidos para satisfacer la demanda. Sin embargo, el enfoque en la gestión de mantenimiento, en particular en los sistemas eléctricos de media tensión y en los aireadores, continúa siendo un campo en desarrollo. Como afirma Pérez (2020), la ausencia de un sistema de mantenimiento organizado podría provocar errores críticos en la infraestructura eléctrica, impactando seriamente los ciclos de producción.

## **1.2 Planteamiento del problema**

En la actualidad, la empresa donde se desarrolla este trabajo de fin de curso, no cuenta con un sistema de mantenimiento planificado, lo que conlleva a trabajar solo bajo el post-avería, es decir en reparaciones reactivas y no basadas en el Mantenimiento de la Condición (CBM) y Mantenimiento basado en Tiempo (TBM), también no se cuenta con un departamento de mantenimiento estructurado con roles específicos, tampoco con habilidades y preparación para las tareas de reparación, además la disponibilidad actual promedio entre los meses de junio a agosto (90 días) de los equipos operativos de aireación está en un 60% y el sistema de media tensión tiene el 70% de disponibilidad.

Para alcanzar un estado óptimo, se requiere instaurar un sistema de gestión de mantenimiento que posibilite detectar de manera oportuna las posibles averías o fallas en los aparatos eléctricos de media tensión y en los sistemas de aireación. Este sistema debe fundamentarse en el TPM, el cual no se limita en prevenir fallos, sino que involucra a toda la jerarquía de la organización en la gestión de los activos productivos (Nakajima, 1988). La implementación de un sistema de mantenimiento planeado facilitará la mejora del desempeño de los equipos, disminuir periodos de parada no previstos y potenciar la eficiencia general de la operación.

Hasta el momento, lo que se sabe es que existe un 40% de averías en los equipos de aireación y un 30% de averías en los equipos de media tensión, una ineficiente estructura de mantenimiento, nula sinergia con los demás departamentos, los mantenimientos se realizan de manera correctiva, las habilidades de los operadores y técnicos son muy limitados. Por lo tanto, se espera que la implementación de un sistema de mantenimiento planificado pueda proporcionar soluciones tangibles a esta problemática, mejorando la disponibilidad y confiabilidad de los equipos.

### **1.3 Pregunta científica**

¿En qué medida la implementación de un sistema de gestión de mantenimiento planeado (MP) basado en TPM mejora la disponibilidad de los equipos de media tensión y aireación eléctrica?

### **1.4 Objetivos**

#### **1.4.1 Objetivo general**

- Implementar un Sistema de Gestión de Mantenimiento Planificado (MP) basado en la metodología TPM, para mejorar la disponibilidad y confiabilidad de los sistemas eléctricos de media tensión y aireación.

#### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Diagnosticar el estado actual de los equipos de media tensión y aireación eléctrica.
- Desarrollar un Sistema de Gestión de Mantenimiento Planificado (MP) conforme a los principios de la metodología TPM.
- Evaluar la Implementación del Sistema de Gestión de Mantenimiento Planificado.

### **1.5 Justificación**



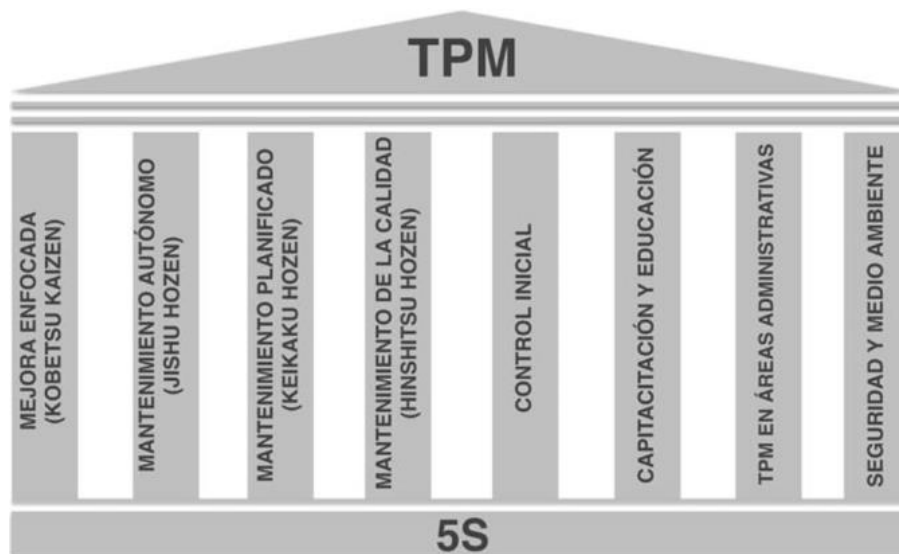
En el proceso de producción de camarón, los aireadores son piezas fundamentales en el normal desarrollo del animal. Una baja cantidad de oxígeno en su hábitat (piscina de cultivo) provoca que el animal se estrese, deje de alimentarse y las piscinas empiecen a bardear acrecentando la mortalidad. Es importante garantizar el suministro de oxígeno a través de la aireación inyectando oxígeno al agua, para mantener los niveles de oxigenación mayores a 3 mg/l. Los aireadores fallan tanto en la parte eléctrica como parte mecánica, esto se da por voltajes deficientes a nivel de media tensión, una mala instalación del sistema de paletas ocasionando ruptura de los ejes y crucetas, fallas encontradas en las cajas reductoras por la falta de lubricación, desgastando los engranajes internos. La reparación de uno de estos equipos involucra:

- Detección de la avería
- Desarmar el equipo
- Revisar si se tiene el stock del repuesto
- Cambio de o los componentes
- Si no se tiene el stock, se pide al departamento de compras

Esto provoca que el animal permanezca con niveles de oxígeno por debajo de la media (>3 mg/l), lo cual causa un decrecimiento de la biomasa.

La implementación de un sistema de gestión de mantenimiento planificado (MP), el cual es basado en la metodología TPM para los equipos de los sistemas eléctricos de media tensión y aireación eléctrica en la industria camaronera atiende a la necesidad de asegurar la confiabilidad de los equipos para garantizar el proceso productivo en un sector clave de la economía ecuatoriana. El motivo principal detrás de este estudio radica en la reducción de las fallas de los equipos de media tensión y aireación eléctrica para la producción de camarón, un producto de exportación de vital importancia para el país. La falta de un sistema de mantenimiento, en la actualidad se trabaja en el post-avería en los equipos de media tensión y aireación eléctrica, lo cual impacta de forma

directa la competitividad de la empresa, ocasionando pérdidas por equipos parados, costos altos en reparación y averías prolongadas que ponen en riesgo la estabilidad de la producción, al actuar bajo el post-avería.



*Figura 1. Muestra los 8 pilares fundamentales del Mantenimiento Productivo Total (TPM) siendo uno de ellos el pilar de Mantenimiento Planificado (MP). Fuente C. Roser, 2021*

Este trabajo de fin de curso proporciona una solución integral y novedosa a la problemática planteada, enfocando el análisis en el pilar de Mantenimiento Planificado, conocido en japonés como "Keikaku Hozen" mostrado en la figura 1. El uso de la metodología TPM permitirá reducir el paro de los equipos por fallas en sus componentes y asegurar la disponibilidad del equipo, se debe involucrar a todo el personal en la gestión del mantenimiento, lo que fomenta una mayor responsabilidad y participación activa en la prevención de averías. Como afirma JIPM, la metodología TPM ha demostrado ser efectiva en diversas industrias, pero su aplicación en la industria camaronera es todavía limitada porque en sus inicios solo se aplicaba para plantas industriales, producción y consumo masivo, lo que hace que este estudio aporte resultados relevantes y actuales que podrán servir de referencia para otras organizaciones del sector camaronero.

Además, se busca contribuir al conocimiento del personal técnico y operativo en el campo del mantenimiento en los sistemas de media tensión y aireación eléctrica, áreas que han experimentado avances tecnológicos importantes, pero que necesitan de un enfoque más organizado en lo que respecta al mantenimiento. Al crear un plan de mantenimiento planificado, se busca aumentar la confiabilidad, la disponibilidad de los equipos, además de reducir los costos operativos asociados a las reparaciones reactivas, minimizar un reemplazo prematuro de los equipos, ofreciendo un enfoque moderno y eficiente en la gestión del mantenimiento.

También tiene una relevancia social y económica, ya que la producción óptima de camarón impacta directamente en la generación de empleo en las zonas rurales y costeras del país, además de contribuir al crecimiento económico a nivel nacional.

## **CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Sector Camaronero en Ecuador**

La Cámara Nacional de Acuicultura (CNA) dice que, el origen del sector camaronero en Ecuador se sitúa en los años 1960, época en la cual la cría de camarón empezó a crecer de manera manual en los estuarios y bosques de manglares ubicados en la costa ecuatoriana. Sin embargo, no fue hasta la década de 1970 que la industria camaronera experimentó un auge importante, gracias a la introducción de métodos y técnicas semi-intensivas y al creciente interés por la exportación de camarón hacia mercados internacionales, como Estados Unidos y Europa.

El director de Ambiente de la CNA, Leonardo Maridueña comenta que, los cultivos de camarón en el Ecuador han sido uno de los pilares fundamentales de la

economía del país, posicionándose como uno de los principales países exportadores de camarón a nivel mundial. La acuicultura ha experimentado un constante crecimiento en los últimos años, sustituyendo la aireación mecánica con combustible fósiles con altos consumos, riesgos elevados de operación, dificultad en el posicionamiento en las piscinas para garantizar una aireación focalizada, adicional se complementaba con aireación manual a base de peróxido aplicado directamente a las piscinas lo cual incrementaba el costo de producción.

Según la Asociación Camaronera Sostenible (SSP), en años recientes gracias a la tecnología de nuestra era, la industria del camarón ha experimentado una evolución importante con la incorporación de sistemas de mantenimiento, lo que ha llevado a optimizar la producción y mejorar la eficiencia en el uso de recursos que se dispongan. Estas innovaciones, además de la ejecución de sistemas de gestión de mantenimiento planificado (MP) para gestionar la parte de media tensión y de aireación eléctrica, han sido esenciales para mantener la competitividad de la industria de la cría de camarones en Ecuador en el mercado internacional.

Adicionalmente, la directora ejecutiva de CNA, Yahira Piedrahita acota que, a medida que la industria camaronera ha experimentado un crecimiento, también lo han hecho los retos vinculados a la infraestructura y producción. La implementación de sistemas eléctricos complejos y sofisticados para operar maquinarias tecnológicas ha puesto en evidencia la necesidad de un mantenimiento preventivo y correctivo apropiado para garantizar la continuidad de las operaciones. Esto se debe a que cualquier error en los sistemas de aireación o regulación y control del agua puede desencadenar efectos devastadores en cuanto a la mortalidad de los camarones y pérdidas económicas.

## 2.2 Mantenimiento Productivo Total (TPM)

Como declara JIPM, la metodología del Mantenimiento Productivo Total (TPM) inicialmente introducido en Japón en los años 70, es un sistema de lean manufacturing basado en un concepto de origen japonés, que se centra en los equipos y las personas, y es un método para una técnica de mantenimiento que mejora la productividad para lograr cero pérdidas y refuerza las bases de la producción. El TPM se basa en la idea de que los empleados tanto el personal operativo como el técnico deben participar en tareas de mantenimiento de su propio entorno de trabajo, lo que fomenta la independencia de los empleados y también contribuye a evitar averías a través de un enfoque preventivo.

Después de una investigación exhaustiva del TPM, el Instituto Japonés de Mantenimiento de Plantas (JIPM) propuso este método en 1971. Inicialmente se constituyó y estableció en la compañía Nippon Electrical Equipments que actualmente se llama Denso Corporation, sin embargo, no es hasta 1989 donde el Instituto decidió ampliar los principios del TPM para abarcar más aspectos de la gestión del mantenimiento, las cuales se siguen utilizando a las necesidades industriales actuales, lo que ha permitido que el TPM se mantenga vigente en el entorno industrial moderno.

Según Japan Training Center Latam, dentro del Ecuador, grandes compañías nacionales que adoptaron e introdujeron la metodología TPM dentro del país fueron condecoradas como lo son Unilever, Grupo Fajardo, Helados Pingüino, Tesalia CBC, Pronaca, Cofimar, Universidad UNEMI, Universidad UPSE, IPAC S.A, Electroguayas y Exportquilsa. Lo que ha permitido a estas empresas en gran manera mejorar su sistema de mantenimiento, optimizar sus procesos productivos y extender la vida útil de sus equipos, generando de forma significativa una ventaja competitiva en el mercado ecuatoriano.

### Características principales del TPM

- Trabaja para reducir las pérdidas que obstruyen la eficiencia del equipo, y las pérdidas que obstruyen la eficiencia del movimiento/ tarea de las personas, lo cual está relacionado con esto.
- Es una técnica de mantenimiento en la que participan todas las funciones de la fábrica o empresa.
- La reducción de pérdidas relacionadas con equipos y personas aumentará el valor agregado en eficiencia y tiempo de producción, y resultará directamente en mejoras de calidad, prevención de accidentes y ahorro de energía.

En el libro "*TPM in Process Industries*", Tokutaro Suzuki (1994), indica que el TPM es un enfoque que persigue la optimización de la eficiencia de los equipos mediante la participación de todos los trabajadores, desde los líderes hasta los operadores. De acuerdo con Suzuki, este enfoque incrementa la productividad y la calidad del proceso, al reducir los periodos de inactividad y averías en los equipos a través de un mantenimiento preventivo e independiente. Adicionalmente, el autor resalta la relevancia de la capacitación, formación y la responsabilidad colectiva como elementos cruciales para el éxito de la ejecución del TPM.

De igual manera, Kunio Shirose (1992), argumenta que el TPM debe implementarse en todos los niveles de la organización para fomentar una auténtica cultura de mantenimiento preventivo y aumentar la eficiencia general. En su opinión y perspectiva, la participación directa de los operadores en el mantenimiento autónomo es esencial, dado que les facilita asumir el cargo y responsabilidad del cuidado de las maquinarias, lo que a su vez lleva a la detección temprana de averías y a una prolongada durabilidad del equipo.

### 2.3 Sistemas de Aireación Eléctrica en la Industria Acuícola

Los sistemas de aireación eléctrica en la industria acuícola son fundamentales para mantener niveles óptimos de oxígeno disuelto en el agua, vital para el crecimiento y supervivencia de los organismos acuáticos, como el camarón. Estos sistemas incluyen dispositivos como aireadores de paletas y de burbujeo, accionados por motores eléctricos.

El uso de motores permite ajustar la velocidad y la intensidad de la aireación, lo que ayuda a evitar zonas de bajo oxígeno. Además, los sistemas modernos pueden estar automatizados, monitoreando y regulando las condiciones del agua en tiempo real para maximizar la eficiencia y reducir costos energéticos.

Como afirma García (2020), los aireadores eléctricos son particularmente sensibles a averías debido a su complejidad, y cualquier interrupción puede provocar pérdidas significativas en la producción, por lo cual es de su suma importancia realizar un mantenimiento planificado a este tipo de equipos, especialmente en ambientes de acuicultura donde factores como la corrosión y la acumulación de residuos pueden afectar su funcionamiento.

Para los sistemas de aireación eléctrica en la industria acuícola, como los aireadores, sigue una estructura detallada para maximizar la vida útil del equipo y evitar fallas. Estos equipos necesitan mantenimiento en las siguientes fases:

- **Inspección regular y limpieza** de los componentes eléctricos y mecánicos para asegurar un buen estado, como cables, conexiones, motores y paletas.
- **Lubricación periódica** de los motores y rodamientos para reducir el desgaste.
- **Verificación de oxígeno** para garantizar que el sistema esté proporcionando suficiente aireación.

- **Monitoreo de condiciones operativas** mediante sensores para detectar variaciones en el consumo de energía o vibraciones.

Según Yik y Chin (2019), el mantenimiento preventivo de los aireadores es esencial para optimizar el suministro de oxígeno en sistemas acuícolas, ya que permite reducir la acumulación de sedimentos y asegurar el buen funcionamiento de los motores eléctricos, prolongando su vida útil y mejorando la eficiencia energética.

Además, Mohammad (2018), destaca que el mantenimiento adecuado de estos sistemas garantiza la oxigenación constante en las piscinas de cultivo, pero también reduce el consumo de energía, lo cual es esencial para minimizar los costos operativos en la acuicultura.

#### **2.4 Sistemas de Media Tensión en la Industria Acuícola**

Los sistemas eléctricos de media tensión son instalaciones eléctricas diseñadas para operar a tensiones entre 1kV y 35 kV. En las piscinas de cultivo de camarón, los sistemas eléctricos son cruciales para el funcionamiento de:

- **Bombeo de agua:** Suministran energía a las bombas que circulan agua en las piscinas.
- **Aireación:** Proporcionan energía a los sistemas de aireación para mantener niveles adecuados de oxígeno.
- **Control de temperatura:** Regulan la temperatura del agua para optimizar el crecimiento del camarón.

La red de distribución eléctrica de media tensión en las piscinas de cultivo de camarón están compuestos por los siguientes equipos:

- **Transformadores:** Convierten la tensión de la red eléctrica.



- Celdas o interruptores: Controlan el flujo de energía y protegen el sistema.
- Seccionadores: Permiten aislar secciones del sistema para mantenimiento.
- Tableros de aireadores: Distribuyen la energía a los diferentes aireadores.
- Caja de fusibles: Protegen contra cortocircuitos o sobrecargas.
- Regulador de voltaje: Para mantener un nivel constante de voltaje en un circuito.
- Postes de alimentación: Para suministrar la energía a los diferentes equipos a través de los cables.

Entre las actividades de mantenimiento planeado que se les da a los equipos eléctricos de media tensión son los siguientes:

- Inspecciones regulares: Verificar conexiones, aislamientos y equipos.
- Limpieza: Eliminar polvo y humedad de los equipos.
- Pruebas de resistencia: Verificar la resistencia de los aislamientos.
- Reemplazo de componentes: Sustituir componentes desgastados o dañados.

Como menciona Boyd (2015), un programa de mantenimiento efectivo es esencial para garantizar la confiabilidad y eficiencia de los sistemas eléctricos, y prevenir fallas que puedan resultar en pérdidas económicas significativas. Por lo que, un correcto mantenimiento de los sistemas eléctricos de media tensión es vital para:

- Evitar cortes de energía: Garantiza la continuidad del cultivo y previene pérdidas económicas.
- Reducir riesgos de accidentes: Mantiene la seguridad de los trabajadores y previene electrocuciones.
- Optimizar la eficiencia: Asegura que los sistemas funcionen de manera eficiente y reduzca consumos excesivos de energía.

- Prolongar vida útil: Extiende la vida de utilización de los equipos y reduce costos de reemplazo de piezas.

Un mantenimiento adecuado mejora la calidad de la actividad acuícola. Según John Smith, instructor certificado por American Society of Mechanical Engineers (ASME), el objetivo principal del mantenimiento planificado es garantizar que todos los equipos de la red de distribución eléctrica utilizados en las piscinas de cultivo funcionen al 100% de eficiencia en todo momento.

Además, Chima (2018), destaca que el mantenimiento planeado es una herramienta clave para reducir la frecuencia y duración de las fallas en los sistemas eléctricos, y así minimizar los costos asociados con las interrupciones y reparaciones.

## **2.5 Implementación de un Sistema de Mantenimiento Planificado (MP) según**

### **TPM**

En Ecuador, donde la producción de camarón es una de las actividades económicas más destacadas, la implementación de TPM puede generar y marcar un cambio muy notable en la competitividad de las empresas. Tal como lo menciona Vega (2021), la adopción de prácticas de mantenimiento avanzadas posibilita que las camaroneras garanticen una producción constante y de excelente calidad, fortaleciendo su posición en el mercado a nivel mundial.

La Gestión de Mantenimiento Planificado (MP) como uno de los pilares principales del TPM, se refiere a la programación y ejecución de actividades de mantenimiento de manera disciplinada, con el fin de prevenir fallas en los equipos y trabajar sin interrupciones. La investigación de Palmer (2012), destaca los beneficios importantes de implementar un sistema de mantenimiento planeado eficaz. Al reducir los tiempos de inactividad no programados y prolongar la vida útil de los equipos, este

enfoque puede generar aumentos sustanciales en la productividad y disminuciones considerables en los costos operativos. En el libro "Maintenance Planning and Scheduling Handbook", Palmer enfatiza la necesidad de integrar los sistemas de mantenimiento en las operaciones diarias, lo que permite un control más exhaustivo y eficiente de los equipos, asegurando así una gestión óptima de los recursos disponibles.

Para implementar un Mantenimiento Planificado consta de 6 etapas a seguir, las cuales son:

- **Etapa 1: Evaluación del equipo y levantamiento de la situación actual**

Esta etapa es donde se inicia toda la metodología MP. Se diagnostican todos los equipos, se recopilan datos históricos de fallas, rendimiento y tiempos de parada. El objetivo es identificar qué está funcionando y qué necesita atención.

- **Etapa 2: Restauración de las deterioraciones y mejoras de los puntos deficientes**

Se actúa sobre las fallas identificadas en la etapa anterior. Se corrigen deterioros visibles, defectos o puntos débiles. Se realizan ajustes y reparaciones para restaurar los equipos a condiciones óptimas.

- **Etapa 3: Estructuración del control de informaciones y de datos**

Se establecen sistemas para gestionar la información relacionada con el equipo, como el registro de intervenciones, control de paradas, tiempo productivo, entre otros. Esto permite tener un control efectivo y tomar decisiones con base en datos reales.

- **Etapa 4: Estructuración del Mantenimiento Periódico**

Se desarrollan programas de mantenimiento preventivo que se deben realizar de forma regular para evitar fallas imprevistas. Se programan inspecciones, limpiezas, ajustes y lubricaciones en intervalos específicos, basados en la criticidad y el uso de los equipos.

- **Etapa 5: Estructuración del Mantenimiento Predictivo**

Se implementan técnicas avanzadas, como el monitoreo de condiciones a través de sensores y análisis de vibraciones o temperatura, para predecir fallas antes de que ocurran. Aquí, el objetivo es actuar justo a tiempo, evitando paradas no planificadas.

- **Etapa 6: Evaluación del Mantenimiento planeado**

Finalmente, se revisa todo el sistema de mantenimiento implementado. Se analizan los resultados obtenidos en cuanto a reducción de paradas, aumento de la disponibilidad de los equipos y optimización de los recursos. A partir de esta evaluación, se pueden realizar ajustes y mejoras para seguir perfeccionando el sistema.

Como afirma Yang (2024), cada una de estas etapas se debe implementar de manera organizada y estructurada, involucrando al personal clave, desde operarios hasta el equipo de mantenimiento. Con estas acciones, se busca optimizar la operación de los equipos, reducir costos y aumentar la productividad.

### **Puntos Clave para el Mantenimiento Planificado**

- ✓ La seguridad es la clave.
- ✓ Todo el personal de mantenimiento debe tener conocimientos de TPM.
- ✓ Las fallas y los defectos pueden ser reducidos a CERO.
- ✓ Filosofía preventiva.
- ✓ TPM es más que una serie de actividades desempeñadas por el departamento de mantenimiento.
- ✓ El equipamiento es acompañado correctamente por la manufactura y mantenimiento.
- ✓ La manufactura y el mantenimiento son inseparables.

Adicionalmente, Martínez (2020) resalta que la puesta en marcha de un sistema de gestión de mantenimiento no solo asegura la disponibilidad de los equipos, sino que también favorece con la seguridad en las operaciones. Este autor enfatiza que, en sectores como la acuicultura, la gestión del mantenimiento es fundamental para evitar o prevenir pérdidas en la producción.

## 2.6 Marco Conceptual

Se dan a conocer los diferentes conceptos claves con respecto a la propuesta de un sistema de mantenimiento planificado:

- **Mantenimiento:** Actividades desarrolladas, organizadas y planificadas con el objetivo de garantizar de forma óptima el estado operacional de los equipos o sistemas.
- **Mantenimiento Planeado:** Sigue planeamiento previo, que considera la importancia del equipo y el método a ser usado.
- **Mantenimiento No Planeado:** Ocurre de forma no planeada, normalmente después de la quiebra o la avería.
- **Aireadores eléctricos:** Son equipos ubicados en las piscinas que se encargan de airear y oxigenar el agua para la biomasa, siendo crucial para mantener los niveles de oxígeno disueltos en el agua.
- **Equipos de media tensión:** Sistemas que tienen un voltaje entre 1 kV y 35 kV, conformados por las celdas, seccionadores, reguladores, postes y los transformadores donde la electricidad es transformada de alta a media tensión.
- **Mantenimiento Preventivo:** La actividad de mantenimiento preventivo ocurre regularmente, antes de que ocurra la falla, siendo que cuando llega el tiempo predeterminado, la reparación es efectuada, lo que abarca en el desarmado del

equipo para su inspección y posteriormente la sustitución de las piezas deterioradas.

- **Mantenimiento Predictivo:** Técnica de mantenimiento basada en la monitorización continua de los equipos mediante sensores y herramientas tecnológicas (como análisis de vibraciones o termografía), que permiten detectar fallos antes de que ocurran.
- **Infraestructura Eléctrica:** Componentes eléctricos como cables, transformadores, líneas de tensión y equipos necesarios para distribuir y transportar la energía.
- **Líneas de alimentación:** Son los cables que transportan energía desde los postes a los diferentes equipos que se utilizan como los aireadores eléctricos y los equipos de media tensión.
- **Transformadores:** Dispositivo con el propósito de convertir la energía eléctrica de un nivel de tensión alto a un nivel de tensión medio o bajo, importante para el funcionamiento operativo de los equipos.
- **Tableros de control:** Dispositivo utilizado para el control, monitoreo y funcionamiento de los equipos dentro de las piscinas como los aireadores y los alimentadores.

## **CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA DEL PROCESO DE INVESTIGACIÓN**

### **3.1 Enfoque de la Investigación**

La presente investigación sobre la Implementación de un Sistema de Mantenimiento Planificado según los principios del TPM en una empresa camaronera, se desarrollará bajo un enfoque cuantitativo, el cual es adecuado para analizar el impacto que tendrá la implementación de dicho sistema de mantenimiento en la confiabilidad de los equipos de media tensión y aireación eléctrica.

El enfoque cuantitativo permitirá medir los efectos de dicho sistema a través de datos numéricos, que serán interpretados con herramientas estadísticas para verificar la eficacia de la gestión de mantenimiento. Se seleccionarán métodos clave de medición, tales como el tiempo medio entre fallos (MTBF), el tiempo medio de reparación (MTTR), número de averías y el porcentaje de disponibilidad de los equipos. Estas variables cuantitativas proporcionarán una base sólida para analizar de manera estadística los resultados, y permitirá comparar el desempeño de los equipos antes y después de la implementación de este sistema de mantenimiento planificado.

Mediante este enfoque cuantitativo, se busca establecer relaciones de causa-efecto entre la implementación del sistema de mantenimiento y los indicadores de gestión. Para ello, se realizará un análisis estadístico de los datos obtenidos, lo cual facilitará identificar las debilidades y convertirlas en mejoras para la reducción de fallos, optimización de tiempos de respuesta y confiabilidad de los equipos. Además, los resultados podrán ser generalizados en otras áreas de producción acuícola que presenten características similares, lo que aportará una mayor validez externa a los hallazgos de esta investigación.

### **3.2 Alcance de la Investigación**

El alcance de esta investigación se centra en mejorar la disponibilidad de los equipos de media tensión y aireación eléctrica en un entorno acuícola, a través de la implementación de un sistema de mantenimiento planificado. Este estudio define un alcance explicativo, dado que se busca analizar y comprender las causas y efectos relacionados con el sistema de mantenimiento de los equipos. La investigación busca ante todo responder la pregunta primordial: ¿en qué medida la implementación de un sistema de mantenimiento planificado puede mejorar la disponibilidad de los equipos de media tensión y aireación eléctrica?

Desde este punto de vista, el alcance explicativo permitirá identificar y analizar las condiciones bajo las cuales la implementación del sistema de mantenimiento impacta positivamente en la disponibilidad de los equipos. Se explorarán factores como la reducción de tiempos de inactividad, la mejora en la respuesta ante fallos y el incremento del tiempo medio entre fallos, todos ellos indicadores críticos que afectan la disponibilidad de los mismos.

### **3.3 Delimitación de la Investigación**

Esta investigación se lleva a cabo en una empresa de producción camaronera en la provincia del Guayas sector Taura, en la cual analizaremos el proceso de mantenimiento en los sistemas de media tensión y aireación eléctrica; tomaremos el periodo desde junio hasta diciembre del 2023 para poder tener los datos estadísticos y afectaciones en los sistemas, posteriormente se podrá proponer el sistema de gestión de mantenimiento planificado en los sistemas de media tensión y aireación eléctrica según la metodología TPM.

### **3.4 Población y Muestra de la Investigación**

#### **3.4.1 Población de la Investigación**

Para el análisis de la población se toman en cuenta todos los equipos de la finca relacionados directamente con el proceso de investigación, es decir, la población en su totalidad, así como los aireadores eléctricos, seccionadores, tableros de los aireadores, tableros de los seccionadores, transformadores de 13.8 kV/ 460 V, postes con sus líneas de alimentación y aisladores en media tensión, celdas de apertura y cierre en media tensión, y reguladores de media tensión.



La población estará conformada por 1.411 equipos del sistema eléctrico de una empresa de producción camaronera en la provincia del Guayas sector Taura como se muestra a continuación en la tabla 1:

<b>NOMBRES DE EQUIPOS</b>	<b>CANTIDAD</b>
TABLEROS DE SECCIONADORES ALIMENTADORES	5
TABLEROS DE AIREADORES	43
TRANSFORMADORES	43
REGULADORES DE TENSIÓN MONOFÁSICO	3
CELDAS DE APERTURA Y CIERRE	3
AIREADORES ELÉCTRICOS	733
SECCIONADORES SECUNDARIOS	65
POSTES DE ALIMENTACIÓN DE 13,8 kV	516
	1.411

*Tabla 1. Cantidad de equipos totales de media tensión y aireación. Fuente propia.*

### **3.5 Métodos Empleados**

La técnica de investigación empleada para la recolección de los datos del objeto de estudio, fue una entrevista en la cual se habló sobre el diseño que se tenía en mente para la recolección de los datos y se solicitó al supervisor, personal técnico y operarios de campo la información necesaria como el número de equipos averiados, tipos de averías, componentes, sistemas, tiempo medio de reparación (MTTR), tiempo medio entre fallos (MTBF) y la disponibilidad que se tiene de los equipos. Dichos indicadores se relacionan directamente con lo que se desea investigar y de primera mano evaluar los equipos y levantar la situación actual de los mismos. Los datos recolectados en la entrevista se hicieron en la sala de control principal de la finca, el cual abarca los indicadores fundamentales antes mencionados para el diagnóstico del proceso de investigación.

Dicho diseño aseguró la obtención de los datos e información que se necesitaba para la investigación, facilitando su análisis estadístico. Los datos obtenidos fueron organizados y estructurados en una base de datos para su posterior análisis cuantitativo,

utilizando herramientas estadísticas que permitieron evaluar el impacto del sistema de mantenimiento en la confiabilidad y disponibilidad de los equipos.

### **3.6 Procesamiento y Análisis de la Información**

Se detallan los pasos del pilar de Mantenimiento Planificado según la metodología TPM para el procesamiento y análisis de la información y los datos que se han obtenido a continuación:

#### **3.6.1 Etapa 1: Levantamiento de la situación actual**

Como primer paso para el levantamiento de la situación actual en los primeros 90 días de gestión para la recolección de datos e información necesaria para la investigación, se la realizó de la siguiente manera:

1. Se crearon 3 grupos como sistema de mensajería instantánea para compartir la información y datos necesarios
  - Grupo de Aireación
  - Grupo de Electricidad y Generación
  - Grupo Administrativo
2. El personal técnico y operador reportan diariamente en los grupos las averías, reparaciones, tiempos de reparación, cambio de piezas, equipos operativos, inoperativos, etc.
  - En las mañanas se reportan las novedades
  - En las noches se reportan los cierres
3. Luego los supervisores hacen recorridos en campo para verificar que la información enviada sea la correcta.
4. Finalmente, la información es analizada y tabulada por los supervisores en Microsoft Excel.

A continuación, se muestra en la figura 2 los datos tabulados en Excel y su descripción para su interpretación:

- **Día:** se detalla el día y el mes en el que se hacen los reportes. (90 días de gestión).
- **Ubicación:** el número de piscina en el que se encuentra el equipo.
- **Equipos totales:** número total de equipos que se encuentran en la ubicación.
- **Operativos:** número de equipos que se encuentran operativos.
- **Inoperativos:** número de equipos que se encuentran averiados.
- **Observaciones:** las novedades reportadas como las averías y tipos de averías que se presentan diariamente para los equipos de aireación eléctrica y media tensión.
- **Clasificación del equipo:** los equipos eléctricos.
- **Técnico:** el técnico que atendió las novedades.

Día	Ubicación	Total equipos	Operativo	Inoperativo	OBSERVACION	CLASIFICACION EQUIPO	Tecnico
1-jun	PS 06	8	8			Electrico	
1-jun	PS 07	8	7	1	Equipo fuera de anclas	Electrico	Fuentes
1-jun	PS 08	8	8		Motor quemado	Electrico	
1-jun	PS 09	20	20			Electrico	
1-jun	PS 10	8	7	1	caja reductora	Electrico	Rosado
1-jun	PS 11	11	11			Electrico	
1-jun	PS 12	8	8			Electrico	
1-jun	PS 13	13	13			Electrico	
1-jun	PS 14	11	11			Electrico	
1-jun	PS 15	9	7	2	Motor quemado	Electrico	Paredes
1-jun	PS 16	7	6	1	Revisar motor	Electrico	Fuentes
1-jun	PS 17	7	7			Electrico	
1-jun	PS 18	9	8	1	caja reductora	Electrico	Rodriguez
1-jun	PS 19	9	9			Electrico	
1-jun	PS 20	9	9			Electrico	
1-jun	PS 21	9	9			Electrico	
1-jun	PS 22	9	9			Electrico	
1-jun	PS 23	7	7			Electrico	
1-jun	PS 24	7	7			Electrico	
1-jun	PS 25	7	7			Electrico	
1-jun	PS 26	7	7			Electrico	
1-jun	PS 27	9	9			Electrico	
1-jun	PS 28	9	9			Electrico	
1-jun	PS 29	9	8	1	Motor quemado	Electrico	Sornoza
1-jun	PS 30	9	8	1	Revisar motor	Electrico	Pozo
1-jun	PS 31	9	9			Electrico	
1-jun	PS 32	9	9			Electrico	

Figura 2. Matriz de tabulación de datos en el levantamiento estadístico de la situación actual en los primeros 90 días de gestión. Fuente propia.

### Estadísticas de los Equipos de Aireación Eléctrica

Se muestran los 90 días de gestión (de junio a agosto) con un total de 733 equipos de aireación eléctrica, donde cada una de las gráficas muestra el porcentaje de fallas o averías que se tuvieron en dichos meses.

Se describe cada uno de los conceptos para interpretación de las gráficas:

- **Operativos en campo:** Equipos en buen estado que se encuentran en operación normal.
- **Stand by:** Equipos que están en buen estado, pero no están en operación normal debido a que la piscina se encuentra vacía (pesca realizada) o la piscina está recién sembrada y no necesita aireación.
- **Dañado en campo:** Equipos con averías o en mal estado que se encuentran en la zona de operación y se pueden reparar en sitio.
- **Equipos en taller:** Equipos con averías o en mal estado que se encuentran dentro del taller para su reparación.

Como resultado para el mes de junio tenemos un total de 296 equipos de aireación en mal estado que corresponde al 40% de equipos que tuvieron averías en el mes, y 437 equipos disponibles en buen estado para operación, como se muestra en la figura 3 a continuación:

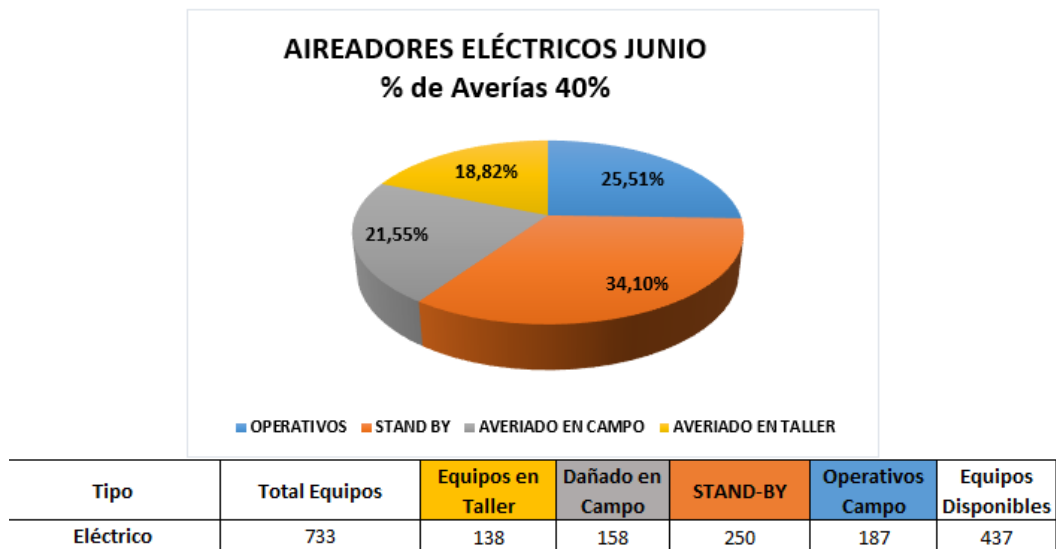


Figura 3. Gráfica de porcentajes para equipos de aireación eléctrica en el mes de junio 2023. Fuente propia.

Para el mes de julio tenemos un total de 300 equipos de aireación en mal estado que corresponde al 41% de equipos que tuvieron averías en el mes, y 433 equipos disponibles en buen estado para operación, como se muestra en la figura 4 a continuación:

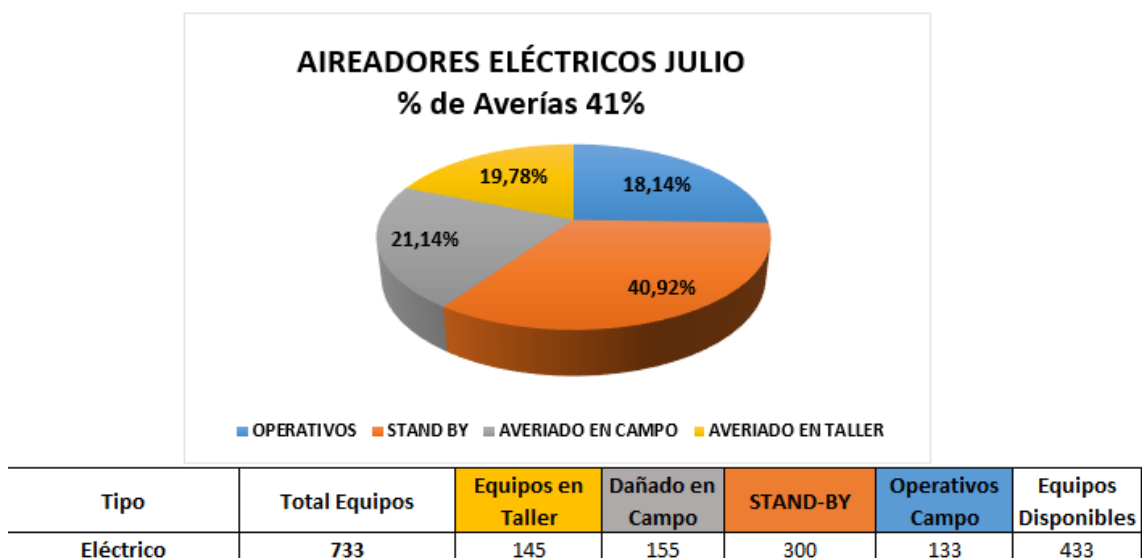
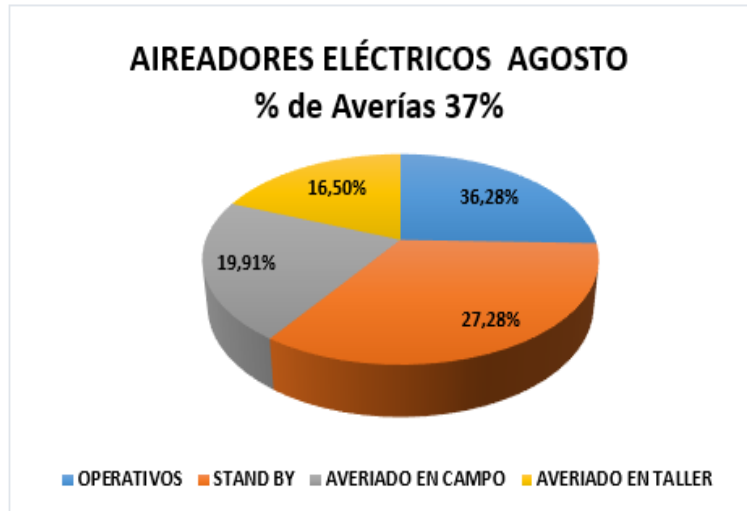


Figura 4. Gráfica de porcentajes para equipos de aireación eléctrica en el mes de julio 2023. Fuente propia.

Para el mes de agosto tenemos un total de 267 equipos de aireación en mal estado que corresponde al 37% de equipos que tuvieron averías en el mes, y 466

equipos disponibles en buen estado para operación, como se muestra en la figura 5 a continuación:



Tipo	Total Equipos	Equipos en Taller	Dañado en Campo	STAND-BY	Operativos Campo	Equipos Disponibles
Eléctrico	733	121	146	200	266	466

Figura 5. Gráfica de porcentajes para equipos de aireación eléctrica en el mes de agosto 2023. Fuente propia.

En el periodo de recolección de datos de los 90 días, el promedio de equipos de aireación eléctrica que presentó averías es de un 40% y el promedio de equipos que no presentó averías (equipos en buen estado) es de un 60%.

Entonces, mediante las figuras 3, 4 y 5 se puede evidenciar lo siguiente:

**Para el mes de junio:** los equipos averiados en taller fueron de un total de 138, los dañados en campo fueron 158.

- De los equipos averiados en taller se repararon: 70
- De los equipos dañados en campo se repararon: 120
- Quedaron pendientes de reparar 68 equipos averiados en taller
- Quedaron pendientes de reparar 38 equipos dañados en campo

**Para el mes de julio:** los equipos averiados en taller fueron de un total de 145, los dañados en campo fueron 155.

- De los 145 equipos averiados en taller que tenemos en el mes de julio corresponde a 68 equipos pendientes de reparación del mes de junio y 77 equipos con nuevas averías.
- De los 155 equipos dañados en campo que tenemos en el mes de julio corresponde a 38 equipos pendientes de reparación del mes de junio y 117 equipos con nuevas averías.
- De los equipos averiados en taller para el mes de julio, se repararon: 90
- De los equipos dañados en campo para el mes de julio, se repararon: 130

**Para el mes de agosto:** los equipos averiados en taller fueron de un total de 121, los dañados en campo fueron 146.

- De los 121 equipos averiados en taller que tenemos en el mes de agosto corresponde a 90 equipos pendientes de reparación del mes de julio y 31 equipos con nuevas averías.
- De los 146 equipos dañados en campo que tenemos en el mes de agosto corresponde a 130 equipos pendientes de reparación del mes de julio y 16 equipos con nuevas averías.
- De los equipos averiados en taller para el mes de agosto, se repararon: 90
- De los equipos dañados en campo para el mes de agosto, se repararon: 146

El modelo de equipos para aireación eléctrica con los que se trabaja es:

- Marca: Zuzu
- Modelo: 4.8E
- Voltaje: 460 VAC
- Fuente: Trifásica
- Potencia: 4 HP
- Número de paletas: 12

### Estadística de los Equipos de Media Tensión

Se muestran los 90 días de gestión (de junio a agosto) con un total de 678 equipos de media tensión, donde cada una de las gráficas muestra el porcentaje de fallas o averías que se tuvieron en dichos meses.

Como resultado para el mes de junio tenemos un total de 198 equipos de media tensión en mal estado que corresponde al 29% de equipos que tuvieron averías en el mes, y 480 equipos disponibles en buen estado para operación, como se muestra en la figura 6 a continuación:

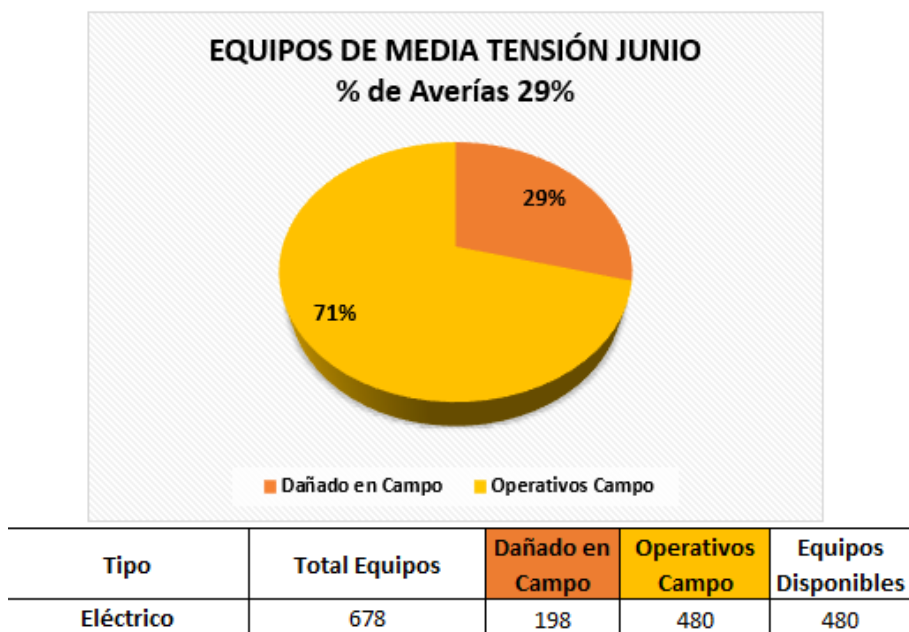


Figura 6. Gráfica de porcentajes para equipos de media tensión en el mes de junio 2023. Fuente propia.

Para el mes de julio tenemos un total de 190 equipos de media tensión en mal estado que corresponde al 28% de equipos que tuvieron averías en el mes, y 488 equipos disponibles en buen estado para operación, como se muestra en la figura 7 a continuación:



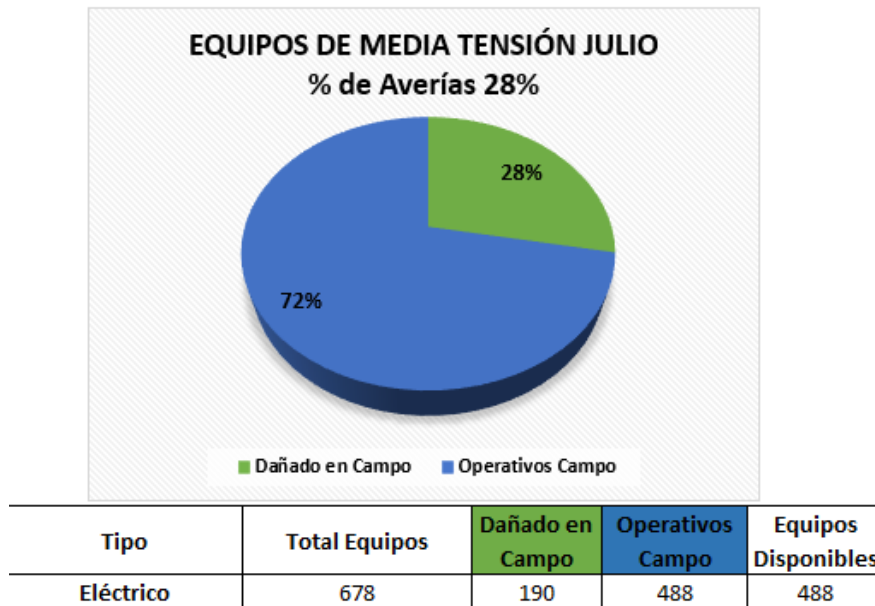


Figura 7. Gráfica de porcentajes para equipos de media tensión en el mes de julio 2023. Fuente propia.

Para el mes de agosto tenemos un total de 210 equipos de media tensión en mal estado que corresponde al 31% de equipos que tuvieron averías en el mes, y 468 equipos disponibles en buen estado para operación, como se muestra en la figura 8 a continuación:

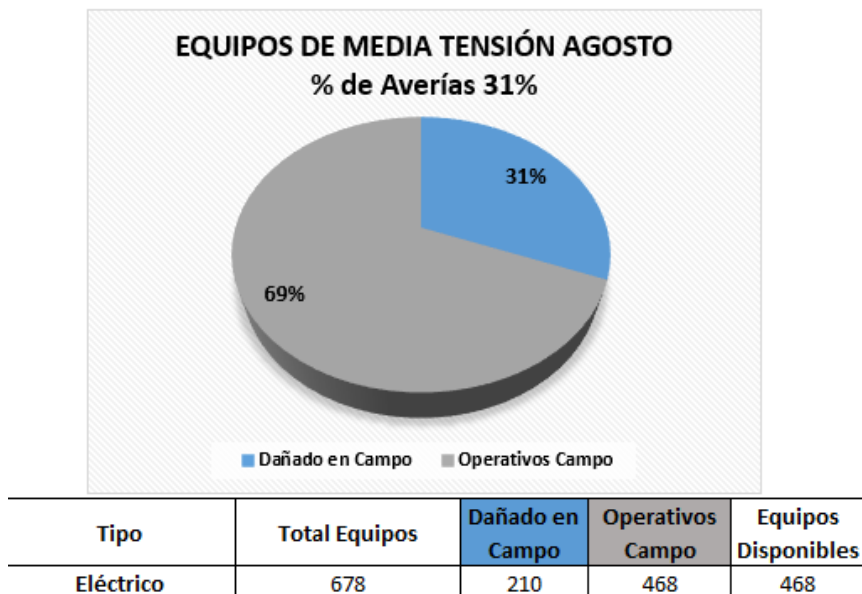


Figura 8. Gráfica de porcentajes para equipos de media tensión en el mes de agosto 2023. Fuente propia.

De igual manera, en el periodo de recolección de datos de los 90 días, el promedio de equipos de media tensión que presentó averías es de un 30% y el promedio de equipos que no presentó averías (equipos en buen estado) es de un 70%.

Entonces, mediante las figuras 6, 7 y 8 se puede evidenciar lo siguiente:

**Para el mes de junio:** los equipos operativos en campo fueron de un total de 480, los dañados en campo fueron 198.

- De los equipos dañados en campo se repararon: 198
- Se reparó la totalidad de los equipos dejando habilitados los 678 equipos en total.

**Para el mes de julio:** los equipos operativos en campo fueron de un total de 488, los dañados en campo fueron 190.

- De los equipos dañados en campo se repararon: 190
- Se reparó la totalidad de los equipos dejando habilitados los 678 equipos en total.

**Para el mes de agosto:** los equipos operativos en campo fueron de un total de 468, los dañados en campo fueron 210.

- De los equipos dañados en campo se repararon: 210
- Se reparó la totalidad de los equipos dejando habilitados los 678 equipos en total.

Cabe recalcar que los equipos de media tensión son equipos críticos para las operaciones, los cuales hay que atender con prioridad y dejar a la brevedad los equipos reparados para operación normal.

Se muestra en la tabla 2, el modelo de equipos para media tensión con los que se trabajan:

NOMBRES DE EQUIPOS	MARCA	MODELO	CAPACIDAD
TABLERO DE SECCIONADOR ALIMENTADOR	EATON	2B	13,8kV
TABLERO DE AIREADORES	CERTRONIC	TDS-2022A	13,8kV
TRANSFORMADORES	INATRA	TSF-FB-15T	100kVA
REGULADOR DE TENSIÓN MONOFÁSICO	TOSHIBA	GSW4182	13,8kV
CELDAS DE APERTURA Y CIERRE	EATON	2B	13,8kV
SECCIONADORES SECUNDARIOS	SCHNEIDER	F400X	13,8kV

*Tabla 2. Modelo de los equipos de media tensión. Fuente propia.*

Es importante destacar que las averías levantadas en este periodo de tiempo tanto para aireación eléctrica como para equipos de media tensión se deben a las siguientes causas encontradas:

- Cortocircuitos en los sistemas de media tensión.
- Mal cálculo de protecciones (tira fusibles y fusibles de media tensión).
- Crucetas en mal estado.
- Falta de mantenimiento por horas de uso según especificaciones del fabricante.
- Falta de una planificación de mantenimiento.
- Falta de recursos y materiales necesarios (control de stock).
- No existe una estructura clara de mantenimiento con personal idóneo para realizar las tareas.
- Falta de personal y habilidades técnicas necesarias.

### 3.6.2 Etapa 2: Restauración de las deterioraciones y mejoras

Según los datos recolectados en el levantamiento de la situación actual, se muestran los tipos de averías, las cantidades y los porcentajes de tipos de averías tanto en los equipos de aireación eléctrica como para los equipos de media tensión. A continuación, se explica la cantidad de fallas por tipo:

- **Fallas únicas:** Corresponden a los equipos que solo tuvieron una falla de un solo componente.

- **Fallas múltiples:** Corresponden a los equipos que tuvieron varios componentes deteriorados en un equipo.
- **Fallas combinadas:** Corresponden a los equipos que tuvieron componentes eléctricos y mecánicos con falla en un equipo.

Se presenta un detalle acumulado de los 90 días mostrado con anterioridad en la figura 2 para las fallas encontradas, donde están contempladas las fallas únicas, fallas múltiples y fallas combinadas.

En los aireadores eléctricos se encontraron distintos tipos de fallas, obteniendo un total de 2327 averías acumuladas como se muestra en la tabla 3 y en la figura 9 se observa el porcentaje según los tipos de fallas presentadas de los equipos de aireación. Se muestran a continuación ambas figuras:

<b>AIREACIÓN ELÉCTRICA</b>	
<b>FALLAS DE AIREACIÓN ELÉCTRICA</b>	<b>CANTIDAD</b>
MOTOR QUEMADO	400
CABLE EN MAL ESTADO	600
CONTACTOR QUEMADO	135
GUARDA MOTOR QUEMADO	52
CAPACITORES QUEMADOS	67
FUERA DE ANCLA	5
CAJA REDUCTORA	350
PALETAS FLOJAS	120
MATRIMONIO	213
TEMPLADOR	45
CARDAN ROTO	80
CRUCETA ROTA	134
EJE ROTO	96
PALETA ROTA	30
	<b>2327</b>

*Tabla 3. Tabla de 90 días de fallas para los equipos de aireación eléctrica. Fuente propia.*

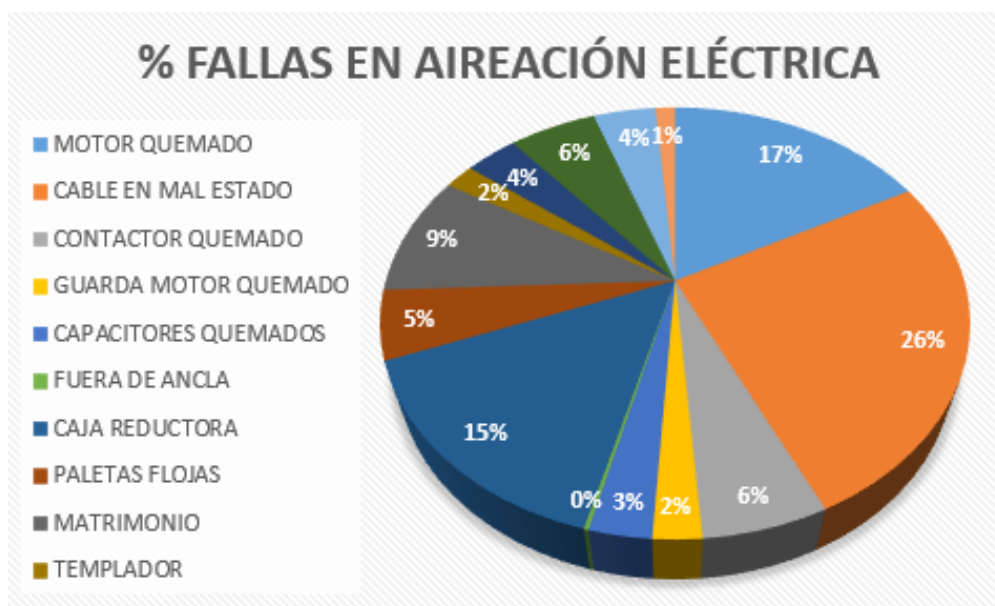


Figura 9. Porcentaje de 90 días de los tipos de fallas para los equipos de aireación eléctrica. Fuente propia.

En el sistema de media tensión se detalla mediante la tabla 4, el acumulado de averías durante el periodo de recolección de datos siendo un total de 908, y en la figura 10 se puede observar el porcentaje de fallas según la clasificación de los equipos de media tensión.

<b>FALLAS MEDIA TENSIÓN</b>	
<b>FALLAS ELECTRICAS</b>	<b>CANTIDAD</b>
SECCIONADORES ALIMENTACION	36
TRANSFORMADORES	12
REGULADOR DE TENSION MONO	0
CELDAS	480
SECCIONADORES SECUNDARIOS	180
POSTES	200
	<b>908</b>

Tabla 4. Tabla de 90 días de fallas para los equipos de media tensión. Fuente propia.

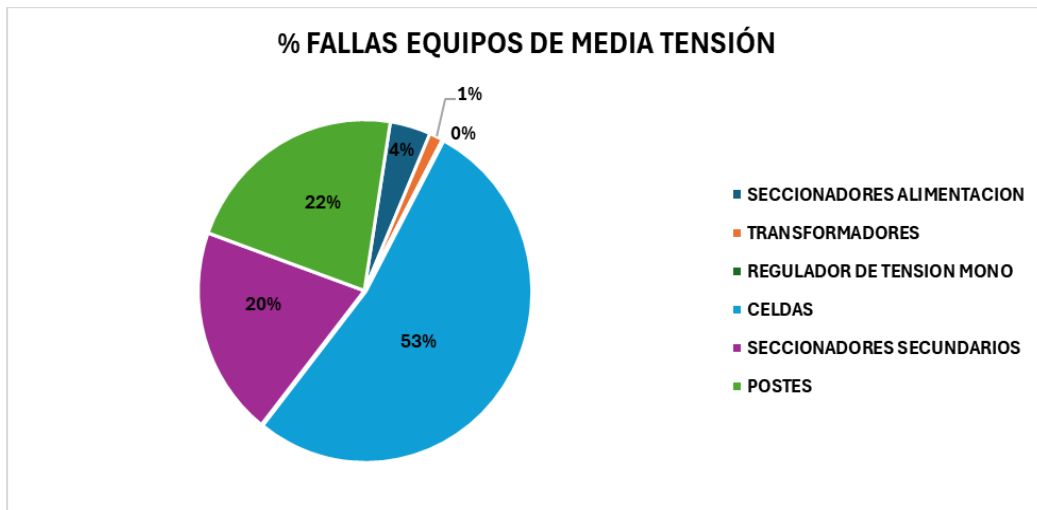


Figura 10. Porcentaje de 90 días de los tipos de fallas para los equipos de media tensión. Fuente propia.

Una vez realizado el levantamiento de la información según lo indica el pilar MP de la metodología TPM, se ha podido interpretar la información para poder desarrollar el presupuesto aproximado y poder proceder a la restauración integral de los equipos, donde se realizaron las siguientes acciones:

- Análisis de la estructura de mantenimiento

Se encontró una estructura de mantenimiento inadecuada para la implementación del sistema de mantenimiento, donde se realizó la estructura propuesta adecuada como se muestra en la figura 11:

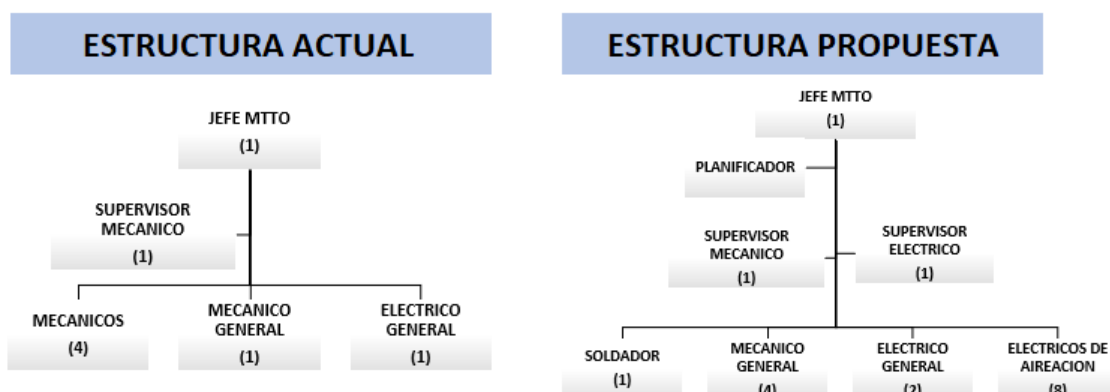


Figura 11. Estructura de mantenimiento actual vs propuesta para implementar el pilar de MP. Fuente propia.

- Inventario de herramientas

No se encontraron herramientas adecuadas, solo alicates y destornilladores en mal estado. Se muestra en la tabla 5, la solicitud realizada para adquisición y dotación de herramientas al personal:

INVENTARIO DE HERRAMIENTAS - TÉCNICOS DE MTO							
Nombre (C)	Fabricante (C)	Modelo (C)	Código	Unidad	Tipo	Clasificación 1	Ubicado en
CINTA METRICA PROFUNDIDAD PLOMADA		PARA MEDICION COMBUSTIBLE	00200500042	UNIDAD	HERRAMIENTA	MECANICA	ALM-ZT
MULTIMETRO			00200500015	UNIDAD	HERRAMIENTA	ELECTRICA	ALM-ZT
MACHINADORA		K (16-400)MM	00200700273	UNIDAD	HERRAMIENTA	HIDRAULICA	ALM-ZT
MACHINADORA	CAIMANTE	9000 LB	00200700272	UNIDAD	HERRAMIENTA	MECANICA	ALM-ZT
MACHINADORA		CABLE #16	00200700145	UNIDAD	HERRAMIENTA	ELECTRICA	ALM-ZT
PERTIGA TELESCOPICA ELECTRICA			00200700116	UNIDAD	HERRAMIENTA	ELECTRICA	ALM-ZT
PIINZA AMPERIMETRICA	UNIT	UT210E	00200700269	UNIDAD	HERRAMIENTA	ELECTRICA	ALM-ZT
TACOMETRO	MURPHY	12V	00200500009	UNIDAD	HERRAMIENTA	ELECTRICA	ALM-ZT
TACOMETRO DIGITAL	AMPROBE TACH20	SKF-TKRT10	00200500010	UNIDAD	HERRAMIENTA	ELECTRICA	ALM-ZT
TACOMETRO		ELECTRICO	00200500019	UNIDAD	HERRAMIENTA	ELECTRICA	ALM-ZT
TACOMETRO LASER			00200500020	UNIDAD	HERRAMIENTA	ELECTRICA	ALM-ZT
AMPERIMETRO PARA TABLERO 10X10	SCALA	0-300 AMP	00200700240	UNIDAD	HERRAMIENTA	ELECTRICA	ALM-ZT
DESTORNILLADOR DE GOLPE ESTRELLA			00200700217	UNIDAD	HERRAMIENTA	MECANICA	ALM-ZT
DESTORNILLADOR DE GOLPE PLANO			00200700216	UNIDAD	HERRAMIENTA	MECANICA	ALM-ZT
DETECTOR DE VOLTAJE DE MEDIA TENSION		275 HVD	00200700251	UNIDAD	HERRAMIENTA	ELECTRICA	ALM-ZT
INVERSOR DE VOLTAJE	VICTRON	24/120 V - 1500 W	00200700248	UNIDAD	HERRAMIENTA	ELECTRICA	ALM-ZT
PROBADOR DE CORRIENTE		LAPIZ 12V	00200700147	UNIDAD	HERRAMIENTA	ELECTRICA	ALM-ZT
PROBADOR DE CORRIENTE		LAPIZ 24V	00200700148	UNIDAD	HERRAMIENTA	ELECTRICA	ALM-ZT
DADO DE IMPACTO #60		MANDO 3/4	00201900295	UNIDAD	HERRAMIENTA	MECANICA	ALM-ZT
DADO EXAGONAL 21MM		MANDO 1/2	00201900205	UNIDAD	HERRAMIENTA	MECANICA	ALM-ZT
DADO LARGO 16MM	STANLEY	MANDO 1/2	00201900144	UNIDAD	HERRAMIENTA	MECANICA	ALM-ZT
DADO 1/2IN	STANLEY	MANDO 1/2	00201900244	UNIDAD	HERRAMIENTA	MECANICA	ALM-ZT
DADO 1/2IN	STANLEY	MANDO 3/8	00201900243	UNIDAD	HERRAMIENTA	MECANICA	ALM-ZT
DADO #10MM	STANLEY	MANDO 1/2	00201900184	UNIDAD	HERRAMIENTA	MECANICA	ALM-ZT
DADO #12MM	STANLEY	MANDO 1/2	00201900185	UNIDAD	HERRAMIENTA	MECANICA	ALM-ZT
DADO #24MM	STANLEY	MANDO 1/3	00201900157	UNIDAD	HERRAMIENTA	MECANICA	ALM-ZT

Tabla 5. Inventario de adquisición de herramientas necesarias para técnicos de mantenimiento. Fuente propia.

- Descripción de funciones por cargo

Se estableció una descripción adecuada de funciones por cargo, mostrada en la figura 12:

DESCRIPCIÓN DE TAREAS Supervisor aireacion			
<b>I. IDENTIFICACIÓN DEL CARGO</b>			
<b>Proceso:</b>	Supervisor	<b>Fecha última actualización:</b>	9/11/2024
<b>División:</b>	(Seleccione...)	<b>País/Región:</b>	Ecuador
<b>Cargo a quien report</b>	Supervisor		
<b>II. OBJETIVO DEL CARGO</b>			
Crear los respectivos PMP y planillas de control de los equipos asignados, monitorear, supervisar, controlar, planificar las tareas contenidas en los planes de mantenimiento, así como crear la estrategia 0 averías en sus equipos.			
<b>III. PRINCIPALES RESPONSABILIDADES (máx. 8)</b>			
1. Realizar el Mantenimiento Preventivo, Correctivo y planeado de los sistemas de aireación, mecánicos, eléctricos, Canguros, Rozadoras, vehículos de compañía. Así como los sistemas de control y fuerza eléctrica en aja tensión.			
2. Llevar el registro del horómetro de los equipos, control de combustible y estructurar los KPIs del departamento - PQCD5ME			
3. Mantener el aseo y limpieza del área del taller. 5S en taller.			
4. Informar cualquier daño de equipos y solicitar los repuestos necesarios a través de una orden de requisición al encargado de bodega.			
5. Cumplir con los procedimientos y políticas internas de Lanec Soporte en ejecución de proyectos implementados para control y monitoreo operativo.			
6. Participar activamente en grupos de trabajo para la implementación de la estrategia de mantenimiento para alcanzar 0 averías.			
7. Contribuir al desarrollo de habilidades del departamento			
8. Cumplir y aplicar lo indicado por el Reglamento interno vigente de Lanec, Código de ética, SHE, QA, INOCUIDAD, BPM, Security y TPM; respondiendo por la aplicación de buenas prácticas que generen condiciones favorables para el departamento en el desarrollo de sus funciones."			
<b>IV. RESPONSABILIDADES DEL SISTEMA</b>			

Figura 12. Matriz de descripción de tareas necesarias según los cargos. Fuente propia.

- Levantamiento de matriz de habilidades

Se realizó una matriz con las distintas competencias y habilidades necesarias que se requieren, como se aprecia en la figura 13:

	ID	HABILIDAD	IDEAL	TIPO DE EVALUACIÓN	Fase		
					TAA	TAA	TAA
					Sentena Calificación	Pañafold Calificación	Sabenda Calificación
HABILIDADES TÉCNICAS  HABILIDADES ESPECÍFICAS DEL PUESTO DE TRABAJO	1	Vibraciones	5	Práctico			
	2	Termografía	3	Práctico			
	3	Materiales de ingeniería (propiedades/tratamientos térmicos/tipos/aplicaciones)	3	Teórico			
	4	Principios Básicos de Termofluidos	2	Teórico			
	5	Neumática y Electroneumática	5	Práctico			
	6	Principios Básicos de Transferencia de Calor	4	Teórico			
	7	Sistema de Fijación (Pernos, tuercas, abrazaderas y sujetadores)	5	Práctico			
	8	Herramientas manuales	5	Práctico			
	9	Máquinas herramientas	5	Práctico			
	10	Soldadura oxiacetilénica	5	Práctico			
	11	Soldadura eléctrica por arco	5	Práctico			
	12	Sistema de Lubricación de las máquinas	5	Práctico			
	13	Ajustes y tolerancias	4	Práctico			
	14	Instalación y aplicación de sellos mecánicos	5	Práctico			
	15	Lógica de resolución de anomalías	5	Práctico			
	16	Rodamientos	5	Práctico			
	17	Reductores	5	Práctico			
	18	Sistema de control y trampas de Vapor	3	Teórico			
	19	Elementos de medición Presión, temperatura, caudal, peso	5	Práctico			
	20	Alineación de máquinas	5	Práctico			
	21	Ensayos no destructivos END	4	Práctico			

Figura 13. Matriz de habilidades y competencias necesarias para el sistema de mantenimiento. Fuente propia.

- Presentación y solicitud a la plana directiva para su análisis



Se logró obtener la aprobación del presupuesto propuesto, la cual fue de un total de \$650.000,00 para los aireadores eléctricos y un total de \$776.130,75 para los equipos de media tensión, así como la contratación de la nueva estructura para mantenimiento. Se muestra a continuación el presupuesto tanto para aireación eléctrica en la figura 14, gastos por horas de trabajo en la figura 15 y el presupuesto para los equipos de media tensión en la figura 16:

- Presupuesto aireación eléctrica

Detalle	Equipos actuales 2022										MANO DE OBRA				Inversión 2023	Ciclos
	Has Ps y Pc	Eléctrico	Total equipos actuales	HP x Has		Equipos Pres. 2023		Total equipos 2023		30	100	==> Equipos por personas		USD\$		
				2022	2023	Eléctrico	Total	Eléctricos	Total	Mecánicos Aireadores	Mecánico eléctricos	Operador de Aireadores	Total Personas			
Green F 1 y 2	484	441	533	4	4	110	110	551	551	0	6	6	165.000,00 \$	4,74		
Green F3	236	227	261	4	4	34	34	261	261	0	3	3	51.000,00 \$	4,74		
Malsa Taura	266	-	147	8	10	-	40	-	187	7	0	7	110.000,00 \$	5,13		
Algarrobocorp	108	72	112	4	4	40	40	112	112	0	2	2	60.000,00 \$	4,74		
<b>Taura</b>	<b>1.094</b>	<b>740</b>	<b>1.053</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>184</b>	<b>184</b>	<b>924</b>	<b>1.111</b>	<b>7</b>	<b>11</b>	<b>0</b>	<b>386.000,00 \$</b>			
Kazan	300	87	154	4,73	4,73	-	-	87	154	3	1	4	- \$	4,75		
Conchal	363	-	118	5	8	-	96	-	214	8	0	8	264.000,00 \$	4,75		
Campana 2	121	-	47	6,44	6	-	-	-	47	2	0	2	- \$	4,75		
Campana 3	490	-	138	4,57	6	-	-	-	138	5	0	5	- \$	4,75		
Estuario	1.274	87	457	5	6	-	96	87	553	18	1	0	19	264.000,00 \$		
Gramilesa	194	30	99	6	6	-	-	30	99	3	1	4	- \$	4,53		
Gramilesa 2	132	-	70	8	8	-	-	-	70	3	0	3	- \$	4,53		
Engungamar	478	-	183	6	6	-	-	-	183	7	0	7	- \$	4,53		
Costa	805	30	352	7	6	-	-	30	352	13	1	-	52	- \$		
<b>Total</b>	<b>3.173</b>	<b>857</b>	<b>1.405</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>184</b>	<b>280</b>	<b>1.041</b>	<b>2.016</b>	<b>20</b>	<b>12</b>	<b>-</b>	<b>70</b>	<b>650.000,00 \$</b>		

Figura 14. Cálculo de presupuesto para la restauración y mejora de los equipos de aireación eléctrica con un total de \$650.000,00. Fuente propia.

HORAS DIARIAS								
Dias iniciales sin aireación	Dias al año sin aireación	Promedio año	Invierno (Dic a Myo)	Verano	Energía eléctrica	Costo Mant.	Total Costo del aireador	C.D.H
15	71	15	16	14	501.503	90.502	592.005	3
15	71	15	16	14	237.554	42.869	280.423	3
15	77	15	16	14	-	148.967	1.045.627	11
15	71	15	16	14	101.939	18.396	120.335	3
					<b>840.996</b>	<b>300.734</b>	<b>2.038.390</b>	<b>5</b>
15	71	14	16	12	72.918	63.152	437.855	4
15	71	14	16	12	-	159.110	1.123.022	8
15	71	14	16	12	-	34.945	246.645	6
15	71	14	16	12	-	102.604	724.192	4
					<b>72.918</b>	<b>359.810</b>	<b>2.531.715</b>	<b>5</b>
15	68	14	16	12	25.429	55.901	395.643	6
15	68	14	16	12	-	52.045	370.914	8
15	68	14	16	12	-	136.061	969.674	6
					<b>25.429</b>	<b>244.008</b>	<b>1.736.230</b>	<b>6</b>
					<b>939.342</b>	<b>904.552</b>	<b>6.306.336</b>	<b>5</b>

Figura 15. Tabla de referencia para el cálculo de gastos según las horas de trabajo. Fuente propia.

- Presupuesto para equipos de media tensión

Presupuesto de Mantenimiento Media Tensión													
Compañías	Has (Piscinas y Preciás)	Renovación	Horas de Bombeo diaria (Ver anexo)	Mantenimiento de 13,8 kV				Mantenimiento de 13,8 kV				Energía eléctrica KW	
				Seccionadores	Postes	Celdas	Total	Reguladores	Transformadores	Tableros de Distribución			
Sanolmedo 1 Y 2	484	17%	12	15.129	28.500	6.704	50.333	35.458	16.725	52.183	187.496		
Sanolmedo Fase # 3	236	17%	11	7.008	15.200	3.201	25.409	16.416	9.361	25.777	113.264		
Taura	266	17%	13	11.625	13.000	3.885	28.510	25.280	5.985	31.265	54		
Algarrobocorp	108	17%	12	5.256	3.000	1.533	9.789	12.148	2.244	14.392	-		
<b>Total</b>	<b>3.173</b>			<b>39.018,50 \$</b>	<b>59.700,00 \$</b>	<b>15.322,75 \$</b>	<b>114.041,25 \$</b>	<b>89.302,36 \$</b>	<b>34.314,60 \$</b>	<b>123.616,96 \$</b>	<b>300.814,33 \$</b>		
											<b>776.130,75 \$</b>		

Figura 16. Cálculo de presupuesto para la restauración y mejora de los equipos de media tensión con un total de \$776.130,75. Fuente propia.

Una vez aprobado el presupuesto y los recursos solicitados, se estructuraron reuniones y capacitación al personal técnico y operativo donde se orientó a todo el equipo de mantenimiento para poder realizar las restauraciones de los deterioros y mejoras en los equipos de aireación eléctrica y media tensión. Además, se adquirieron 467 equipos nuevos de aireación en el mes de noviembre del 2023 debido a un incremento en la producción, se muestran a continuación la gestión de algunas de ellas:



Figura 17. Reuniones, charlas de orientación y capacitación al personal operativo y técnico. Fuente propia.

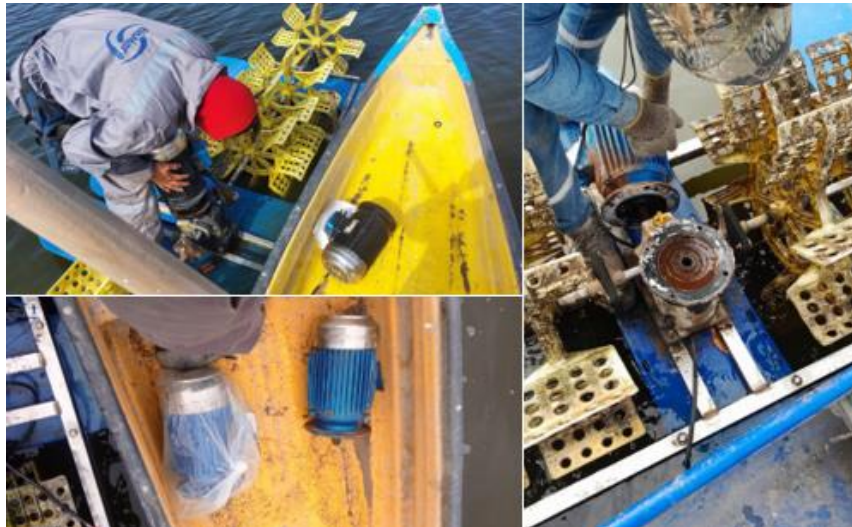


Figura 18. Reemplazo y ajuste de motor a los equipos de aireación eléctrica. Fuente propia.



*Figura 19. Ajuste de conexiones, cambio de contactores y guardamotores en tableros de control de aireación eléctrica. Fuente propia.*



*Figura 20. Restauración del suministro de energía en la parte superior de los postes en media tensión. Fuente propia.*



*Figura 21. Instalación de transformadores para una correcta tensión de corriente a los tableros de distribución. Fuente propia.*



*Figura 22. Reparación de los seccionadores en postes de alimentación en media tensión. Fuente propia.*



Figura 23. Retiro de maleza en los postes para evitar aterrizamiento de línea. Fuente propia.



Figura 24. Adquisición de 467 equipos nuevos de aireación eléctrica en el mes de noviembre del 2023. Fuente propia.

### 3.6.3 Etapa 3: Estructuración del control de informaciones y de datos

Una vez realizada la restauración de los deterioros y mejoras de los tipos de fallas en los equipos, esta etapa contempla las siguientes áreas:

- Control de repuestos en stock

Se realizó el control de repuestos que se debe tener por mes en el inventario (stock) para el cambio de piezas en los equipos de aireación eléctrica y media tensión.

Para la creación del stock, se lo realizó en base a los resultados obtenidos de la tabla 3 (averías de aireación eléctrica) y tabla 4 (averías de media tensión) donde se obtienen los componentes y números de piezas dañadas frecuentemente durante los 90

días de levantamiento, al dividirlo para tres se obtiene el total de repuestos que se necesitan por mes, adicional se le agregó un factor de seguridad que consiste en garantizar un adecuado inventario para cubrir cualquier imprevisto en la demanda, como el retraso en los tiempos de suministro y abastecimiento, el cual salió de un consenso en la reunión de directorio gerencial y se acordó un 5% de stock de seguridad.

A continuación, se muestra el control de stock en la figura 25 y se describe cada columna para su interpretación:

- **Repuestos:** Se consideraron las fallas para los equipos de aireación y las fallas para los equipos de media tensión.
- **Cantidad:** Las fallas totales de componentes y piezas durante los 90 días de levantamiento.
- **Factor de seguridad:** Un stock de seguridad es una cantidad extra para cumplir imprevistos y variaciones de avería.
- **Fallas por mes:** Los repuestos que se necesitan tener en stock por mes.
- **Stock de repuestos:** El stock que se debe tener por mes + el factor de seguridad del 5%, dando el stock de repuestos real que se debe tener por mes.

REPUESTOS	CANTIDAD	FACTOR DE SEGURIDAD	FALLAS POR MES	STOCK DE REPUESTOS	UNIDAD DE MEDIDA
MOTORES 3F 220V 3,5HP	400	5%	133	140	Unidad
CABLES 4X12 THHM SUMERGIBLE	600	5%	200	52500	Metros
CONTACTORES 3P 460V 4HP	135	5%	45	47	Unidad
GUARDA MOTORES 3P 460V 4HP	52	5%	17	18	Unidad
CAPACITORES 100uF 460V	67	5%	22	23	Unidad
TUBOS GALVANIZADO 2"	96	5%	32	34	Unidad
CAJA REDUCTORA ECUASINO	350	5%	117	123	Unidad
PALETA ECUASINO	120	5%	40	42	Unidad
MATRIMONIO ECUASINO	213	5%	71	75	Unidad
TEMPLADOR ECUASINO	45	5%	15	16	Unidad
CARDAN ECUASINO	80	5%	27	28	Unidad
CRUCETA ECUASINO	134	5%	45	47	Unidad
CAJA PORTAFUSIBLE 13,8kV	180	5%	60	63	Unidad
FUSIBLES 13,8kV 25A	416	5%	139	146	Unidad
TRANSFORMADORES 13,8kV 100KW	12	5%	4	4	Unidad
BOBINA DE ACCIONAMIENTO 220V EATON	240	5%	80	84	Unidad
CABLE 2/0 ALUMINIO	150	5%	50	53	Metros
CABLE 2/0 COBRE RECUBIERTO THHR	150	5%	50	53	Metros
AISLADORES DE MEDIA TENSIÓN	36	5%	12	13	Unidad
CRUCETA DE 3m GALVANIZADO	36	5%	12	13	Unidad

Figura 25. Control de repuestos por mes que se debe tener en stock. Fuente propia.

- Control de horas de reparación (MTTR)

Para poder controlar el tiempo en horas de las máquinas que tienen averías y están en reparación, el proceso comienza desde que el parametrista de producción reporta la parada del equipo hasta la entrega operativa del equipo por parte de mantenimiento, la cual se reporta inmediatamente en el grupo de mensajería instantánea.

Se evidenciará la fórmula para el cálculo y un ejemplo de ella a continuación:

$$MTTR = \frac{\textit{Tiempo total para reparación de todas las averías del período}}{\textit{Número de averías en el período}}$$

Ejemplo:

- Línea de con 6 máquinas
- Línea funcionó 500 horas operativas en el período
- Avería 1, tardó 2 horas en ser reparada
- Avería 2, tardó 5 horas en ser reparada
- Avería 3, tardó 1 horas en ser reparada
- Avería 4, tardó 2 horas en ser reparada
- Avería 5, tardó 7 horas en ser reparada

$$MTTR = \left(\frac{17}{5}\right) = 3,4 \textit{ horas}$$

El resultado se puede interpretar: los técnicos se tardan 3.4 horas en reparar los equipos.

- Tiempo medio entre fallas (MTBF)

Para realizar el control de cada cuánto tiempo un equipo fallará, se toman en cuenta las horas operativas de los equipos y el número de averías totales.

Se evidenciará la fórmula para el cálculo y un ejemplo de ella a continuación:

$$MTBF = \frac{\textit{Horas operativas}}{\textit{Número de averías}}$$



Ejemplo:

- Línea de con 6 máquinas
- Línea funcionó 500 horas operativas en el período
- Máquina 1, presentó 3 averías
- Máquina 2, presentó 2 averías
- Máquina 3, 4, 5 y 6 no presentaron ninguna avería

$$MTBF = \frac{500}{5} = 100 \text{ Horas}$$

El resultado se puede interpretar: cada 100 horas se presentan averías en los equipos.

- La disponibilidad de los equipos

Para el cálculo de la disponibilidad de los equipos se la realizará mediante la siguiente fórmula, donde:

✓ **Tiempo de carga:** Tiempo de trabajo de los equipos que se encuentran operando.

✓ **Tiempo muerto:** Tiempo total de paradas de los equipos por avería y mantenimiento.

$$\% \text{ Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo de carga} - \text{Tiempo muerto}}{\text{Tiempo de carga}} \times 100$$

Estos tres indicadores son de suma importancia para la evaluación de los resultados en la implementación del sistema de mantenimiento, lo cual se mostrarán más adelante en el análisis de resultados mediante tablas para todos los meses de gestión.

#### 3.6.4 Etapa 4: Estructuración del Mantenimiento Periódico

En esta etapa nos centraremos en la creación de los planes de mantenimiento y las planillas de inspección y control, mostradas a continuación:

- Creación del plan de mantenimiento preventivo (TBM)

En el plan visual de mantenimiento macro mostrado en la figura 26, encontraremos la totalidad de equipos de la unidad de negocio, donde se contiene el nombre de cada equipo, el responsable y el tipo de mantenimiento por periodo ya sea mensual, trimestral, semestral y anual para todos los meses y días del año. El planificador de mantenimiento lo revisa de manera diaria para poder realizar la planificación de actividades según el plan de mantenimiento preventivo (PMP) correspondiente a cada equipo.

A continuación, se muestra en la figura 26 el plan visual de mantenimiento macro de la unidad de negocio:

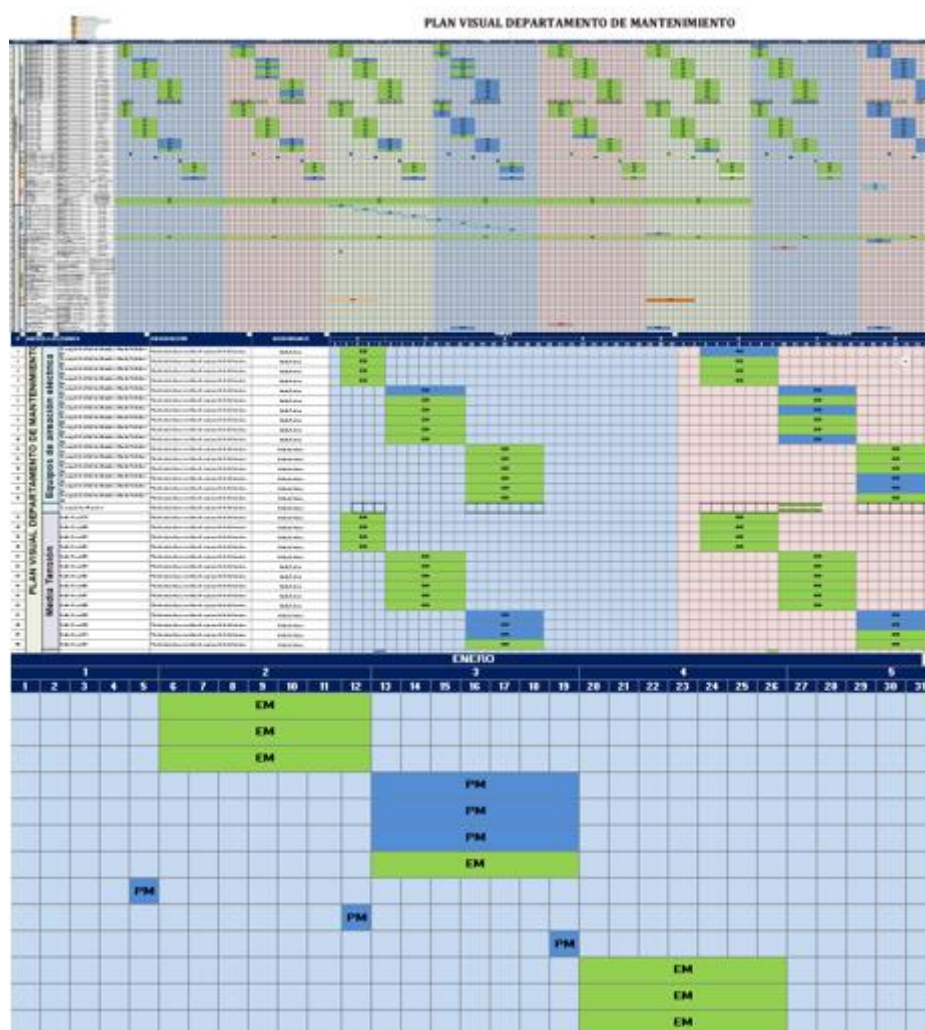


Figura 26. Plan visual de mantenimiento macro para todos los meses y días del año. Fuente propia.

Una vez analizado y verificado en el plan visual de mantenimiento macro de la unidad de negocio, se escogerá de manera independiente el plan de mantenimiento preventivo específicamente para el tipo de equipo que se analizó, ya sea para equipos de aireación eléctrica o equipos de media tensión. Se muestra a continuación en la figura 27 un ejemplo del plan de mantenimiento preventivo específicamente para los aireadores eléctricos:

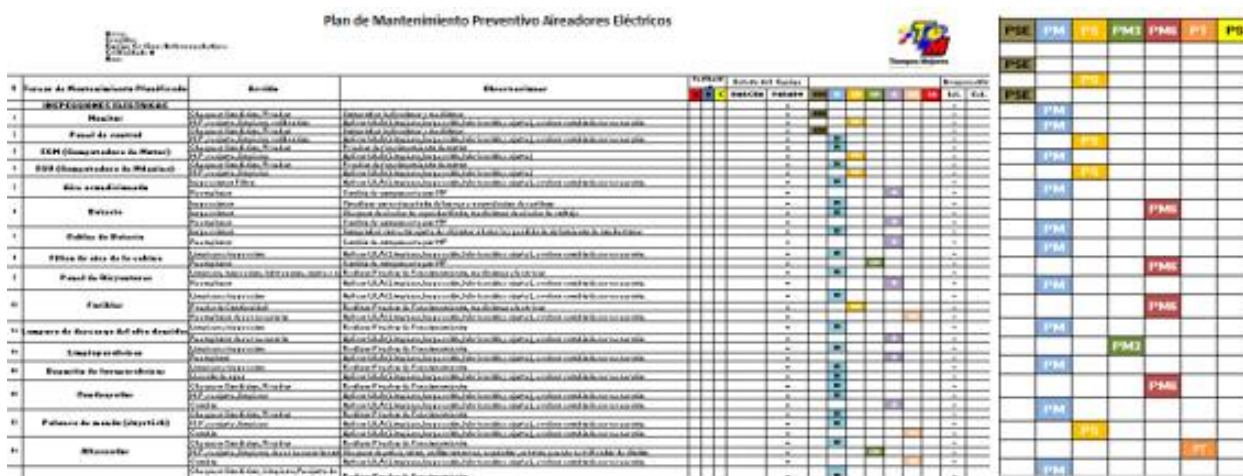


Figura 27. Plan de mantenimiento preventivo para los aireadores eléctricos. Fuente propia

Después de haber validado la información en el plan de mantenimiento específico para el tipo de equipo a intervenir (aireación eléctrica o media tensión). Se muestra a continuación en la figura 28, la referencia mediante un código de colores (nomenclaturas) creado para denotar a través de una comunicación visual el tipo de frecuencia de mantenimiento a realizarse (mensual, trimestral, semestral o anual):

<b>PSE</b>	Programado Semanal
<b>PM</b>	Programado Mensual
<b>PM3</b>	Programado Según PMP Trimestral
<b>PM6</b>	Programado Según PMP Semestral
<b>PT</b>	Programado Trimestral
<b>PS</b>	Programdo Semestral
<b>PA</b>	Programado Anual
<b>EM</b>	Ejecutado Mensual
<b>ET</b>	Ejecutado Trimestral
<b>ES</b>	Ejecutado Semestral

*Figura 28. Nomenclaturas del tipo de mantenimiento a realizarse. Fuente propia.*

- Creación de planillas de inspección y control

Finalmente escogida la nomenclatura según la frecuencia de tiempo, se procede a descargar el PMP de la nomenclatura correspondiente, donde se obtienen las planillas de inspección y control. En las cuales encontraremos los estándares de inspección y tareas a realizar para el mantenimiento.

En las planillas se pueden evidenciar las acciones y tareas específicas de mantenimiento que se debe realizar para cada equipo como: limpieza, calibración, lubricación, inspecciones, mediciones, entre otros.

Se muestran a continuación algunas planillas de acción y tareas para el mantenimiento de los equipos:



DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO  
REGISTRO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO TRIMESTRAL

SECCION:		FECHA DE INICIO:		PROXIMA FECHA DE INICIO:			
AREA:		HORA DE ENTREGA:		TECNICO:			
EQUIPO:		BOBINA:		OPERADOR:			
ITEM	Parte del equipo	Acción	Estado del Equipo		Ejecución	Estado	Observaciones
			Marcha	Parada			
1	Fusibles						
2	Motor						
3	Sensor de nivel de liquido						
4	Sensor de presión						
5	Sensor de Velocidad						
6	Engranaje de rotación						
7	Interruptor de arranque						

Figura 29. Planilla de acciones de mantenimiento con frecuencia trimestral. Fuente propia.

CHECKLIST DE EQUIPOS DE AIREACION												
Prestamo:		Estado		Fecha:								
Num motores:		SI	NO	TOTAL	Defectu	Balance	Flejes	Rotura	Manejo	Fugas de	Fugas de	Revisión
					en	en			de	de	de	
<b>Limpieza e Inspección</b>												
1	El escopete se encuentra en buen estado?											
2	El depurador está en buen estado?											
3	El eje de palanaje está en buen estado?											
4	El sistema de palanaje posee 14 palanajes en buen estado?											
5	El radiador posee nivel óptimo?											
6	La tensión de la banda del ventilador es óptima?											
7	La banda del ventilador está en buen estado?											
8	Las aletas del ventilador están en buen estado?											
9	La cañería de diesel está sin rastro de combustible?											
10	Manguera de tanque-filtro está en buen estado?											
11	Manguera de filtro-bomba está en buen estado?											
12	Manguera de retorno está en buen estado?											
13	El caso de filtro de combustible está sin rastro de combustible?											
14	La bomba de combustible está sin rastro de combustible?											
15	La cañería de presión de aceite está sin rastro de aceite?											
16	El retenedor de manivela está sin rastro de aceite?											
17	El retenedor de paleta de aceleración está en buen estado?											
18	El retenedor de eje de salida del motor está sin rastro de aceite?											
19	El retenedor de cigüeñal está sin rastro de aceite?											
20	La tapaválvula está sin rastro de aceite?											
21	El ring del eje de balancines posee fuga de aceite?											
22	El retenedor de eje de salida de la caja está sin rastro de aceite?											
23	La tensión de la banda del volante es óptima?											
24	La banda del volante está en buen estado?											
<b>Lubricación</b>												
25	Las crucetas poseen grasa en buen estado?											
26	Las crucetas poseen la cantidad de grasa adecuada?											
27	Las chumacetas poseen grasa en buen estado?											
28	Las chumacetas poseen la cantidad de grasa adecuada?											
29	El nivel de aceite del motor es óptimo?											
30	El nivel de aceite de la caja es óptimo?											
<b>Ajuste</b>												
31	El perno del depurador posee ajuste correcto?											
32	El perno del escopete posee ajuste correcto?											
33	El conjunto de pernos de bomba posee el ajuste correcto?											
34	El conjunto de pernos de la cruceta posee el ajuste correcto?											
35	El abrazadera de manguera de tanque-filtro posee el ajuste correcto?											
36	El abrazadera de manguera de filtro-bomba posee el ajuste correcto?											
37	El abrazadera de manguera de retorno posee el ajuste correcto?											
38	El perno tipo ojo de la bomba posee ajuste correcto?											
39	El inyector posee el ajuste correcto?											
40	El perno de la tapaválvula posee ajuste correcto?											
41	El perno de anclaje de motor posee el ajuste correcto?											
42	El perno de anclaje del reductor posee el ajuste correcto?											

Especialista

Planificador

Figura 30. Check list de inspección de equipos de aireación eléctrica. Fuente propia.

ESTÁNDAR DE INSPECCIÓN TÉCNICA CONDICIÓN DE EQUIPOS DE MEDIA TENSIÓN

ESTADO		FECHA DE EJECUCIÓN DEL EQUIPO: EJECUCIÓN SEMANA	FRECUENCIA:	EQUIPO:	CRO-MPT SUB ESTACIÓN			
MES: SEPTIEMBRE 2023		Sesión		Mecanismo				Elaborado de
SUB ESTACIÓN								
IDM	Punto	DESCRIPCIÓN		Semana. 022	Semana. 023	Semana. 024	Semana. 025	
<b>MANTENIMIENTO INTEGRAL BAJA TENSIÓN</b>								
1		Limpieza, ajuste de anclaje, de todos los aseguradores de todos los tableros del lado de baja tensión.						
2		Limpieza integral de todos los tableros.						
3		Ajuste de aseguradores de los disyuntores principales						
<b>INSPECCIÓN INTEGRAL MEDIA TENSIÓN</b>								
4								
5		Revisión de disyuntor de SPE a 15,8 KV principal.						
6		Revisión pararrayos de pararrayos fijas de gas de SPE						
7		Control de la presión permanente del gas						
8		Prueba de aislamiento con megger de 15KV en cada uno de sus polos						
<b>BANCO DE CAPACITORES</b>								
9								
10		Revisión de estado de capacitores						
11		Limpieza, ajuste de los aseguradores						
<b>HALLA DE PRESTA A TIERRA</b>								
12								
13		Revisión de una suscripción, medición de la resistencia efectiva de la malla.						
14	MEDIA TENSIÓN	Llave de analizador de parafusos y anclajes ajustados						
<b>CELDA DE TRANSFERENCIA A 12,8V</b>								
15								
16		Limpieza general de los aisladores, en ajuste de aseguradores						
17		Revisión y calibración de amperímetros						

Figura 31. Estándar de inspección para equipos de media tensión. Fuente propia.

Posteriormente cada técnico entrega la respectiva planilla diligenciada y ejecutada al supervisor, el cual valida la información y la entrega al planificador para su respectivo registro. Se muestran algunas inspecciones en la figura 32 y la figura 33 a continuación:



*Figura 32. Inspecciones con planillas para media tensión. Fuente propia.*



*Figura 33. Inspecciones con planillas para aireación eléctrica. Fuente propia.*

Cabe resaltar, que la información para estructurar el plan de mantenimiento preventivo, así como el detalle de las planillas de inspección, revisión y cambio de componentes, se obtiene de la experiencia de los técnicos y de los manuales de operación de cada equipo proporcionado por el fabricante, es decir, las fichas técnicas que vienen en cada equipo.

### 3.6.5 Etapa 5: Estructuración del Mantenimiento Predictivo

La actividad de mantenimiento predictivo consiste en buscar prever los fallos en base a técnicas de inspección y diagnóstico, en la cual se incluyen herramientas especiales para ser incluidas en los estándares de inspección, permitiendo el uso de estas herramientas hasta el final de la vida útil de los equipos de aireación y media tensión. Se describen las herramientas especiales que se utilizaron en esta etapa:

- Cámara termográfica para medir los puntos calientes para sistemas eléctricos de media y baja tensión.
- Acelerómetro para medir las vibraciones en las máquinas.
- Multímetro para medir el voltaje, resistencia y continuidad en los sistemas eléctricos.
- Amperímetro para medición de sistemas eléctricos.
- Medidor de energía para los postes de media tensión.
- Tacómetro para medición de las revoluciones por minuto (RPM).
- Megger para medición de aislamientos en motores eléctricos reductores.
- Telurómetro para medir resistencia de una malla puesta a tierra y resistividad de los terrenos.

A continuación, se muestra la utilización de las herramientas en la gestión de mantenimiento de algunas de ellas:





*Figura 34. Megger para medir aislamiento en motores eléctricos reductores. Fuente propia.*



*Figura 35. Amperímetro para medición en sistemas eléctricos. Fuente propia.*

















Figura 36. Medidor de media tensión para comprobación de fluido de energía en postes. Fuente propia.









Figura 37. Telurómetro para medir la resistencia de puesta a tierra. Fuente propia.

Para las herramientas especiales, se implementaron planillas de inspección que incluyeron mediciones con dichas herramientas, las cuales fueron incluidas y modificadas en los planes de mantenimiento. Se muestra a continuación un ejemplo en la figura 38:

Estándar de Mantenimiento Predictivo		Grupo Nows:		Líder:											
INSPECCIÓN		Administradores:													
Equipo:		Estándar N°:													
		Fecha de validez:													
Chequeo del equipo															
N°	Pieza	Método	Herramienta	Estándar	Cantidad	Acción de alarmas	EPP	Tiempo (min)	Intervalo					Responsable	
									T	D	S	Q	M		3M
															
															
															
															
															
															
															

Referencias de intervalo	T	D	S	Q	M	3M
	cada turno	diario	semanal	quincenal	mensual	trimestral
						







	Telurómetro		Amperímetro		Comprobador de energía
	Tacómetro		Multímetro		Megger

Figura 38. Planilla de inspección con herramientas especiales para el plan de mantenimiento. Fuente propia.

## CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.1 Etapa 6: Evaluación del Mantenimiento Planificado

#### 4.1.1 Presentación de Resultados

Se mostrará la evolución de los resultados desde el levantamiento de la información de los primeros 90 días (junio, julio y agosto del 2023) hasta la ejecución del sistema de mantenimiento (septiembre, octubre y noviembre del 2024), en el cual se evidencia la reducción de averías por mes. La estructuración de los indicadores del pilar de mantenimiento planificado que se mostrarán en este apartado es: MTTR, MTBF y la disponibilidad de los equipos.

Se muestra un resumen de lo realizado durante la implementación del sistema de mantenimiento y la duración de cada una de las etapas:

- **Etapa 1:** Evaluación y levantamiento de la situación actual (junio-julio-agosto 2023)

Durante la etapa 1, se encontró que existe un 40% de averías en los equipos de aireación y un 30% de averías en los equipos de media tensión, los mantenimientos que se realizaban eran de forma correctiva, es decir, mantenimientos de post-avería, el personal con contaba con herramientas necesarias para los mantenimientos, existía un mal control de stock en el abastecimiento de repuestos, ineficiente planificación y organización, el personal no tenía las competencias y habilidades necesarias de formación.

- **Etapa 2:** Restauración de los deterioros y mejoras en los equipos (septiembre-octubre-noviembre 2023)

Durante la etapa 2, se hizo la solicitud del presupuesto el cual fue de \$1.426.130,75 a la plana directiva para su posterior aprobación, el levantamiento y modificación fue realizado en conjunto con el departamento de compras y auditoría interna. Se propuso una nueva estructura de mantenimiento con el aumento de los once HeadCount, donde se crearon jornadas diurnas y nocturnas, se capacitó y se dotó de herramientas al personal técnico y operativo para mejorar sus habilidades en los mantenimientos y orientarlos al nuevo sistema de implementación, posteriormente se procedió con la restauración de las averías encontradas en los primeros meses de levantamiento en una empresa de producción camaronera en la provincia del Guayas sector Taura.

- **Etapa 3:** Estructuración del control de informaciones y de datos (diciembre 2023-enero 2024)

Durante la etapa 3, se realizó la creación del stock de repuestos que se debe tener siempre en el inventario para los mantenimientos. También se hizo la estructuración y presentación de los indicadores al personal de mantenimiento para su posterior evaluación.

- **Etapa 4:** Estructuración del Mantenimiento Periódico (febrero-marzo-abril-mayo 2024)

Durante la etapa 4, se levantaron los planes de mantenimiento tanto para los equipos de aireación eléctrica como para media tensión, donde se crearon las planillas de inspección y control con sus respectivas frecuencias, creando los estándares de limpieza, lubricación y ajustes. Además, el control de ejecución de cada plan de mantenimiento por parte de los supervisores.

- **Etapa 5:** Estructuración del Mantenimiento Predictivo (junio-julio-agosto 2024)

Durante la etapa 5, se empezaron a usar herramientas especiales para los mantenimientos predictivos, donde se realizó la modificación de las planillas de inspección y los estándares para el uso de las mismas.

Se muestra a continuación en la figura 39, la línea de tiempo de todo el sistema, desde el estado actual de los equipos, restauración, implementación del sistema de mantenimiento hasta la evaluación de la misma:

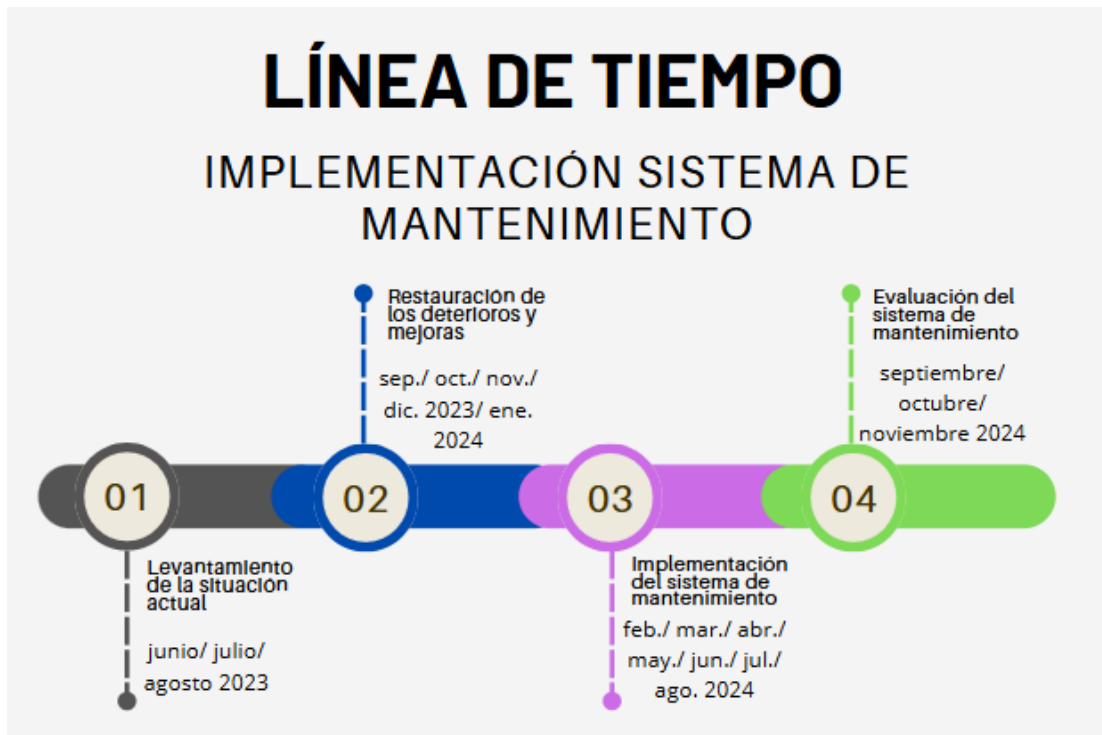


Figura 39. Línea de tiempo de la implementación del sistema de mantenimiento. Fuente propia.

Hasta agosto del 2024 se culminó con todas las etapas del pilar, y se hará un comparativo con los 90 días iniciales (junio, julio y agosto 2023) vs los 90 días finales (septiembre, octubre y noviembre 2024) donde ya se encuentra implementado el sistema de mantenimiento en su totalidad.

## INDICADORES AIREACIÓN ELÉCTRICA

### PORCENTAJE DE DISPONIBILIDAD

Para el análisis de la disponibilidad, este indicador nos dice el porcentaje de equipos que están operativos, es decir, los equipos que se encuentran en buen estado funcionando. Se muestra a continuación el resultado del cálculo de disponibilidad en la figura 40 y la descripción para su interpretación:

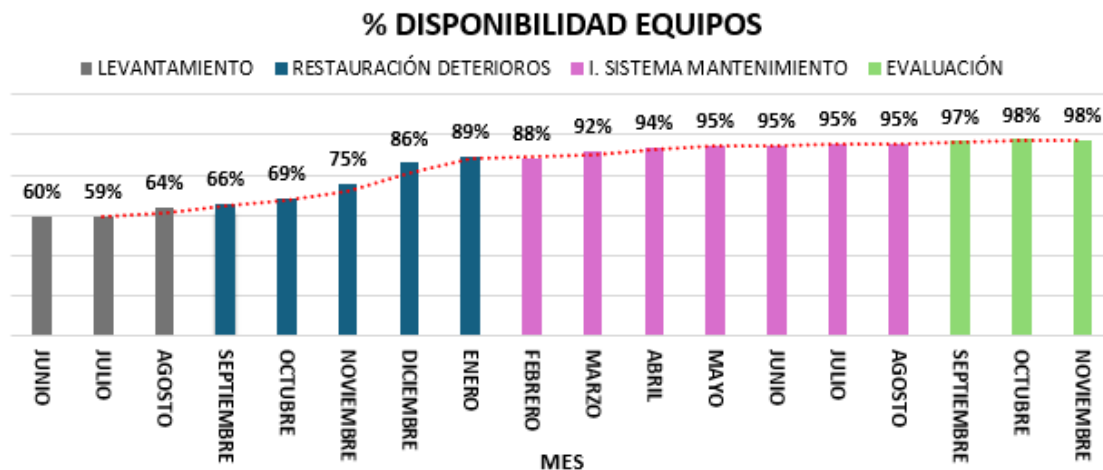


Figura 40. Porcentaje de disponibilidad por mes, desde junio 2023 hasta noviembre 2024. Fuente propia.

Según la figura 40, para los 3 primeros meses (junio, julio y agosto), que se cuenta con 733 equipos de aireación eléctrica que son mostrados en las figuras 3, 4 y 5, donde para el mes de junio hubo un 40% de averías que equivale a un 60% de disponibilidad, para el mes de julio hubo un 41% de averías que equivale a un 59% de disponibilidad y para el mes de agosto hubo un 36% de averías que equivale a un 64% de disponibilidad, lo que se puede interpretar que había un promedio del 40% de averías y un 60% de disponibilidad en los equipos de aireación eléctrica, dando una alta cantidad de fallas por mes. Después de la implementación del sistema de mantenimiento se realizó la evaluación para los 3 últimos meses (septiembre, octubre y noviembre), que se cuenta con 1200 equipos de aireación eléctrica ya que en el mes de noviembre del 2023 por aumento de producción se adquirieron 467 equipos nuevos mostrados en la figura 24. Para el mes de septiembre hubo un 3% de averías que equivale a un 97% de disponibilidad en los equipos de aireación, para los meses de octubre y noviembre hubo un 2% de averías que equivale a un 98% de disponibilidad en los equipos de aireación, mostrando la tendencia de crecimiento en los porcentajes de disponibilidad para cada mes, lo cual se puede interpretar que el porcentaje de disponibilidad ha aumentado significativamente y a su vez se cuenta con más equipos operativos en buen estado.

## TIEMPO PROMEDIO ENTRE FALLAS (MTBF)

Para el análisis del tiempo promedio entre fallas (MTBF), este indicador nos dice que mientras mayor sea el número de horas, significa que pasará un mayor transcurso de tiempo para tener la siguiente avería, es decir, el promedio de tiempo entre una avería y la otra, para lo cual, se tendrá menos averías en los equipos. Se muestra a continuación el resultado del cálculo del MTBF en la figura 41 y la descripción para su interpretación:

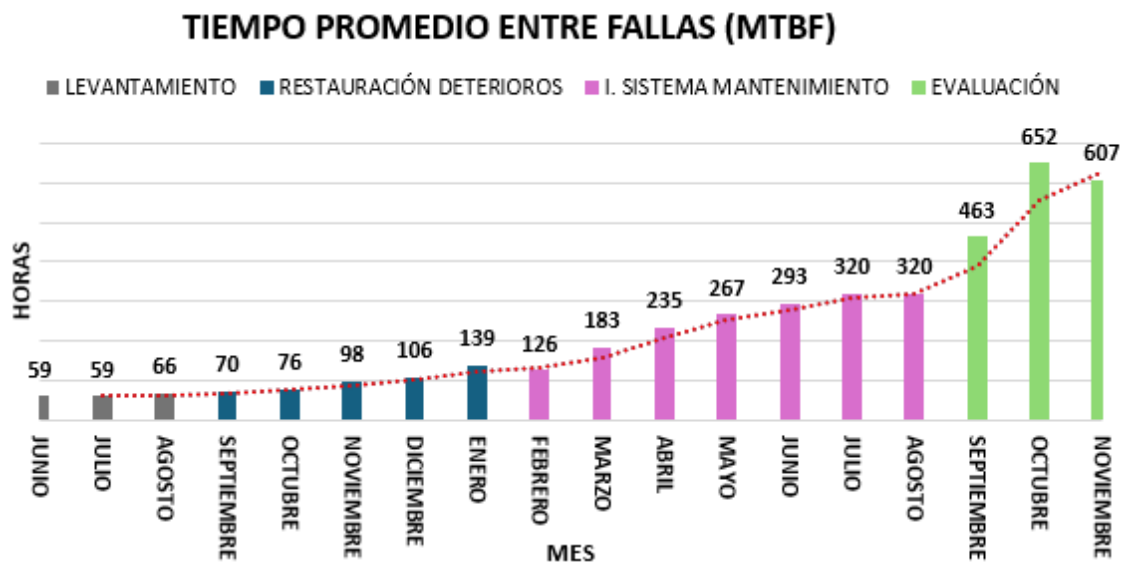


Figura 41. Cálculo del tiempo promedio entre fallas (MTBF) para todos los meses de gestión. Fuente propia.

Según la figura 41, para los 3 primeros meses (junio, julio y agosto), las averías se presentaban de forma recurrente en un periodo corto de tiempo. Para los meses de junio y julio cada 59 horas se presentaban averías y para el mes de agosto cada 66 horas se presentaban averías. Después de la implementación del sistema de mantenimiento se realizó la evaluación para los 3 últimos meses (septiembre, octubre y noviembre), siendo para el mes de septiembre se presentan averías cada 463 horas, para el mes de octubre se presentan averías cada 652 horas y para el mes de noviembre se presentan averías cada 607 horas, pudiendo evaluar la presencia de averías en un



periodo de tiempo más amplio, lo que significa que alargamos las horas entre una avería y la otra.

### TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR (MTTR)

Para el análisis del tiempo promedio para reparar (MTTR), este indicador nos dice el tiempo en que se tarda en reparar los equipos, lo que significa, las horas totales que me toma reparar. Se muestra a continuación el resultado del cálculo del MTTR en la figura 42 y la descripción para su interpretación:

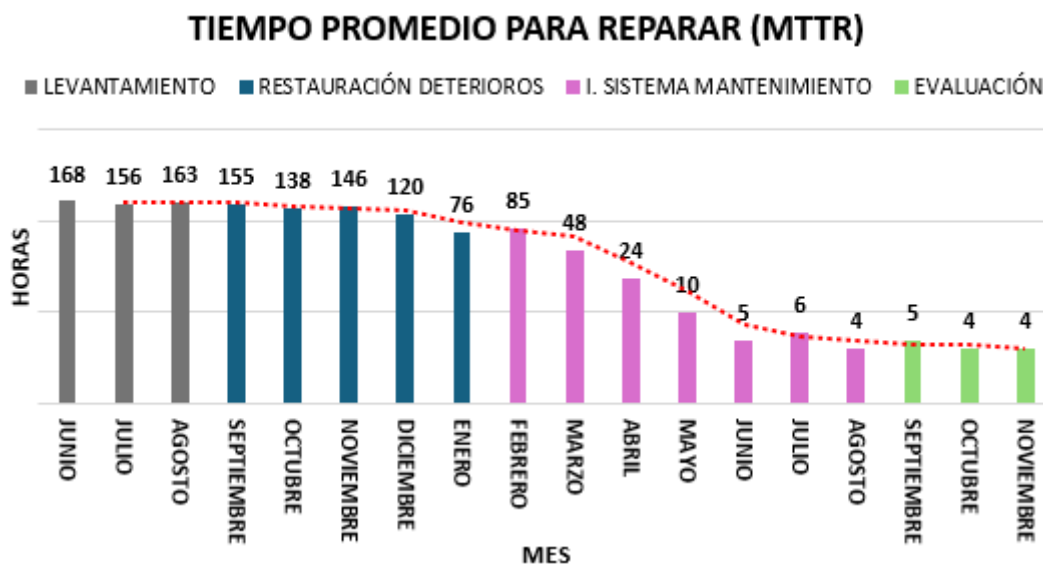


Figura 42. Cálculo del tiempo promedio para reparar (MTTR) para todos los meses de gestión. Fuente propia.

Según la figura 42, para los 3 primeros meses (junio, julio y agosto), los técnicos tardaban en reparar los equipos de aireación por mes, para el mes de junio se tomaba 168 horas para reparación, julio tomaba 156 horas y para el mes de agosto 163 horas en que los técnicos se tardaban en reparar los equipos de aireación, lo cual evidencia el alto índice de horas que se necesitaban para reparar los equipos. Después de la implementación del sistema de mantenimiento se realizó la evaluación para los 3 últimos meses (septiembre, octubre y noviembre) se obtuvo una mejora significativa, como se puede evidenciar en el mes de septiembre toma 5 horas y para los meses de octubre y

noviembre toma 4 horas para que los técnicos reparen los equipos de aireación por mes, obteniendo así, una tendencia positiva con la disminución de las horas para reparación, lo cual contribuye en la habilitación oportuna de los equipos para tenerlos en operación.

## INDICADORES MEDIA TENSIÓN

### PORCENTAJE DE DISPONIBILIDAD

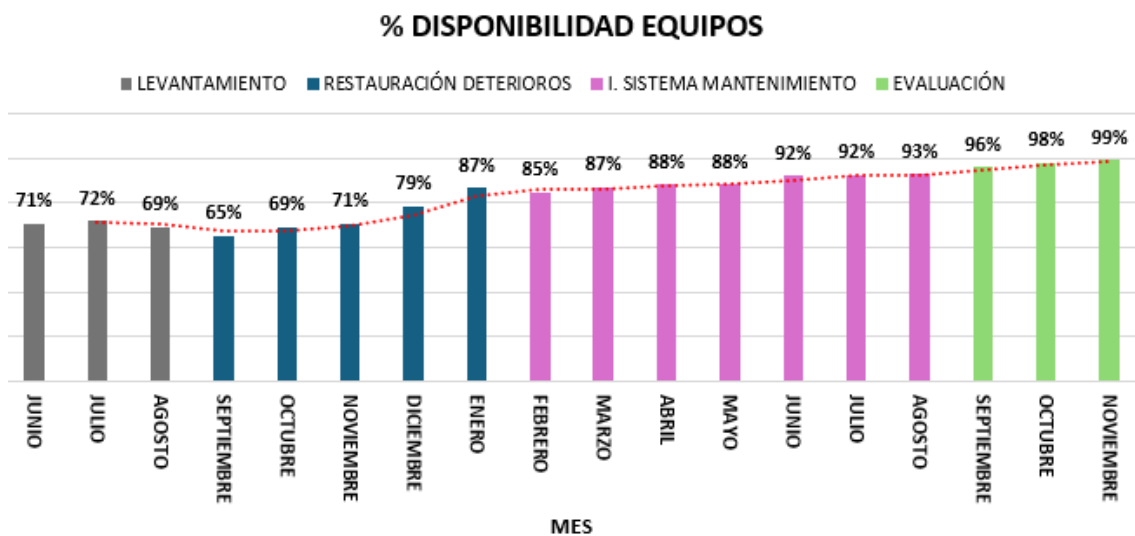


Figura 43. Porcentaje de disponibilidad por mes, desde junio 2023 hasta noviembre 2024. Fuente propia.

Según la figura 43, para los 3 primeros meses (junio, julio y agosto), donde para el mes de junio hubo un 29% de averías que equivale a un 71% de disponibilidad, para julio hubo un 28% de averías que equivale a un 72% de disponibilidad y para agosto hubo un 31% de averías que equivale a un 69% de disponibilidad, siendo así, que para la etapa de levantamiento hubo un promedio del 30% de averías y un 70% de disponibilidad en los equipos de media tensión. Una vez realizada la implementación del sistema de mantenimiento se procedió con la evaluación para los 3 últimos meses (septiembre, octubre y noviembre), donde se obtuvo para el mes de septiembre un 4% de averías que equivale a un 96% de disponibilidad, para octubre un 2% de averías siendo un 98% de disponibilidad y para noviembre se obtuvo un 1% de averías que equivale a un 99% de disponibilidad en los equipos de media tensión, mostrando la

tendencia de crecimiento en los porcentajes de disponibilidad para cada mes, lo cual se puede interpretar que el porcentaje de disponibilidad ha aumentado significativamente y a su vez se cuenta con más equipos operativos en buen estado.

**TIEMPO PROMEDIO ENTRE FALLAS (MTBF)**

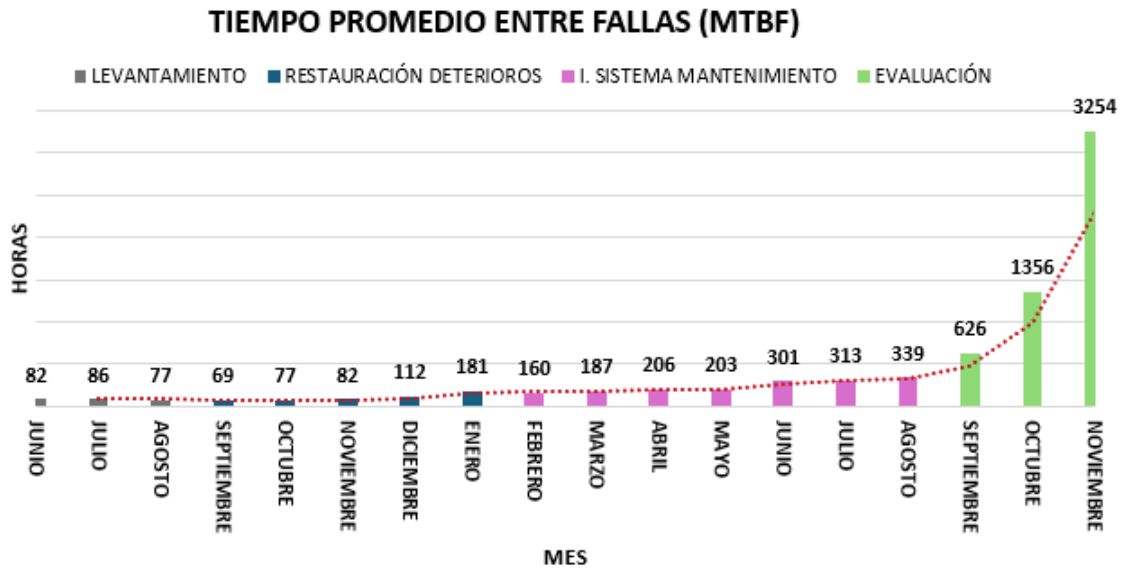


Figura 44. Cálculo del tiempo promedio entre fallas (MTBF) para todos los meses de gestión. Fuente propia.

Según la figura 44, para los 3 primeros meses (junio, julio y agosto), las averías se presentaban de forma recurrente en un periodo corto de tiempo para los equipos de media tensión. Para el mes de junio cada 82 horas se presentaban averías, para julio cada 86 horas y para el mes de agosto cada 77 horas se presentaban averías. Después de la implementación del sistema de mantenimiento se realizó la evaluación para los 3 últimos meses (septiembre, octubre y noviembre), siendo para el mes de septiembre se presentan averías cada 626 horas, para octubre se presentan averías cada 1356 horas y finalmente se obtuvo para noviembre 3254 horas en que se presente la siguiente avería, es decir se duplicaron las horas por la disminución significativa de los equipos parados o averiados, pudiendo evaluar la presencia de averías en un periodo de tiempo más amplio, lo que significa que alargamos las horas entre una avería y la otra.

TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR (MTTR)

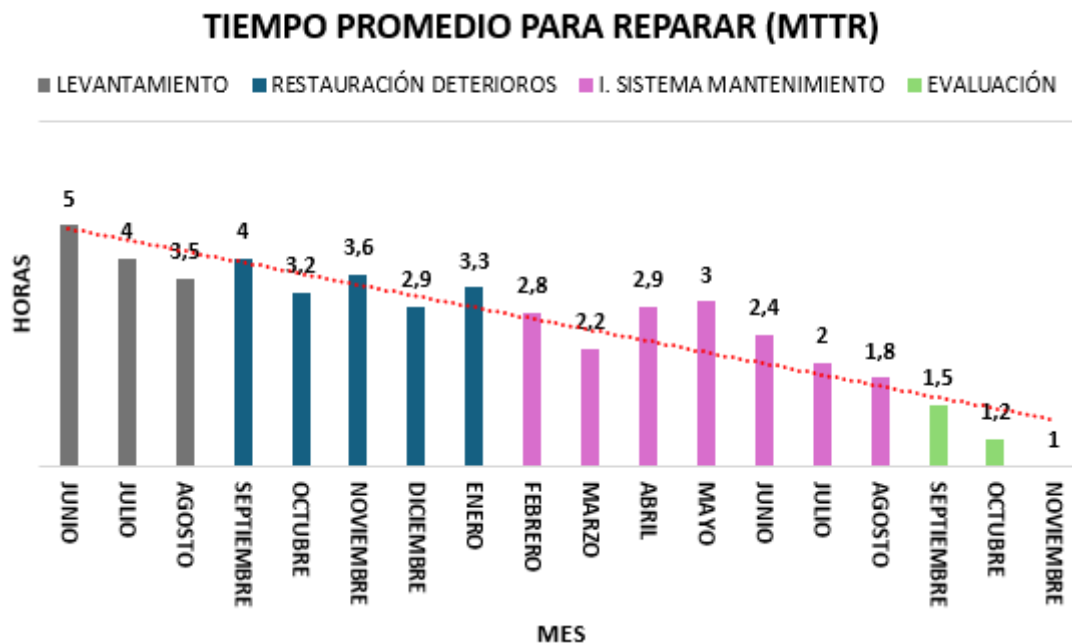


Figura 45. Cálculo del tiempo promedio para reparar (MTTR) para todos los meses de gestión. Fuente propia.

Según la figura 45, para los 3 primeros meses (junio, julio y agosto), los técnicos se tardaban en reparar los equipos de media tensión por mes, para el mes de junio se tomaba 5 horas para reparación, julio tomó 4 horas y para el mes de agosto 3.5 horas en que los técnicos se tardaron en reparar los equipos de media tensión, lo cual evidencia la prioridad que se da para reparar los equipos, considerando que son equipos de media tensión siendo estos críticos para la operación y funcionamiento de los demás sistemas. Después de la implementación del sistema de mantenimiento se realizó la evaluación para los 3 últimos meses (septiembre, octubre y noviembre) se obtuvo una mejora significativa, como se puede evidenciar en el mes de septiembre toma 1.5 horas, para octubre 1.2 horas y para noviembre toma 1 hora en que los técnicos reparen los equipos de media tensión por mes, obteniendo así, una tendencia positiva con la disminución de las horas para reparación, lo cual contribuye en la habilitación oportuna de los equipos para tenerlos en operación. Se puede apreciar en los meses de gestión

que existe cierta variación en horas de reparación debido a la complejidad de ciertos daños.

En las figuras 40 y 43, se puede observar que inicialmente se tenía un porcentaje bajo de equipos disponibles, es decir, había una alta cantidad de equipos averiados o en mal estado, también en las figuras 41 y 44 se observa en el MTBF que existe una frecuencia de tiempo muy corta entre una avería y la otra, así mismo en las figuras 42 y 45 se aprecia en el MTTR que hay altas horas de reparación para los equipos de aireación y media tensión. Esto puede observarse en los datos correspondientes a los meses junio, julio y agosto de las figuras antes mencionadas. Durante la etapa del levantamiento se encontraron problemas que afectaron los indicadores como la falta de personal para realizar recorridos y levantamiento de la información, falta de planificación o coordinación por parte de operaciones y producción, el personal no contaba con las habilidades técnicas y administrativas necesarias para levantar y tabular la información, falta de un plan de mantenimiento para los equipos ya que solo se lo realizaba de manera correctiva, no existía un control de repuestos para el mismo, también existía falta de herramientas necesarias para los mantenimientos.

Posteriormente se puede observar que se realizó la restauración de los equipos tanto de aireación como media tensión donde se repararon en su totalidad, esto puede corroborarse desde la figura 17 a la 23, en donde los indicadores (porcentaje de disponibilidad, MTBF y MTTR) empezaron a tener una evolución positiva como resultado de las reparaciones y mejoras que se tuvieron en dicha etapa, ya que hubo un mayor porcentaje de disponibilidad, una frecuencia de tiempo mayor en presencia de averías y menores tiempos de reparación. Esto puede observarse en los datos correspondientes a los meses septiembre, octubre, noviembre, diciembre y enero. Durante la etapa de restauración se encontraron retos como la falta de personal para realizar las restauraciones en los equipos, falta de conocimiento técnico en equipos específicos

como motores eléctricos, transformadores de media tensión, uso de herramientas especiales, falta de equipos para movilización del personal en la finca. Esto se solventó presentando el presupuesto a la plana directiva y obtener la aprobación, posteriormente se realizó el levantamiento con el departamento de compra de los materiales, herramientas y repuestos para proceder con las restauraciones una vez contratado el personal eventual.

Se puede describir en la etapa de implementación del sistema de mantenimiento cómo se llevaba el levantamiento de información en el departamento, realizando entrevistas con los técnicos y operadores para determinar la trazabilidad de la información desde su experiencia, no se encontraron los manuales de los equipos, tampoco registros estructurados de mantenimiento. Para poder enfrentar estos desafíos se realizó la búsqueda de los manuales respectivos con los fabricantes de los equipos para levantar los planes de mantenimientos y planillas de inspección, para posteriormente vincularlo con las experiencias de los técnicos y operadores del área de mantenimiento de la compañía. Esto nos permitió empezar a mejorar considerablemente los indicadores y puede observarse en los datos correspondientes a los meses desde febrero hasta agosto en las figuras de la 40 a la 45 donde se muestran los indicadores.

Para describir la última etapa, se realizó la evaluación del sistema de mantenimiento correspondiente a los últimos tres meses (septiembre, octubre y noviembre) como lo demuestran las figuras 40 y 43, se pueden observar los porcentajes de disponibilidad que se lograron mejorar durante la implementación del sistema de mantenimiento llegando al 98% de disponibilidad para aireación eléctrica y el 99% de disponibilidad para media tensión, el suministro de energía eléctrica externo por parte de CNEL tiene sus oportunidades de mejora y hace que la red sea ineficiente, esto ocasiona que los equipos de la compañía presenten problemas de bajo voltaje

acelerando el deterioro, por ende no se logra alcanzar el 100% de disponibilidad en los equipos, lo que también afecta directamente a los demás indicadores mostrados en las figuras 41 y 44 para MTBF y en las figuras 42 y 45 para MTTR tanto para los equipos de aireación eléctrica como para media tensión.

## **CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES**

Basado en el levantamiento actual, se ha logrado identificar las principales anomalías en los sistemas de aireación eléctrica, las cuales fueron tanto mecánicas como eléctricas. Se pudo evidenciar que las averías mecánicas desencadenaban averías eléctricas que no habrían aparecido espontáneamente. Por otro lado, y dicho con anterioridad, ciertas averías eléctricas como motores quemados, cables en mal estado o contactores quemados, aparecen a una incorrecta frecuencia en los mantenimientos. Esto es debido a que no se tenía control ninguno sobre su cambio de componentes, revisión, limpieza y lubricación.

Por parte de los equipos de media tensión se pudo determinar que había un mal cálculo y coordinación de protecciones, el tendido eléctrico aéreo no contaba con las especificaciones técnicas de seguridad eléctrica, no se conservaban las distancias adecuadas entre cada poste y la distribución de las cargas estaban mal seccionadas. Estos hallazgos indicaron las acciones a tomar para asegurar la disponibilidad, seguridad y conservación de los equipos. En primera instancia se realiza una reingeniería eléctrica para poder llevar a condiciones ideales de trabajo el sistema eléctrico de media tensión en 13.8kV, para realizar una transición de mantenimiento correctivo hacia un mantenimiento planificado. Además, el levantamiento mostró que el personal no estaba correctamente capacitado, existía falta de herramientas necesarias,

personal limitado para suplir la demanda en las averías y no se contaba con un stock de repuestos adecuado.

Una vez realizado el levantamiento actual en el que se encontraba el departamento de mantenimiento, se escogió el pilar de Mantenimiento Planificado de la metodología japonesa TPM que consiste en seis etapas. Como conclusión de la implementación del sistema de gestión de mantenimiento, ha permitido mejorar en gran medida las operaciones de mantenimiento, se logró una mejora significativa en la confiabilidad y disponibilidad de los equipos de aireación y media tensión. Al implementar las etapas del pilar de MP, permitió alcanzar una estructuración organizada de las acciones de mantenimiento tanto para los equipos de aireación eléctrica como para los equipos de media tensión, se logró restaurar los equipos, se fortaleció la estructura de mantenimiento y se elevó las habilidades técnicas y administrativas del personal técnico creando las bases para una cultura de responsabilidad más efectiva y organizada. El control de las actividades y la planificación de CMB y TBM contribuyeron a la reducción de las averías, logrando optimizar los recursos disponibles, la creación de las matrices de habilidades y un plan de formación donde el personal ha contribuido significativamente el desarrollo de una mejor cultura organizacional de responsabilidad y proactividad, lo cual asegura mantener en el tiempo la gestión del sistema de mantenimiento. El desarrollo de esta investigación ha contribuido para elevar la eficacia operativa, realizar sinergia con otros departamentos y poder fortalecer el liderazgo técnico administrativo.

Una vez finalizada la implementación del sistema de mantenimiento, permitió una exitosa mejora en los indicadores clave para la evaluación de todo el sistema de mantenimiento, logrando un impacto positivo en la disponibilidad, el tiempo promedio para reparar (MTTR) y el tiempo medio entre fallas (MTBF) para los equipos de aireación y media tensión. Al principio se evidenciaron un sin número de retos en la gestión como



la falta de planificación, personal insuficiente, falta de recursos necesarios, altos índices de averías, tiempos en acciones de respuesta muy lentos desencadenando un desorden total, dichas limitantes afectaron de forma directa la confiabilidad de los equipos. Posteriormente, con la reparación de los equipos, la adquisición de herramientas y recursos, y la estructuración de los planes de mantenimiento junto con la capacitación del personal, se logró revertir esta situación. Los resultados obtenidos entre septiembre y noviembre destacan un extraordinario incremento en los porcentajes de disponibilidad, tiempos más amplios entre una avería y la otra, y se agilizaron las habilidades de los técnicos para poder reparar los equipos con mayor facilidad y rapidez, mejorando por ende sus competencias. Esto llevó a desencadenar factores positivos como la reducción de paradas no programadas, mejorar la coordinación y planificación, reducción de mantenimientos correctivos, diagnosticar con mayor facilidad un equipo al momento de una avería, confirmando en la evaluación por medio de los indicadores, que el sistema que se propuso es factible y útil contribuyendo significativamente una compañía al sector acuícola.

## **CAPÍTULO 6: RECOMENDACIONES**

Se recomienda la creación de un cronograma de auditorías internas para garantizar en el tiempo la gestión documental y técnica del departamento de mantenimiento.

La implementación de un software para un mejor control en el mantenimiento a fin de reducir tiempos y posibles pérdidas de información tabuladas manualmente por parte de los técnicos y operadores. Además de poder programar correctamente los tiempos y ser alertados de fechas establecidas para los mantenimientos.

Fortalecer el nivel de educación técnica en el departamento de mantenimiento mediante capacitaciones y planes de estudios coordinados con el departamento de recursos humanos.

Realizar sinergia con el departamento de compras para garantizar stock, mejorar la calidad de repuestos y consumibles mediante la búsqueda de nuevos proveedores y compromisos con los actuales. Para finalizar, se recomienda seguir con la integración del sistema de mantenimiento con los demás equipos de la compañía dentro del entorno acuícola.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Palmer, D. (2012). *Maintenance Planning and Scheduling Handbook*. McGraw-Hill.

Smith, P., & Hawkins, R. (2017). *Planned Maintenance: A Guide to Effective Industrial Maintenance*. Wiley.

Suzuki, T. (1994). *TPM in Process Industries*. Productivity Press.

Marqués, P. C. (2023). Sustainable Total Productive Maintenance (STPM): A new approach to enhancing sustainability in maintenance. *Sustainability*, 15(16), 12362.

Joochim, O., & Meekaew, J. (2016). Applying Total Productive Maintenance in Aluminium Conductor Stranding Process. *Industrial Engineering and Management*, 2016(1), 1-24.

Shirose, K. (1992). *TPM for Operators*. Productivity Press.

Singh, R., Gohil, A. M., Shah, D. B., & Desai, S. (2013). Total Productive Maintenance (TPM) Implementation in a Machine Shop: A Case Study. *Procedia Engineering*, 51, 592-599.

Rajput, H. S., & Jayaswal, P. (2012). A Total Productive Maintenance (TPM) Approach to Improve Overall Equipment Efficiency. *International Journal of Modern Engineering Research*, 2(6), 4383-4386.

Boyd, C. E. (2015). *Water quality in ponds for aquaculture* (3rd ed.). Auburn University.

Nakajima, S. (1988). *Introduction to TPM: Total Productive Maintenance*. Productivity Press.

Yik, L. K., & Chin, J. F. (2019). Application of 5S and Visual Management to Improve Shipment Preparation of Finished Goods. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 530(1).

Chikwendu, O. C., & Chima, A. S. (2018). Overall Equipment Effectiveness and the Six Big Losses in Total Productive Maintenance. *Journal of Science and Engineering Research*, 5(4), 156-164.

Lopez, A. (2022). Total Productive Maintenance in Digital Manufacturing Environments. *Procedia CIRP*, 104(5), 47-54.

Tanveer, M., Roy, S. M., Vikneswaran, M., Renganathan, P., & Balasubramanian, S. (2018). Surface aeration systems for application in aquaculture: A review. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 6(5), 342-347.

Roszak, M., & Gajda, L. (2023). Implementation and improvement of the Total Productive Maintenance concept in organizations. *Encyclopedia*, 3(4), 1537-1564.

Yang, Y., & Yang, B. (2024). Employee participation in total productive maintenance – A bottom-up perspective. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 41(1), 269-290.

Kumar, S., Bhushan, R., Swaroop, S., & Tech, M. (2017). Study of Total Productive Maintenance & Its Implementation Approach in Steel Manufacturing Industry: A Case Study of Equipment-wise Breakdown Analysis. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 4(8), 608-613.

Jiménez, A., & Sánchez, M. (2018). *Mantenimiento de sistemas eléctricos en la industria acuícola*. Tecnología y Producción.

García, P. (2020). *Automatización y mantenimiento en la industria acuícola: Desafíos y soluciones*. Editorial Acuario.

González, L., & Pérez, F. (2019). *Mantenimiento planeado en sistemas eléctricos: Aplicaciones en la acuicultura*. *Revista Electrónica de Energía y Medioambiente*, 15(4), 222-235.

Pérez, J., & Rodríguez, E. (2021). *Mantenimiento eléctrico en sistemas automatizados: El caso de la industria camaronera en Ecuador*. *Ingeniería & Innovación*, 12(3), 25-34.

Rodríguez, J., & Sánchez, D. (2016). *Mantenimiento en sistemas eléctricos de media tensión: Un enfoque en la acuicultura*. *Electrical Engineering Journal*, 34(2), 119-135.

López, F. (2020). *Aplicación de TPM en la industria camaronera: Un estudio de caso*. *Revista de Ingeniería Acuícola*, 15(2), 45-58.

Piedrahita Falquez, Y. L. (2016). *Manual de buenas prácticas en el Cultivo de Camarón en Estanques en Ecuador*. Guayaquil.

Valarezo W., Müller Jelinek H. (1993). *Libro blanco del camarón*. Ecuador.

Grunauer Serrano A. (2020). *Memorias sobre un crustáceo llamado camarón*. Ecuador.

Pérez, J. (2019). *Sistemas de control y automatización en la acuicultura moderna*. Innovación Tecnológica.

Castro, J., & Ortega, P. (2021). *Implementación del TPM en la industria acuícola: Mejorando la eficiencia de sistemas de aireación automatizados*. *Journal of Aquaculture Management*, 13(2), 103-119.

Moreno, E., & Estévez, J. (2015). *Automatización y eficiencia energética en la aireación de piscifactorías*. *Tecnología Acuícola*, 11(1), 73-85.

Vega, H. (2021). *Optimización de procesos productivos en la acuicultura ecuatoriana: El rol del mantenimiento avanzado*. *Ingeniería Productiva*.

Salazar, R. (2016). *Estrategias de mantenimiento predictivo en la acuicultura intensiva*. Editorial del Mar.

Martínez, A. (2020). *La gestión del mantenimiento preventivo en sistemas eléctricos y su impacto en la productividad*. *Mantenimiento y Automatización*, 22(3), 91-110.

Ruiz, M., & Vargas, T. (2018). *TPM aplicado en la acuicultura: Un estudio de caso en piscifactorías*. *Journal of Fishery Management*, 17(3), 42-58.