



# POSGRADOS

## MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN Y OPERACIONES INDUSTRIALES

RPC-SO-41-No.689-2018

OPCIÓN DE  
TITULACIÓN:

PROPUESTAS METODOLÓGICAS Y TECNOLÓGICAS AVANZADAS

TEMA:

PROPUESTA DE MEJORA DE LA PRODUCTIVIDAD EN EL  
DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO TERRESTRE DE LOS  
TERMINALES MARÍTIMOS BALAO - ESMERALDAS - EP.  
PETROECUADOR, MEDIANTE LA HERRAMIENTA ANÁLISIS  
DEL MODO Y EFECTO DE FALLAS AMEF

AUTOR:

FERNANDO ALEJANDRO GUEVARA CARRILLO

DIRECTOR:

CRISTIAN ANDRÉS LEIVA GONZÁLEZ

QUITO - ECUADOR  
2021

**Autor:**



***Fernando Alejandro Guevara Carrillo***

Ingeniero en Electrónica, Automatización y Control

Candidato a Magíster en Producción y Operaciones Industriales por la Universidad Politécnica Salesiana – Sede Quito.

[fguevara1@est.ups.edu.ec](mailto:fguevara1@est.ups.edu.ec)

**Dirigido por:**



***Cristian Andrés Leiva González***

Ingeniero Mecánico

Magíster en Materiales, Diseño y Producción

[cleiva@ups.edu.ec](mailto:cleiva@ups.edu.ec)

Todos los derechos reservados.

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

**DERECHOS RESERVADOS**

©2021 Universidad Politécnica Salesiana.

QUITO – ECUADOR – SUDAMÉRICA

GUEVARA CARRILLO FERNANDO ALEJANDRO

***PROPUESTA DE MEJORA DE LA PRODUCTIVIDAD EN EL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO TERRESTRE DE LOS TERMINALES MARÍTIMOS BALAO - ESMERALDAS – EP. PETROECUADOR, MEDIANTE LA HERRAMIENTA ANÁLISIS DEL MODO Y EFECTO DE FALLAS AMEF***

## **RESUMEN**

La Gestión Integral de Mantenimiento en las Industrias ejerce un rol de suma importancia para el cuidado de activos, cumplimiento de objetivos de producción, seguridad para sus trabajadores y cuidado del medio ambiente.

La Gerencia de Transporte de la Empresa Pública de Hidrocarburos del Ecuador - EP. Petroecuador por medio de su Subgerencia de Oleoductos garantiza el Almacenamiento y Transporte oportuno de Petróleo Crudo proveniente del Oriente para ser despachado a Buques/Tanques, así como la entrega oportuna de productos limpios provenientes de Buques/Tanques a ser usados en los procesos productivos en la Refinería Esmeraldas; ambos procesos forman parte de las funciones de los Terminales Marítimos Balao.

En los Terminales Marítimos Balao existen equipos y sistemas mecánicos, eléctricos, de instrumentación y control que por su naturaleza requieren de un Mantenimiento Sistemático para evitar paradas no deseadas que pueden ocasionar una ruptura funcional a los procesos productivos.

La clasificación de los equipos mantenibles por categorías del Terminal Marítimo Esmeraldas, ayudará a una buena organización y gestión de tiempos y recursos al ejecutar solamente los trabajos necesarios priorizando los equipos que afecten directamente a la cadena productiva.

Para un mejor control se desarrolló fichas técnicas a los equipos prioridad uno, las cuales contienen datos de placa, características, análisis de criticidad, repuestos y modelo de mantenimiento. Así mismo se desarrollaron nuevos Planes de Mantenimiento en base a los resultados del uso de la herramienta de Análisis del Modo y Efectos de Fallas AMEF.

Para dar un continuo seguimiento a los resultados departamentales, se determinaron dos Indicadores Clave de Rendimiento KPI: Tiempo Medio entre Fallas MTBF y Tiempo Medio de Reparación MTTR, los cuales determinarán la fiabilidad de un equipo y ayudarán a prevenir fallos.

Con lo detallado, la metodología aquí propuesta mejorará la Productividad del Departamento de Mantenimiento Terrestre del Terminal Marítimo Balao – EP. Petroecuador; categorizando sus equipos, desarrollando tareas necesarias de mantenimiento y controlando sus activos con los indicadores clave de desempeño, todo esto mediante el uso de la herramienta de Análisis del Modo y Efectos de Fallas AMEF.

**Palabras clave:**

Mantenimiento Industrial, AMEF, Gestión Integral del Mantenimiento.

## ABSTRACT

The Integral Management of Maintenance in Industries plays a role of utmost importance for the care of assets, fulfillment of production objectives, safety for workers and care for the environment.

The *Gerencia de Transporte* of the *Empresa Pública de Hidrocarburos del Ecuador - EP. Petroecuador*, through its *Subgerencia de Oleoductos*, guarantees the timely Storage and Transportation of Crude Oil from the East to be dispatched to Ships/Tanks, as well as the timely delivery of clean products from Ships/Tanks to be used in the production processes in the *Refinería Esmeraldas*; both processes are part of the functions of the *Terminales Marítimos Balao*.

In the *Terminales Marítimos Balao* there are mechanical, electrical, instrumentation and control equipment and systems that by their nature require Systematic Maintenance to avoid unwanted stops that can cause a functional breakdown of the production processes.

The classification of maintainable equipment by categories of the *Terminal Marítimo Esmeraldas* will help a good organization and management of time and resources by executing only the necessary works, prioritizing the equipment that directly affects the production chain.

For better control, technical sheets were developed for priority one equipment, which contain plate data, characteristics, criticality analysis, spare parts and maintenance model. Likewise, new Maintenance Plans were developed based on the results of the use of the Failure Mode and Effects Analysis Tool.

To continuously monitor departmental results, two Key Performance Indicators - KPI were determined: Mean Time Between Failures - MTBF and Mean Time to Repair - MTTR, which will determine the reliability of a piece of equipment and help prevent failures.

With the details, the methodology proposed here will improve the Productivity of the *Departamento de Mantenimiento Terrestre* of the *Terminal Marítimo Balao - EP*.

*Petroecuador*; categorizing equipment, developing necessary maintenance tasks and monitoring your assets with key performance indicators, all through the use of the Failure Mode and Effects Analysis Tool.

**Keywords:**

Industrial Maintenance, AMEF, Comprehensive Maintenance Management.

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>RESUMEN</b> .....	<b>III</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>V</b>
<b>TABLA DE CONTENIDOS</b> .....	<b>VII</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>IX</b>
<b>LISTA DE TABLAS</b> .....	<b>XI</b>
<b>LISTA DE ANEXOS</b> .....	<b>XII</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	<b>4</b>
<b>OBJETO DE ESTUDIO</b> .....	<b>4</b>
<b>JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>5</b>
<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>8</b>
Objetivo General.....	8
Objetivos Específicos.....	8
<b>ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>9</b>
<b>CAPÍTULO I: MARCO CONTEXTUAL Y TEÓRICO REFERENCIAL</b> .....	<b>11</b>
Marco Teórico de la Investigación.....	11
Estado del Mantenimiento a Nivel Mundial .....	11
Tipos de Mantenimiento .....	12
Evolución del Mantenimiento Industrial.....	12
Herramientas Centrales.....	13
Análisis del Modo y Efecto de Fallo AMEF.....	14
Curva de la Bañera.....	15
Listado de Equipos.....	17
<b>CAPÍTULO II: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>21</b>
Unidad de Análisis.....	21
Planes de Mantenimiento Actuales .....	21
Máster de Equipos .....	22
Categorización de Equipos.....	22
Métodos .....	23
Fichas Técnicas.....	23
Metodología del AMEF.....	24
Planes de Mantenimiento Preventivo Propuestos .....	27
Indicadores Clave de Rendimiento .....	32

<b>CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>38</b>
Categorización de Equipos.....	38
Órdenes de Trabajo.....	39
Costos .....	41
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>45</b>
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>46</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>47</b>
<b>ANEXO 1</b> .....	<b>49</b>
<b>ANEXO 2</b> .....	<b>56</b>
<b>ANEXO 3</b> .....	<b>97</b>

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL EP. PETROECUADOR.....	1
FIGURA 2. SISTEMA DE OLEODUCTO TRANSECUTORIANO – SOTE.....	2
FIGURA 3. ORGANIGRAMA FUNCIONAL DE CARGOS TMB.....	2
FIGURA 4. IMAGEN DE LAS UNIDADES DE BOMBEO DEL TME .....	5
FIGURA 5. PORCENTAJE DE TRABAJOS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO EN EL TME SEPTIEMBRE 2018 - SEPTIEMBRE 2020.....	6
FIGURA 6. PROCESO PRODUCTIVO DE REVERSIÓN DE PRODUCTOS LIMPIOS TME.....	9
FIGURA 7. IMAGEN DE LAS TUBERÍAS Y LA CERCANÍA AL MAR DEL TME.....	10
FIGURA 8. EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL .....	13
FIGURA 9. HERRAMIENTAS CENTRALES .....	14
FIGURA 10. CURVA DE LA BAÑERA.....	16
FIGURA 11. ACTUADOR ELÉCTRICO DE VÁLVULA .....	16
FIGURA 12. TRANSMISOR DE TEMPERATURA .....	17
FIGURA 13. TRANSMISOR DE PRESIÓN.....	17
FIGURA 14. TRANSMISOR DE FLUJO.....	17
FIGURA 15. TRANSMISOR DE VIBRACIÓN.....	17
FIGURA 16. TABLEROS DE CAMPO .....	18
FIGURA 17. SWITCHGEAR DE MEDIA TENSIÓN .....	18
FIGURA 18. VARIADOR DE FRECUENCIA DE MEDIA TENSIÓN .....	18
FIGURA 19. VÁLVULA DE SEGURIDAD 3X4" .....	19
FIGURA 20. BOMBA CENTRÍFUGA.....	19
FIGURA 21. SERVIDORES DEL SISTEMA DE CONTROL .....	19
FIGURA 22. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE.....	20
FIGURA 23. PLAN DE MANTENIMIENTO - TABLERO DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA.....	21
FIGURA 24. DESCRIPCIÓN DE LAS FALLAS FUNCIONALES: TABLERO DE TRANSFERENCIA AUTOMÁTICO Y DISTRIBUCIÓN PRINCIPAL.....	24
FIGURA 25. ANÁLISIS DE LOS EFECTOS Y CAUSAS: TABLERO DE TRANSFERENCIA AUTOMÁTICO Y DISTRIBUCIÓN PRINCIPAL .....	25
FIGURA 26. PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO - TABLEROS DE TRANSFERENCIA AUTOMÁTICO Y DISTRIBUCIÓN PRINCIPAL.....	28
FIGURA 27. PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO - TRANSFORMADORES ELÉCTRICOS ..	28
FIGURA 28. PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO - TABLEROS ELÉCTRICOS DE CAMPO	29
FIGURA 29. PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO – SWITCHGEAR.....	29
FIGURA 30. PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO – VARIADORES DE FRECUENCIA.....	30
FIGURA 31. PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO – VÁLVULAS DE SEGURIDAD .....	30
FIGURA 32. PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO – BOMBAS CENTRÍFUGAS.....	31
FIGURA 33. PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO – SERVIDORES DEL SISTEMA DE CONTROL .....	31
FIGURA 34. PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO – PLC'S DEL SISTEMA DE CONTROL.....	32
FIGURA 35. MTBF - SEGUNDO SEMESTRE 2020 .....	35

FIGURA 36. MTTR - SEGUNDO SEMESTRE 2020 .....	37
FIGURA 37. CANTIDAD DE EQUIPOS POR CATEGORÍAS TME.....	38
FIGURA 38. PRONÓSTICO DE CANTIDAD DE OT'S CON Y SIN AMEF: ENERO 2022-DICIEMBRE 2022 .....	39
FIGURA 39. PRONÓSTICO DE CANTIDAD DE H-H CON Y SIN AMEF: ENERO 2022-DICIEMBRE 2022 .....	40
FIGURA 40. ANÁLISIS DE COSTOS DE PLANES MP .....	43
FIGURA 41. PROYECCIÓN DE COSTOS AÑO 2022 CON Y SIN AMEF.....	44

## LISTA DE TABLAS

TABLA 1. POBLACIÓN .....	22
TABLA 2. DEFINICIÓN DE LA ESTRUCTURA: TABLERO DE TRANSFERENCIA AUTOMÁTICO Y DISTRIBUCIÓN PRINCIPAL .....	24
TABLA 3. ANÁLISIS DE LA PRIORIDAD DE RIESGO: TABLERO DE TRANSFERENCIA AUTOMÁTICO Y DISTRIBUCIÓN PRINCIPAL .....	25
TABLA 4. ACCIONES RECOMENDADAS Y TIPO DE MANTENIMIENTO: TABLERO DE TRANSFERENCIA AUTOMÁTICO Y DISTRIBUCIÓN PRINCIPAL .....	26
TABLA 5. DETALLE DE LOS RESPONSABLES Y LAS ACCIONES A TOMAR: TABLERO DE TRANSFERENCIA AUTOMÁTICO Y DISTRIBUCIÓN PRINCIPAL .....	26
TABLA 6. ANÁLISIS DE LA PRIORIDAD DE RIESGO FINAL: TABLERO DE TRANSFERENCIA AUTOMÁTICO Y DISTRIBUCIÓN PRINCIPAL.....	27
TABLA 7. CÁLCULO DEL MTBF: JULIO 2020.....	34
TABLA 8. CÁLCULO DEL MTTR: JULIO 2020.....	36
TABLA 9. COSTOS DEL PERSONAL CON EL PLAN DE MANTENIMIENTO ACTUAL .....	41
TABLA 10. COSTOS DEL PERSONAL CON EL PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO.....	42

## LISTA DE ANEXOS

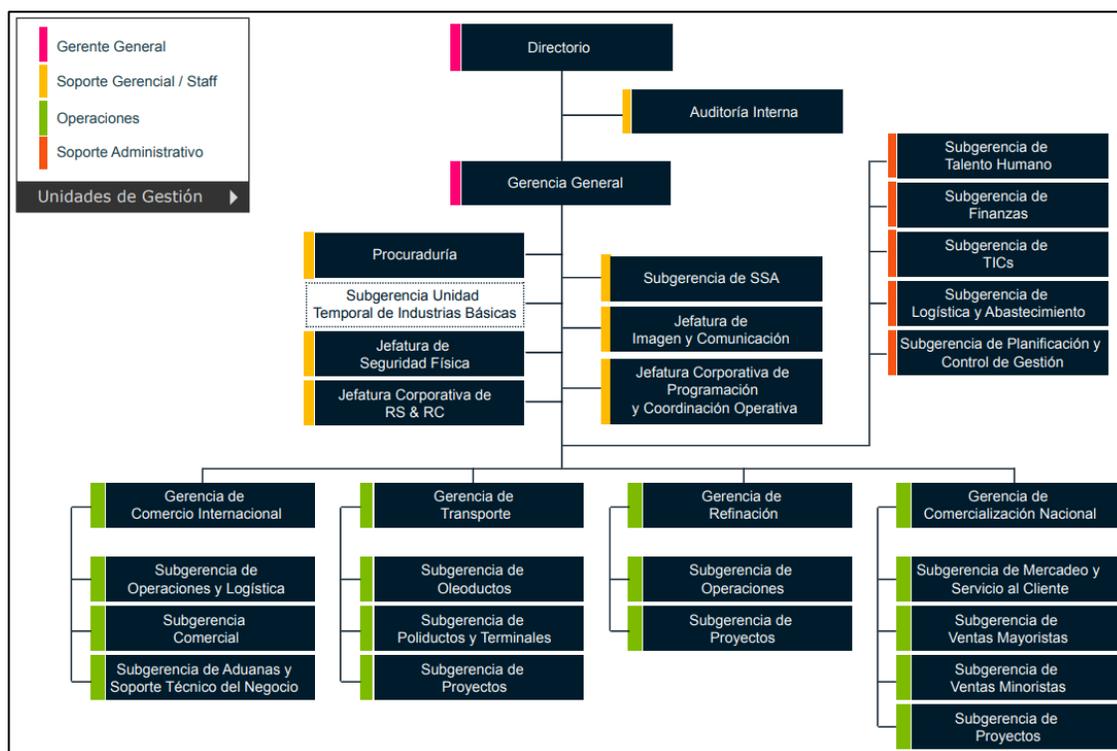
ANEXO 1. LISTADO DE EQUIPOS Y SISTEMAS PARA MANTENIMIENTO – TME .....	49
ANEXO 2. FICHAS TÉCNICAS DE EQUIPOS .....	56
ANEXO 3. AMEF EQUIPOS PRIORIDAD UNO TME .....	97

## GLOSARIO

Sistema de Oleoducto Transecuatoriano	SOTE
Terminal Marítimo Balao	TMB
Terminal Marítimo Esmeraldas	TME
Key Performance Indicator	KPI
Kilovoltios	KV
Kilowatios	KW
Empresa Pública Petroecuador	EPP
Ordenes de Trabajo	OT's
Variable Frequency Drive	VFD
Supervisory Control and Data Acquisition	SCADA
Megavoltamperios	MVA
Análisis del Modo y Efecto de Fallas	AMEF
Número de Prioridad de Riesgo	NPR
Mean Time Between Failures	MTBF
Mean Time To Repair	MTTR

## INTRODUCCIÓN

La Empresa Pública de Hidrocarburos del Ecuador - EP. Petroecuador, es responsable de los procesos de exploración, transporte, almacenamiento, refinación y comercialización nacional e internacional de hidrocarburos, certificando el suministro interno de productos con calidad, de manera segura, oportuna y sustentable. [1]



**Figura 1.** Estructura Organizacional EP. Petroecuador [1]

En el Área Operativa existen cuatro Gerencias - ver *Figura 1* - de la cual la Gerencia de Transporte se encarga de transportar el petróleo Oriente y Napo por el Sistema de Oleoducto Transecuatoriano – SOTE que tiene una distancia de 497 kilómetros y cruza las tres regiones continentales del país: Costa, Sierra y Oriente; asegurando la entrega oportuna para la exportación y la refinación.

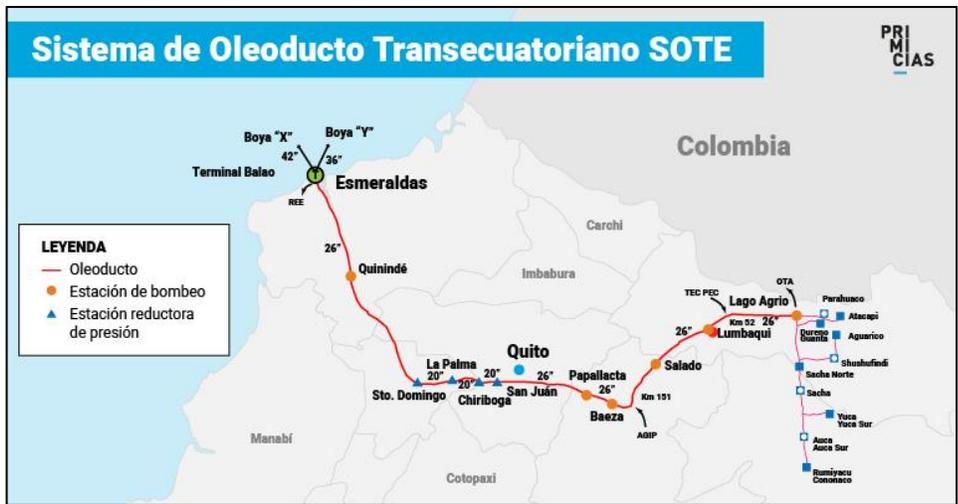


Figura 2. Sistema de Oleoducto Transecuatoriano – SOTE [2]

Dentro de la estructura organizacional de la Gerencia de Transporte existe la Subgerencia de Oleoductos que tiene bajo su mando tres Superintendencias: Superintendencia de Operaciones, Superintendencia de Línea y Derecho de Vía y la Superintendencia de Terminales Marítimos Balao.

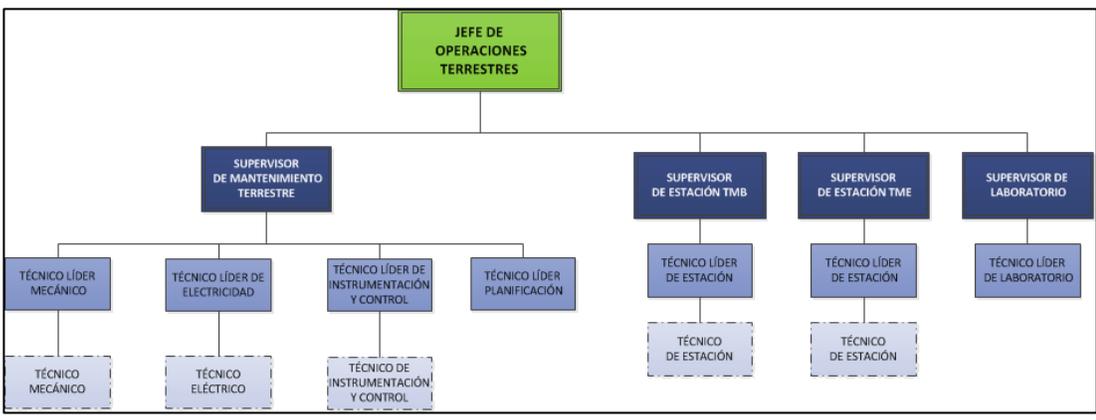


Figura 3. Organigrama Funcional de Cargos TMB

La Jefatura de Operaciones Terrestres tiene bajo su mando a cuatro unidades - ver Figura 3 – Operaciones TMB, Operaciones TME, Laboratorio y Mantenimiento, los cuales cumplen funciones específicas indicadas en su Perfil de Competencias. Actualmente el personal de operaciones no se involucra en el mantenimiento de los

equipos, es por ello que un porcentaje considerado de fallos es por la falta de mantenimientos iniciales básicos.

La Superintendencia de los Terminales Marítimos Balao – TMB, queda localizada en la Costa de la Provincia de Esmeraldas – Ecuador y se compone de dos terminales:

- **Terminal Marítimo Balao:**

- Estación - Terminal N°11 del SOTE
- Se recibe el petróleo y se almacena en tanques
- Posee diez (10) tanques de almacenamiento de capacidad máxima 322000 barriles
- Se despacha petróleo a los buques:
  - Exportación: venta a otros países
  - Cabotaje: transporte para producción en Refinería la Libertad - RLL
- Se despacha petróleo para producción en Refinería Esmeraldas - REE

- **Terminal Marítimo Esmeraldas:**

- Único terminal para exportación e importación de derivados de hidrocarburo en el país
- Envía y recibe derivados de hidrocarburo desde y hacia REE
- Posee seis (6) unidades de bombeo eléctricas
  - Dos (2) de 671 KW
  - Cuatro (4) de 820 KW

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Para cumplir con los objetivos empresariales de la Superintendencia de Terminales Marítimos Balao, la EP. Petroecuador ha creado el departamento de Mantenimiento Terrestre que se encarga de mantener operativos los equipos y sistemas que forman parte de los procesos productivos inherentes.

La asignación de nuevos sistemas y la reducción de personal han ocasionado problemas en el cumplimiento de objetivos; generando cuellos de botella en los cumplimientos de tareas, debido al exceso de órdenes de trabajos creadas sin ningún modelo, el cual es inversamente proporcional a la cantidad de funcionarios del departamento de mantenimiento.

Es por tal razón que la presente propuesta pretende incrementar la productividad en el Departamento de Mantenimiento Terrestre de los TMB, analizando los problemas que ocasionan latencia en el cumplimiento de objetivos, asignando jerarquías al cumplimiento de órdenes de trabajo para equipos emergentes y descartando actividades que no aportan valor agregado a los indicadores de desempeño.

## **OBJETO DE ESTUDIO**

La investigación de la Propuesta de Mejora de la Productividad en el Departamento de Mantenimiento Terrestre de los Terminales Marítimos Balao - Esmeraldas – EP. Petroecuador, mediante la Herramienta Análisis del Modo y Efecto de Fallas AMEF, se realizará en el Terminal Marítimo Esmeraldas – Estación Playa Balao EP. Petroecuador, provincia y ciudad de Esmeraldas, país Ecuador.



**Figura 4.** Imagen de las Unidades de Bombeo del TME

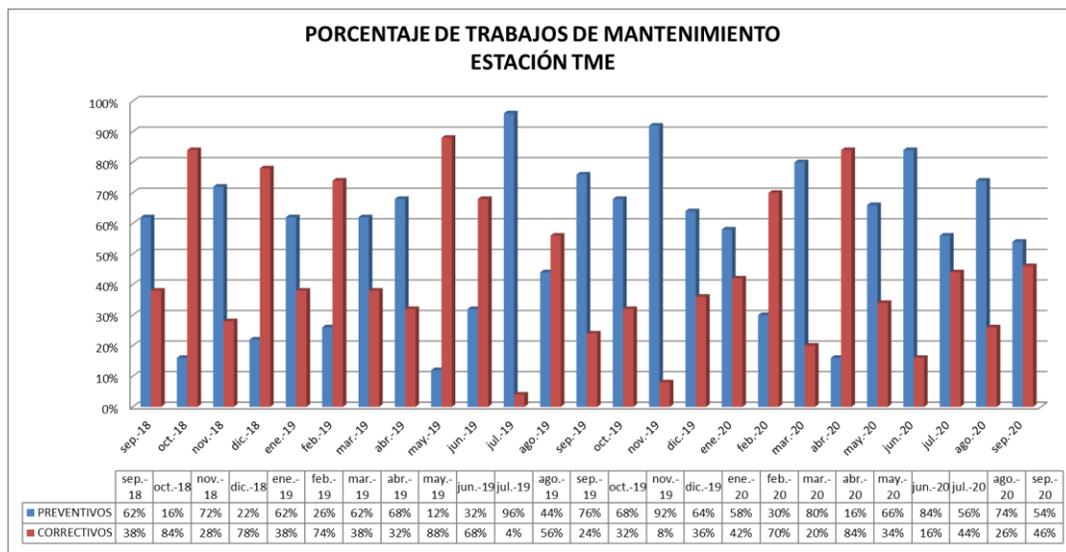
## **JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

El Proceso de Reversión de Productos limpios que realiza el Terminal Marítimo Esmeraldas, ha sido automatizado desde el año 2014 y dentro del cual existen equipos sumamente importantes que para su Mantenimiento es indispensable disponer de un Procedimiento de Gestión Integral de Mantenimiento basado en Análisis del Modo y Efecto de Fallas AMEF para eliminar las pérdidas en producción causadas por el mal estado de los equipos, mejorar los indicadores de mantenimiento y optimizar el trabajo del personal.

Al no existir una correlación entre la cantidad de personal necesario para el mantenimiento y el inventario de equipos, además de la falta de procedimientos de trabajo, ha ocasionado incumplimientos en los cronogramas de ejecución, una disminución de los indicadores de Gestión de Mantenimiento, fundamentalmente el porcentaje de cumplimiento de las tareas programadas, aumentando de manera exponencial las ordenes de trabajos correctivas en detrimento del mantenimiento

preventivo, ocasionado retrasos, disminuyendo la disponibilidad y afectando la vida útil de los equipos y máquinas; por tal motivo se hace necesario crear un sistema de Gestión de Mantenimiento basado en Análisis del Modo y Efecto de Fallas AMEF, ajustado a la situación actual, que permita sostener y mejorar los indicadores del departamento, apoyando para ello también el personal de operaciones y la previa elaboración de los procedimientos correspondientes a cada mantenimiento.

La ejecución de los trabajos de mantenimiento preventivo se los realiza mediante una programación sistemática sin ningún modelo de desarrollo que demuestre la necesidad de realizar o no las actividades, es por ello que se asigna ordenes de trabajo programadas a los técnicos sin priorizar ejecuciones por jerarquía de equipos.



**Figura 5.** Porcentaje de Trabajos de Mantenimiento Preventivo y Correctivo en el TME septiembre 2018 - septiembre 2020

Los porcentajes de trabajos de mantenimiento preventivo y correctivo en los dos últimos años se puede apreciar en la *Figura 5*, evidenciando que existen meses en los cuales las cantidades de trabajos correctivos superan a los preventivos. Existen ocasiones que los trabajos correctivos no logran ejecutarse a cabalidad, obligando a tomar alternativas en las operaciones, como por ejemplo la operación manual de actuadores o el arranque directo desde los variadores de los motores eléctricos; la

operación del TME no puede parar y es por eso que la filosofía de operación tiene varias alternativas.

La falta de Gestión de Mantenimiento debido a las excesivas asignaciones de trabajos al personal técnico se ha evidenciado en los indicadores de cumplimiento en los últimos dos años; superando la capacidad operativa, que obliga a establecer prioridades y responder con inmediatez solo a las órdenes correctivas o imprevistos, afectando todo el sistema y disminuyendo la vida útil de los equipos.

La reducción del personal de mantenimiento ha llevado a los técnicos a no realizar todas las tareas encomendadas en el tiempo planificado; situación distinta sucede con la gente de operaciones, los cuales no han sido afectados en el reajuste de trabajadores, es por ello que se propone trabajar en conjunto con los funcionarios de mantenimiento en los trabajos iniciales de los equipos.

El historial de costos en los últimos años se ha incrementado debido a las contrataciones de servicios de mantenimientos y compras de equipos y/o repuestos, razón por la cual los planes y cronogramas de trabajo están desactualizados, con tiempos de ejecución no real y poco operativos; a su vez para ejecutar las tareas no existen manuales, ni procedimientos técnicos y se genera ambigüedad en las funciones que desarrollan los técnicos.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

- Generar una Propuesta de Mejora de la Productividad en el Departamento de Mantenimiento Terrestre de los Terminales Marítimos Balao - Esmeraldas EP. Petroecuador, desarrollando un Análisis del Modo y Efecto de Fallas AMEF.

### **Objetivos Específicos**

- Evaluar la planificación del mantenimiento y obtener datos de registros de mantenimientos, así como de manuales y procedimientos técnicos existentes de los cinco sistemas que forman parte de los Terminales Marítimos Balao.
- Clasificar los equipos, determinar su nivel de criticidad y diagnóstico de problemas utilizando herramientas inteligentes que permitan predecir las posibles fallas del sistema.
- Diseñar un Plan de Gestión Integral de Mantenimiento, aplicable a los equipos mecánicos y eléctricos, considerando la mejora continua en el tiempo.
- Establecer Indicadores Clave de Rendimiento o Desempeño KPI's para la gestión del mantenimiento de los equipos; optimizando la disponibilidad, confiabilidad y costos globales; para lograr un eficiencia, eficacia y estructura organizativa en el departamento de Mantenimiento TMB.

## ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

Dentro de los Sistemas de los Terminales Marítimos Balao TMB, existe el Terminal Marítimo Esmeraldas TME, el mismo que tiene dos funciones principales: Carga y Reversión de Productos Limpios desde y hacia la Refinería Esmeraldas REE. El Alcance del Proyecto de Investigación se centra en el Proceso Productivo de Reversión de Productos Limpios desde las unidades de bombeo del TME hacia los Tanques de Almacenamiento de la REE.



Figura 6. Proceso Productivo de Reversión de Productos Limpios TME

La entrada del proceso es el abastecimiento de Energía Eléctrica que va desde la Estación INCOMMING de la Refinería Esmeraldas, ubicada en la bahía del Poliducto Cabecera Esmeraldas, ingresando un nivel de alta tensión de 69,000 voltios a la Subestación Eléctrica ubicada en el TME.

Una vez que el nivel de tensión de 69 KV ingresa a la Subestación Eléctrica, es reducido por un Transformador Reductor de 69 KV a 13.8 KV y se suministra a las Celdas Primaria y Secundarias del TME. La Celda Secundaria CS1 alimenta al Transformador #1 de 3 MVA 13.8 KV / 4.16 KV el cual abastece de energía a los Variadores de Frecuencia #1 y #2. La Celda Secundaria CS2 alimenta al

Transformador #2 de 2.5 MVA 13.8 KV / 4.16 KV el cual abastece de energía a los Variadores de Frecuencia #3 y #4.

Los Variadores de Frecuencia VFD energizan de 4.16 KV a los motores eléctricos de las unidades de bombeo del número uno al número cuatro, controlando su velocidad por medio de regulación de frecuencia que lo realizan los operadores por medio del sistema SCADA.

Cuando los motores se encienden, éstos mueven su eje conectado al eje de una bomba centrífuga, haciendo que el impeler se mueva succionando el producto proveniente de un buque en el mar a una distancia de 4,300 metros y descargando el producto en los tanques de la Refinería Esmeraldas.



**Figura 7.** Imagen de las Tuberías y la cercanía al mar del TME

# CAPÍTULO I

## MARCO CONTEXTUAL Y TEÓRICO REFERENCIAL

### 1.1 Marco Teórico de la Investigación

La función Mantenimiento, se encuentra inmersa en todas las etapas dentro de una estructura organizativa empresarial, la cual aporta varios componentes que sirven para las estrategias y direccionamiento, evaluando las oportunidades que llevarán a la optimización de costos. Para lograrlo se deberán incluir procedimientos y planificación estratégica para dar mantenimiento integral a todos los equipos que conforman el proceso operativo. [3]

#### 1.1.1 Estado del Mantenimiento a Nivel Mundial

El mantenimiento empresarial ha sido sin duda una función que ha desarrollado grandes cambios a lo largo de los últimos 60 años, anexándose los siguientes elementos de mejora:

- Direccionamiento de calidad para los productos y procesos.
- Requerimiento de grandes niveles de disponibilidad y confiabilidad de los equipos.
- Abaratar costos de la producción.
- Prevenir riesgos en relación a la seguridad con los trabajadores y las instalaciones.
- Menor cantidad de requerimiento de servicios de reparaciones de equipos.
- Implementar nuevas oportunidades de mejora.
- Gran confiabilidad a los activos empresariales para lograr una alta competitividad en el mercado. [4]

### 1.1.2 Tipos de Mantenimiento

Las acciones destinadas para retener y restaurar a un equipo para que realice sus funciones previstas, se lo conoce como Mantenimiento [5]. A un nivel operativo, las acciones que puede desarrollar la persona hacia las máquinas se dividen en tres categorías:

- **Mantenimiento Correctivo:** Se centra en la reparación de la avería y se le denomina de corto plazo [6].
- **Mantenimiento Preventivo:** Es aquel que se realiza de acuerdo a una planificación acorde a la producción del sistema [7].
- **Mantenimiento Predictivo:** Es aquel que indica constantemente el estado y operatividad de los equipos e instalaciones, mediante lectura de variables [8].

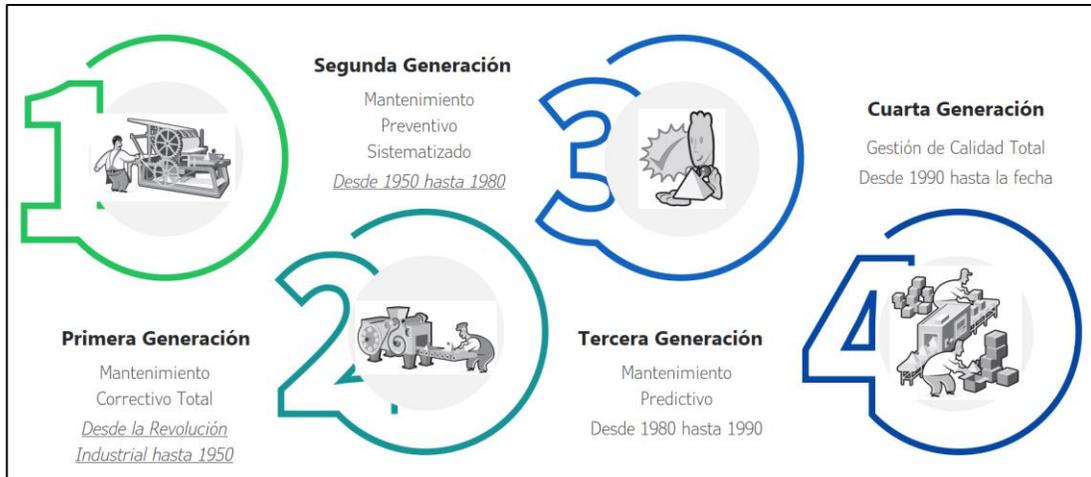
### 1.1.3 Evolución del Mantenimiento Industrial

**Primera generación, desde la Revolución Industrial hasta 1950:** En esta generación solamente se realizaba mantenimientos correctivos cuando se presentaba alguna avería, implicando con ello costos y tiempos elevados de reparación. [9]

**Segunda generación, desde 1950 hasta 1980:** En esta generación se acoge al mantenimiento preventivo cíclico con una frecuencia de trabajo determinada. [9]

**Tercera generación, desde 1980 hasta 1990:** En esta generación se implementó el mantenimiento predictivo para detectar futuros problemas y encontrar su causa raíz. En esta etapa se inicia con la detección de los problemas por parte de las áreas de producción. [9]

**Cuarta generación, desde 1990 hasta nuestros días:** La cuarta generación tiene como filosofía el mantenimiento productivo total de origen japonés que busca calidad, costo, permanencia e integración de todas las unidades. [9]



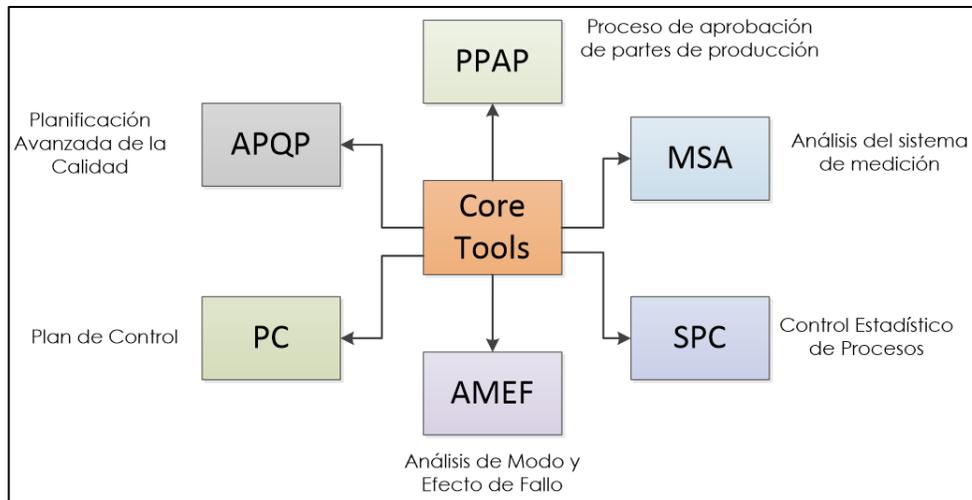
**Figura 8.** Evolución del Mantenimiento Industrial

En los años 80, las ensambladoras automotrices GM, Chrysler y Ford se unen para formar la AIAG (Automotive Industry Action Group). La Unión de este grupo de empresas busca un mecanismo que satisfaga a los clientes y a su vez que sus proveedores cumplan con los mismos.

En 1994 lanzan cinco manuales llamados las Core Tools. Estas herramientas son la clave fundamental para la aprobación de partes y piezas, análisis de procesos de medición y variaciones de proceso más importantes en la industria automotriz.

#### 1.1.4 Herramientas Centrales

Las Herramientas Centrales son un conjunto de herramientas utilizadas en la industria automotriz, que representan la base teórica para diseñar, desarrollar, controlar, medir productos / procesos acordes a los requerimientos del cliente final. Sirven de apoyo para cumplir los lineamientos de la norma ISO TS 16949.



**Figura 9. Herramientas Centrales**

### 1.1.5 Análisis del Modo y Efecto de Fallo AMEF

El AMEF fue desarrollado por primera vez como una metodología de diseño formal en la década de 1960 por la industria aeroespacial con sus obvios requisitos de confiabilidad y seguridad. Desde entonces, se ha utilizado ampliamente para ayudar a garantizar la seguridad y confiabilidad de los productos en una amplia gama de industrias, particularmente las industrias aeroespacial, automotriz y nuclear.

Un AMEF es un conjunto de actividades para:

- Identificar y evaluar fallas en un proceso, con los efectos de las mismas.
- Señalar las acciones que pueden eliminar o reducir la consecuencia de las fallas.
- Documentar los procesos de una organización. [10]

El Análisis del Modo y Efecto de Fallas AMEF ayuda a las empresas a identificar posibles modos de fallos, sus posibles causas y como mitigarlas.

AMEF utiliza la técnica del Número de Prioridad de Riesgo (NPR), así como términos lingüísticos para determinar el impacto del riesgo (gravedad), la posibilidad de riesgo (ocurrencia) y las oportunidades de riesgo (detección). La determinación de

la escala no tiene un procedimiento específico, por lo que se puede determinar mediante la personalización del equipo de riesgos. La escala de rango de criterios más utilizada es la escala del 1 al 10. [11]

El valor de NPR se obtiene multiplicando el valor de los tres parámetros. Se supone que los riesgos con los valores de NPR más altos son riesgos importantes y deben recibir un tratamiento de alta prioridad en comparación con los riesgos con valores de NPR bajos. [12]

El AMEF ha demostrado ser una herramienta útil y poderosa para evaluar fallas potenciales y evitar que ocurran. Representa un método poderoso y documentado para que los ingenieros presenten de manera estructural y formalizada su pensamiento subjetivo y su experiencia en términos de:

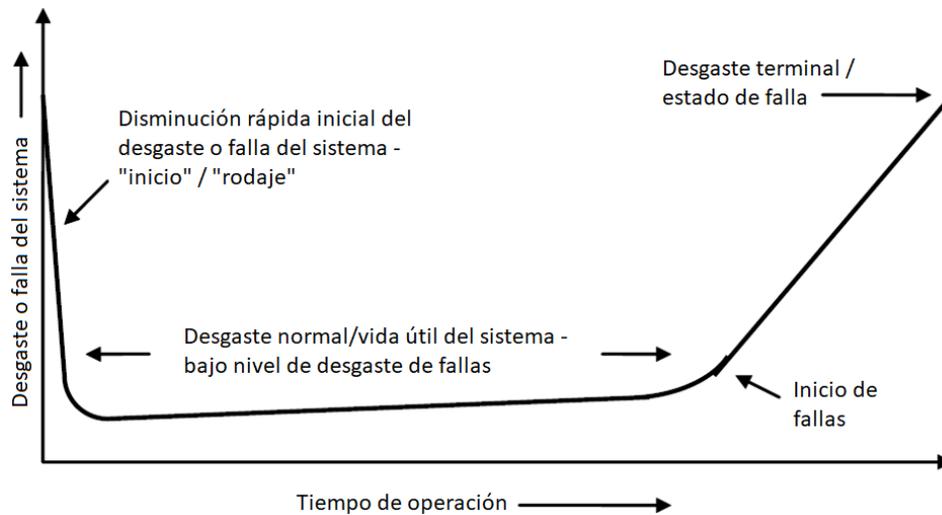
- ¿Qué podría salir mal?
- ¿Qué puede hacer que salga mal?
- ¿Qué efectos tendría? [12]

Una vez que se completa el AMEF, se compila una lista de elementos críticos que permite al analista identificar las vulnerabilidades inherentes al sistema, asegurando así que la seguridad, la calidad y la confiabilidad estén integradas en las etapas de diseño y fabricación de los productos.

Al realizar el análisis, se evalúa el comportamiento para cada modo de error potencial de cada componente del sistema. Cuando ocurren efectos de operación inaceptables, se realizan cambios de diseño para eliminar las causas de la falla o para mitigar sus efectos. [13]

### **1.1.6 Curva de la Bañera**

Todos los sistemas se desgastan, pero a diferentes velocidades durante su vida útil. El patrón de desgaste está bien descrito por la curva "bañera", que es un gráfico de "desgaste" contra el tiempo, también se puede considerar como un diagrama de falla del sistema contra el tiempo [14].



**Figura 10.** Curva de la Bañera [14]

Mediante la interpretación de la curva se predice qué tipo de mantenimiento se realiza en cada etapa del equipo.

### 1.1.7 Listado de equipos

Los equipos que forman parte del Terminal Marítimo Esmeraldas, los cuales necesitan mantenimientos periódicos y con la propuesta se realizó nuevos planes de mantenimiento son:

**Actuadores Eléctricos de Válvulas:** Equipo electromecánico de alimentación eléctrica 460VAC usado para la apertura / cierre de válvulas.



**Figura 11.** Actuador Eléctrico de Válvula, Página oficial de Flowserve [15]

**Transmisor de Temperatura:** Instrumento electrónico que mide la variable temperatura de un producto y transmite el dato a tiempo real a un controlador.



**Figura 12.** Transmisor de Temperatura, Página oficial de Emerson [16]

**Transmisor de Presión:** Instrumento electrónico que mide la variable presión de un producto y transmite el dato a tiempo real a un controlador.



**Figura 13.** Transmisor de Presión, Página oficial de Emerson [16]

**Transmisor de Flujo:** Instrumento electrónico que mide la variable flujo de un producto y transmite el dato a tiempo real a un controlador.



**Figura 14.** Transmisor de Flujo, Página oficial de Endress [17]

**Transmisor de Vibración:** Instrumento electrónico que mide la variable vibración de la bomba y transmite el dato a tiempo real a un controlador.



**Figura 15.** Transmisor de Vibración, Página oficial de Pce Ibérica [18]

**Tableros de Campo:** Equipos que contienen protecciones eléctricas y sistemas de control para los equipos de campo.



**Figura 16.** Tableros de Campo

**Switchgear:** Equipo eléctrico de maniobra usado para la alimentación y protección eléctrica de los variadores de frecuencia de media tensión.



**Figura 17.** Switchgear de media tensión, Página oficial de ABB [19]

**Variadores de Frecuencia:** Equipos eléctrico de media tensión usado para el control de las revoluciones del motor.



**Figura 18.** Variador de Frecuencia de Media Tensión, Página oficial de Rockwell Automation [20]

**Válvulas de Seguridad:** Equipo mecánico usado para aliviar la presión en una tubería.



**Figura 19.** Válvula de Seguridad 3x4"

**Bombas Centrífugas:** Equipo que transforma la energía mecánica en energía hidráulica para el movimiento de productos.



**Figura 20.** Bomba Centrífuga, Página oficial de Fluideco [21]

**Servidores:** Equipos informáticos que almacenan y procesan información para el control y visualización de datos.



**Figura 21.** Servidores del Sistema de Control

**Controladores:** Equipo electrónico que realiza la toma los datos a tiempo real de las variables del sistema, se programa la lógica de control y se envía los datos para el procesamiento a los servidores.



**Figura 22.** Controlador Lógico Programable, Página oficial de Rockwell Automation [20]

**Sistema de Alimentación Ininterrumpida:** Equipos eléctricos que permiten la alimentación ininterrumpida de voltaje al sistema de control por medio de sus baterías y convertidores.



**Figura 23.** Sistema de Alimentación Ininterrumpida, Página Oficial de UPS All Power [22]

## CAPÍTULO II

### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 2.1 Unidad de Análisis

La base de la investigación o también llamada unidad de análisis, fueron las órdenes de trabajo actualmente planificadas en el Terminal Marítimo Esmeraldas – Playa Balao de la EP. Petroecuador; mediante las cuales se evaluó mediante los informes del sistema MAXIMO® el cual es un software adquirido por la EP. Petroecuador que realiza un sistema de gestión de mantenimiento computarizado centralizando la información de mantenimiento y facilitando los procesos de operaciones de mantenimiento, los recursos de tiempo y tareas para sus ejecuciones. Otro aspecto considerado fue la actual plantilla de trabajadores del departamento de Mantenimiento Terrestre Balao en relación a la plantilla mínima descrita por la EP. Petroecuador.

##### 2.1.1 Planes de Mantenimiento Actuales

La estrategia para la elaboración de los planes de mantenimiento actuales se basa en el desglose de actividades para cada tarea, indicando la duración en minutos de cada una.

							
<b>Detalles de Plan de Trabajo</b>							
PTEB0003TC: TMB: MP TABLEROS ELECTRICOS - DISTRIBUCION							
Organización:	PEC	Prioridad:	3	Propietario:			
Planta:	TC	¿Interrumpible?:	N	Propietario del grupo:			
Tipo:	MANTENIMIENTO	Supervisor:		Grupo de mano de obra:			
Duración:	03:50	Cuadrilla:					
Tareas del plan de trabajo							
ID de tarea	Descripción	Duración	Plan de trabajo anidado	Nombre del medidor	Propietario	Grupo propietario	
10	COORDINAR SUSPENSIÓN DE SERVICIO	00:10					
20	COLOCAR TARJETA DE SEGURIDAD	00:05					
30	REGISTRO DE DATOS	00:30					
40	INSPECCION DE CABLEADO	00:30					
50	LIMPIEZA	00:30					
60	MEGADO	00:30					
70	AJUSTE DE CONTACTOS	00:30					
80	VERIFICACION DE NIVELES DE VOLTAJE	00:30					
90	PRUEBAS DE OPERACION MECÁNICA DE INTERRUCTORES	00:30					
100	RETIRAR TARJETA DE SEGURIDAD	00:05					

**Figura 24.** Plan de Mantenimiento - Tablero de Distribución Eléctrica, Sistema MAXIMO® - EP. Petroecuador

En el ejemplo de la *Figura 24* se puede apreciar que para la realización del Mantenimiento Preventivo de los Tableros de Distribución Eléctrica existen diez tareas que suman un tiempo de ejecución de 03:50 horas.

En los planes de mantenimiento actuales no existen definidos las cantidades de personas para la ejecución de trabajos, ni tampoco prioridades de ejecución.

## 2.2 Master de Equipos

Para poder desarrollar los nuevos planes de mantenimiento acorde a la metodología AMEF, fue necesario obtener los datos técnicos de todos los equipos y/o sistemas ingresados al sistema.

**Tabla 1.** Población

<b>SISTEMAS</b>	<b>CANTIDAD</b>
Equipos y Sistemas Eléctricos	18
Sección 1	26
Sección 2	26
Sección 3	41
Sección 4	33
Sección 5	15
Grupo de Bombeo 1	18
Grupo de Bombeo 2	18
Grupo de Bombeo 3	15
Grupo de Bombeo 4	18
Sala de Control	7
<b>TOTAL</b>	<b>235</b>

## 2.3 Categorización de Equipos

Para determinar la cantidad de equipos críticos a desarrollar los AMEF, se clasificó el total de la población de equipos por prioridades, mediante la siguiente interpretación:

1. **Prioridad Alta:** Equipos involucrados directamente en la operación del TME, los cuales un fallo afecta considerablemente al proceso productivo y pueden ocasionar paros no programados de planta.

2. **Prioridad Media:** Equipos secundarios a la operación del TME, los cuales un fallo no afecta directamente al proceso productivo debido a que existen alternativas de operación.
3. **Prioridad Baja:** Equipos complementarios a la operación del TME, los cuales un fallo no afecta al proceso productivo debido a que pueden operar con o sin ellos.

Jerarquizando los equipos se trabajó directamente con los equipos Prioridad Alta, obteniendo un total de 41 equipos a realizar los AMEF. La clasificación de los equipos se lo puede visualizar en el *Anexo I*.

## 2.4 Métodos

### 2.4.1 Fichas Técnicas

Considerando los equipos de prioridad alta, se desarrolló Fichas Técnicas (*Anexo 2*) las cuales constan de las siguientes partes:

1. **Datos de placa e información inicial:** Información proporcionada por el fabricante, la misma que se encuentra en la placa del equipo. Además de datos de codificación propia del departamento, fechas de compra, valores y garantía técnica.
2. **Descripción del equipo, características y referencias técnicas:** Información con la que el personal técnico le conoce al equipo; en la que se incluye su ubicación, características técnicas principales y referencias técnicas a las cuales se encuentra comisionado el equipo.
3. **Análisis de criticidad, modelo de mantenimiento, elementos y repuestos críticos:** Información que detalla la criticidad del equipo (A = altamente crítico, B = moderadamente crítico, C = no crítico) desglosado por partes mecánicas, eléctricas y electrónicas; se describe el tipo de mantenimiento utilizado y se detallan los elementos y repuestos críticos que lo conforman.
4. **Herramientas especiales, formación necesaria y mantenimiento legal:** Información que describe las herramientas especiales, en caso de haberlas, que

se usan para ejecutar el mantenimiento al equipo; se detalla también el tipo de formación técnica necesaria para intervenir en el mismo y si para su ejecución se requiere algún mantenimiento legal.

### 2.4.2 Metodología del AMEF

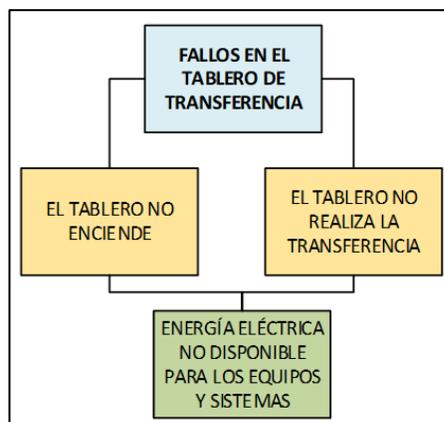
Existen siete pasos fundamentales para la elaboración de un Análisis de Modo y Efecto de Falla AMEF:

1. **Definición de la estructura:** Se basa en la definición del sistema y su función dentro del proceso productivo. En la *Tabla 2* se muestra un ejemplo.

**Tabla 2.** Definición de la estructura: Tablero de Transferencia Automático y Distribución Principal

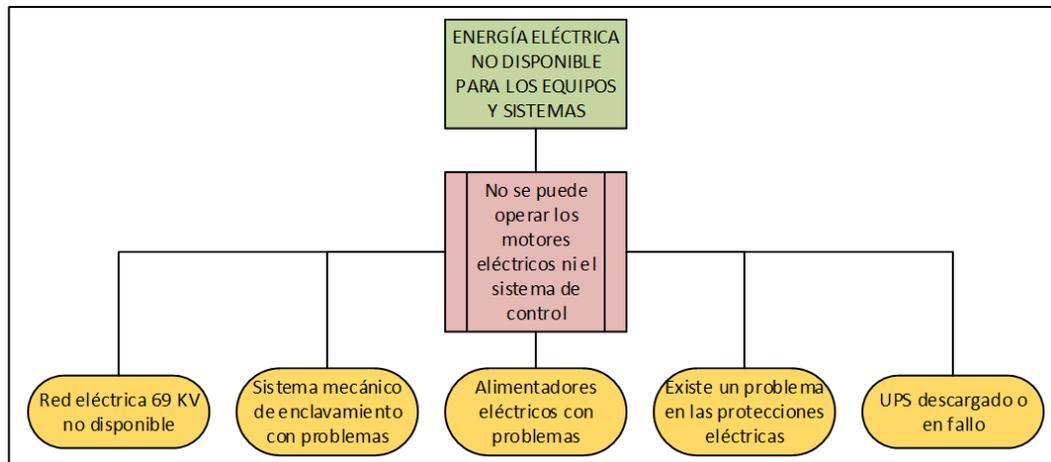
Componente del Sistema	Función
Tablero de Transferencia Automático y Distribución Principal	Permitir el flujo de la energía eléctrica a los equipos y sistemas del TME

1. **Descripción de las fallas funcionales:** Análisis a partir de las funciones y los requisitos para determinar los posibles errores y fallas que se puede encontrar en cada uno de ellos. En la *Figura 25* se muestra un ejemplo.



**Figura 25.** Descripción de las fallas funcionales: Tablero de Transferencia Automático y Distribución Principal

2. **Análisis de los Efectos y Causas:** Análisis de cada efecto y su posible causa de origen en el proceso productivo; el análisis se lo realiza a partir de cada fallo funcional. En la *Figura 26* se muestra un ejemplo.



**Figura 26.** Análisis de los efectos y causas: Tablero de Transferencia Automático y Distribución Principal

**3. Análisis de la Prioridad de Riesgo Inicial:** Análisis basado en el impacto del riesgo (gravedad), la posibilidad de riesgo (ocurrencia) y las oportunidades de riesgo (detección) iniciales, determinando un valor en la escala del uno al diez a cada variable dependiendo de su significancia dentro del proceso productivo; el valor de la prioridad de riesgo NPR se obtendrá multiplicando los valores unitarios de los tres anteriores. En la *Tabla 3* se muestra un ejemplo.

**Tabla 3.** Análisis de la Prioridad de riesgo: Tablero de Transferencia Automático y Distribución Principal

Efecto	Causas	G gravedad	O ocurrencia	D detección	NPR inicial
No se puede operar los motores eléctricos ni el sistema de control	Red eléctrica 69 KV no disponible	7	5	7	<b>245</b>
	Sistema mecánico de enclavamiento con problemas	8	4	7	<b>224</b>
	Alimentadores eléctricos con problemas	7	3	7	<b>147</b>
No se puede circular el hidrocarburo por la tubería	Existe un problema en las protecciones eléctricas	5	6	3	<b>90</b>
	UPS descargado o en fallo	6	4	5	<b>120</b>

**4. Descripción de las Acciones Recomendadas y el Tipo de Mantenimiento:** En esta etapa se describen las acciones a ejecutar para posterior solución de las fallas funcionales del equipo; además el tipo de

mantenimiento que se ejecutará para su efecto. En la *Tabla 4* se muestra un ejemplo.

**Tabla 4.** Acciones recomendadas y tipo de mantenimiento: Tablero de Transferencia Automático y Distribución Principal

Acciones recomendadas	CORRECTIVA	PREVENTIVA	MODIFICACIÓN	PREDICTIVA
- Revisar la red eléctrica de 69 KV.				
- Revisar las protecciones del patio de transformadores de la subestación eléctrica.	x			x
- Revisar los mecanismos de enclavamiento de los tableros.	x			x
- Revisar las conexiones de cables de media tensión desde y hacia los tableros.	x			x
- Revisar el analizador de energía eléctrica según el código de falla.			x	x
- Revisar el estado del UPS de alimentación.	x		x	x

**5. Detalle de los responsables y las acciones a tomar:** Se analizará la o las personas responsables y la acciones a tomar para solucionar el fallo; se diferencia de la etapa de *Acciones Recomendadas* debido a que en este punto se detallará el “cómo se solucionó el problema” y más no el “qué se debe hacer”. En la *Tabla 5* se muestra un ejemplo.

**Tabla 5.** Detalle de los responsables y las acciones a tomar: Tablero de Transferencia Automático y Distribución Principal

Responsable	Acción Tomada
Técnico Líder en Electricidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Contactar al proveedor de la red eléctrica 69KV.</li> <li>- Cambio de las protecciones eléctricas en el patio de transformadores.</li> <li>- Mantenimiento de los engranes y mecanismos de enclavamiento</li> <li>- Mantenimiento de los cables de media tensión.</li> <li>- Resetear falla en el analizador de energía.</li> <li>- En caso de que la falla persista se deberá llegar a la causa raíz.</li> <li>- Mantenimiento del UPS.</li> <li>- En caso de que el UPS no encienda, se deberá sustituirlo con una fuente de generación alterna.</li> </ul>

**6. Análisis de la Prioridad de Riesgo Final:** Análisis basado en el impacto del riesgo (gravedad), la posibilidad de riesgo (ocurrencia) y las

oportunidades de riesgo (detección) finales, determinando un valor en la escala del uno al diez a cada variable dependiendo de su significancia posterior a la solución del fallo funcional dentro del proceso productivo; el valor de la prioridad de riesgo NPR se obtendrá multiplicando los valores unitarios de los tres anteriores. En la *Tabla 6* se muestra un ejemplo.

**Tabla 6.** Análisis de la Prioridad de Riesgo Final: Tablero de Transferencia Automático y Distribución Principal

<b>G gravedad</b>	<b>O ocurrencia</b>	<b>D detección</b>	<b>NPR final</b>
6	4	6	<b>144</b>
7	4	6	<b>168</b>
6	3	6	<b>108</b>
4	5	3	<b>60</b>
5	4	5	<b>100</b>

### **2.4.3 Planes de Mantenimiento Preventivos Propuestos**

Con la metodología AMEF se logró determinar las acciones a tomar para solucionar fallos en cada equipo, los cuales sirvieron para crear los planes de mantenimiento preventivos propuestos. Cada plan tiene tareas, tiempo y personal necesario para su ejecución.

## 1. Tableros de Transferencia Automático y Distribución Principal:

 <b>TERMINALES MARITIMOS BALAO</b> <b>OPERACIONES TERRESTRES</b> <b>MANTENIMIENTO TERRESTRE</b>			
<b>EQUIPO</b>	TABLEROS DE TRANSFERENCIA AUTOMÁTICO Y DISTRIBUCIÓN PRINCIPAL	<b>CÓDIGOS</b>	TTA-001 TTP-001
<b>PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO</b>			
<b>FRECUENCIA</b>	SEMESTRAL		
<b>TAREA</b>	<b>ACCIONES A TOMAR</b>	<b>TIEMPO DE EJECUCIÓN</b>	<b>PERSONAL NECESARIO</b>
1	- Revisar la red eléctrica de 69 KV. - Revisar las protecciones del patio de transformadores de la subestación eléctrica.	1:30:00	1 Técnico Eléctrico
2	- Revisar los mecanismos de enclavamiento de los tableros.	1:00:00	1 Técnico Eléctrico
3	- Revisar las conexiones de cables de media tensión desde y hacia los tableros.	2:00:00	1 Técnico Eléctrico
4	- Revisar códigos de fallos en el analizador de energía.	1:00:00	1 Técnico Líder Eléctrico
5	- Revisar el estado del UPS de alimentación.	0:30:00	1 Técnico Eléctrico
<b>TIEMPO DE EJECUCIÓN PROGRAMADO</b>		<b>6:00:00</b>	

Figura 27. Plan de Mantenimiento Preventivo - Tableros de Transferencia Automático y Distribución Principal

## 2. Transformadores Eléctricos:

 <b>TERMINALES MARITIMOS BALAO</b> <b>OPERACIONES TERRESTRES</b> <b>MANTENIMIENTO TERRESTRE</b>			
<b>EQUIPO</b>	TRANSFORMADORES ELÉCTRICOS	<b>CÓDIGOS</b>	TRA-001 TRA-002 TRA-003 TRA-004
<b>PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO</b>			
<b>FRECUENCIA</b>	SEMESTRAL		
<b>TAREA</b>	<b>ACCIONES A TOMAR</b>	<b>TIEMPO DE EJECUCIÓN</b>	<b>PERSONAL NECESARIO</b>
1	- Revisar la red eléctrica de 13,8 KV. - Revisar las condiciones de los tableros de distribución y transferencia automática. - Revisar las acometidas eléctricas de alimentación al primario del transformador.	2:00:00	1 Técnico Eléctrico
2	- Revisar la red eléctrica de 4,16 KV. - Revisar las condiciones de los tableros de distribución y transferencia automática. - Revisar las acometidas eléctricas de alimentación al secundario del transformador.	2:00:00	1 Técnico Eléctrico
<b>TIEMPO DE EJECUCIÓN PROGRAMADO</b>		<b>4:00:00</b>	

Figura 28. Plan de Mantenimiento Preventivo - Transformadores Eléctricos

### 3. Tableros Eléctricos de Campo:

 <b>TERMINALES MARITIMOS BALAO</b> <b>OPERACIONES TERRESTRES</b> <b>MANTENIMIENTO TERRESTRE</b>			
<b>EQUIPO</b>	TABLEROS ELÉCTRICOS DE CAMPO	<b>CÓDIGOS</b>	TEG-001 TEG-002 TEG-003 TEG-004 TEG-005
<b>PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO</b>			
<b>FRECUENCIA</b>	SEMESTRAL		
<b>TAREA</b>	<b>ACCIONES A TOMAR</b>	<b>TIEMPO DE EJECUCIÓN</b>	<b>PERSONAL NECESARIO</b>
1	- Revisar la red eléctrica de 460 VAC. - Revisar las condiciones de los tableros y transformadores de alimentación eléctrica.	1:30:00	1 Técnico Eléctrico
2	- Revisar las condiciones de las protecciones eléctricas del tablero.	1:00:00	1 Técnico Eléctrico
<b>TIEMPO DE EJECUCIÓN PROGRAMADO</b>		<b>2:30:00</b>	

Figura 29. Plan de Mantenimiento Preventivo - Tableros Eléctricos de Campo

### 4. Switchgear:

 <b>TERMINALES MARITIMOS BALAO</b> <b>OPERACIONES TERRESTRES</b> <b>MANTENIMIENTO TERRESTRE</b>			
<b>EQUIPO</b>	SWITCHGEAR	<b>CÓDIGOS</b>	SWG-001 SWG-002
<b>PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO</b>			
<b>FRECUENCIA</b>	SEMESTRAL		
<b>TAREA</b>	<b>ACCIONES A TOMAR</b>	<b>TIEMPO DE EJECUCIÓN</b>	<b>PERSONAL NECESARIO</b>
1	- Revisar la red eléctrica de 4,16 KV.	1:00:00	1 Técnico Eléctrico
2	- Revisar las condiciones de las protecciones eléctricas del Switchgear.	1:30:00	1 Técnico Eléctrico
<b>TIEMPO DE EJECUCIÓN PROGRAMADO</b>		<b>2:30:00</b>	

Figura 30. Plan de Mantenimiento Preventivo – Switchgear

## 5. Variadores de Frecuencia:

 <b>TERMINALES MARITIMOS BALAO</b> <b>OPERACIONES TERRESTRES</b> <b>MANTENIMIENTO TERRESTRE</b>			
<b>EQUIPO</b>	VARIADORES DE FRECUENCIA	<b>CÓDIGOS</b>	VFD-001 VFD-002 VFD-003 VFD-004
<b>PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO</b>			
<b>FRECUENCIA</b>	SEMESTRAL		
<b>TAREA</b>	<b>ACCIONES A TOMAR</b>	<b>TIEMPO DE EJECUCIÓN</b>	<b>PERSONAL NECESARIO</b>
1	- Revisar la red eléctrica de 4,16 KV.	1:00:00	1 Técnico Eléctrico
2	- Revisar las condiciones de las protecciones eléctricas del Switchgear.	1:30:00	1 Técnico Eléctrico
3	- Revisar códigos de fallos y/o alarmas.	1:00:00	1 Técnico Líder Eléctrico
<b>TIEMPO DE EJECUCIÓN PROGRAMADO</b>		<b>3:30:00</b>	

Figura 31. Plan de Mantenimiento Preventivo – Variadores de Frecuencia

## 6. Válvulas de Seguridad:

 <b>TERMINALES MARITIMOS BALAO</b> <b>OPERACIONES TERRESTRES</b> <b>MANTENIMIENTO TERRESTRE</b>			
<b>EQUIPO</b>	VÁLVULA DE SEGURIDAD	<b>CÓDIGOS</b>	PSV-L2001 PSV-L3001 PSV-L4001 PSV-L5001 PSV-L6001 PSV-L7001 PSV-L2002 PSV-L3002 PSV-L5002 PSV-L6002 PSV-L7002 PSV-L8002 PSV-L9002
<b>PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO</b>			
<b>FRECUENCIA</b>	SEMESTRAL		
<b>TAREA</b>	<b>ACCIONES A TOMAR</b>	<b>TIEMPO DE EJECUCIÓN</b>	<b>PERSONAL NECESARIO</b>
1	- Revisar los mecanismos internos de la válvula.	2:00:00	1 Técnico Mecánico
2	- Revisar las condiciones de operación y seteos de calibración de la válvula.	1:30:00	1 Técnico Mecánico
<b>TIEMPO DE EJECUCIÓN PROGRAMADO</b>		<b>3:30:00</b>	

Figura 32. Plan de Mantenimiento Preventivo – Válvulas de Seguridad

## 7. Bombas Centrífugas:

 <b>TERMINALES MARITIMOS BALAO</b> <b>OPERACIONES TERRESTRES</b> <b>MANTENIMIENTO TERRESTRE</b>			
<b>EQUIPO</b>	BOMBA CENTRÍFUGA	<b>CÓDIGOS</b>	BOMBA-001 BOMBA-002 BOMBA-003 BOMBA-004
<b>PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO</b>			
<b>FRECUENCIA</b>	SEMESTRAL		
<b>TAREA</b>	<b>ACCIONES A TOMAR</b>	<b>TIEMPO DE EJECUCIÓN</b>	<b>PERSONAL NECESARIO</b>
1	- Revisar obstrucciones en las tuberías de succión/descarga.	1:00:00	1 Técnico Mecánico
2	- Revisar las condiciones de las variables de vibración y alineamiento de la unidad de bombeo.	2:00:00	1 Técnico Líder Mecánico
3	- Revisar rodamientos y elementos del matrimonio (unión motor-bomba).	2:00:00	1 Técnico Mecánico
<b>TIEMPO DE EJECUCIÓN PROGRAMADO</b>		<b>5:00:00</b>	

Figura 33. Plan de Mantenimiento Preventivo – Bombas Centrífugas

## 8. Servidores del Sistema de Control:

 <b>TERMINALES MARITIMOS BALAO</b> <b>OPERACIONES TERRESTRES</b> <b>MANTENIMIENTO TERRESTRE</b>			
<b>EQUIPO</b>	SERVIDORES DEL SISTEMA DE CONTROL	<b>CÓDIGOS</b>	SERV-001 SERV-002 SERV-003 SERV-004
<b>PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO</b>			
<b>FRECUENCIA</b>	SEMESTRAL		
<b>TAREA</b>	<b>ACCIONES A TOMAR</b>	<b>TIEMPO DE EJECUCIÓN</b>	<b>PERSONAL NECESARIO</b>
1	- Revisar niveles de suministro eléctrico.	1:00:00	1 Técnico Electrónico
2	- Revisar las condiciones de las tarjetas internas del servidor.	1:00:00	1 Técnico Electrónico
3	- Revisar la topología y puntos de red que llegan y salen del servidor.	2:00:00	1 Técnico Líder Electrónico
<b>TIEMPO DE EJECUCIÓN PROGRAMADO</b>		<b>4:00:00</b>	

Figura 34. Plan de Mantenimiento Preventivo – Servidores del Sistema de Control

## 9. PLC's del Sistema de Control:

 <b>TERMINALES MARITIMOS BALAO</b> <b>OPERACIONES TERRESTRES</b> <b>MANTENIMIENTO TERRESTRE</b>			
<b>EQUIPO</b>	PLC's DEL SISTEMA DE CONTROL	<b>CÓDIGOS</b>	CTRL-001 CTRL-002
<b>PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO</b>			
<b>FRECUENCIA</b>	SEMESTRAL		
<b>TAREA</b>	<b>ACCIONES A TOMAR</b>	<b>TIEMPO DE EJECUCIÓN</b>	<b>PERSONAL NECESARIO</b>
1	- Revisar niveles de suministro eléctrico.	0:30:00	1 Técnico Electrónico
2	- Revisar las condiciones de las tarjetas internas del PLC.	1:30:00	1 Técnico Líder Electrónico
3	- Revisar la topología y puntos de red que llegan y salen del PLC.	1:30:00	1 Técnico Líder Electrónico
<b>TIEMPO DE EJECUCIÓN PROGRAMADO</b>		<b>3:30:00</b>	

**Figura 35.** Plan de Mantenimiento Preventivo – PLC's del Sistema de Control

### 2.4.4 Indicadores Clave de Rendimiento

Establecer un sistema de indicadores nace del requerimiento de direccionar los objetivos dando un seguimiento de los resultados tanto a nivel global como de desarrollo. [23]

Para asegurar la operación ininterrumpida de los procesos de carga y reversión del Terminal Marítimo Esmeraldas – EP. Petroecuador, es necesario determinar la fiabilidad de los equipos y sistemas inherentes. La fiabilidad es una probabilidad de que un equipo funcione en condiciones normales durante un tiempo determinado, siguiendo las condiciones especificadas en su operación. [9]

Para calcular la fiabilidad de un equipo y/o sistema, existen indicadores clave de rendimiento KPI asociados al mantenimiento industrial, los cuales nos ayudan a prevenir posibles fallas en la cadena productiva. Con los indicadores clave de rendimiento se mide los objetivos planteados de una organización, reflejando su rendimiento que se visualizará en un plan estratégico. [24].

Un indicador es un número que permite conocer los elementos críticos en la empresa con relación a las expectativas de los clientes en concordancia con plazos, calidad-costo [25].

- 1) **Tiempo Medio entre Fallas – Mean Time Between Failures MTBF:** Es el promedio de los tiempos transcurridos entre las fallas y mediante el cual se determina la disponibilidad de un equipo; mientras más elevado sea el tiempo, más fiable es el funcionamiento del mismo, aportando mayor disponibilidad a la operación. Proporciona el periodo de presencia de las fallas por averías en un objeto, permitiendo estar a fin de minimizar los tiempos de parada [26].

Para calcular el MTBF se determina el tiempo de producción dividido para el número de reparaciones.

$$MTBF = \frac{\textit{Tiempo de producción}}{\textit{Número de reparaciones}}$$

Tomando como referencia los datos existentes en las órdenes de trabajo de mantenimientos correctivos del sistema MAXIMO®, se calcularon los tiempos de producción de cada equipo:

$$\textit{Tiempo de producción} = \textit{Tiempo disponible} - \textit{Tiempo de reparación}$$

El tiempo de operación de los equipos es 24/7 que es el mismo tiempo disponible, con ello los datos son los siguientes:

**Tabla 7.** Cálculo del MTBF: julio 2020, Sistema MAXIMO® - TMB.

	EQUIPO	# Reparaciones	jul-20		MTBF (horas)
			Tiempo de Reparación (horas)	Tiempo de producción (horas)	
1	Tableros de Transferencia Automático y Distribución Principal	2.00	10.00	734.00	367.00
2	Transformadores Eléctricos	0.00	0.00	744.00	-
3	Tableros Eléctricos de Campo 460 VAC	3.00	12.00	732.00	244.00
4	Switchgear 1IN- 2OUT	1.00	6.00	738.00	738.00
5	Variador Eléctrico de Frecuencia de Media Tensión	2.00	12.00	732.00	366.00
6	Válvula de Seguridad	1.00	6.00	738.00	738.00
7	Bomba Centrífuga	1.00	8.00	736.00	736.00
8	Servidores del Sistema de Control	1.00	4.00	740.00	740.00
9	PLC's del Sistema de Control	1.00	4.00	740.00	740.00

La *Tabla 7* indica como referencia el MTBF del mes de julio de 2020; se realizó el mismo procedimiento para los meses restantes del segundo semestre del 2020, obteniendo como resultado que las fallas más recurrentes se dan en los Tableros Eléctricos de Campo con una media semestral de 582.33 horas por mes, así mismo las fallas menos recurrentes son en los Switchgear; las gráficas de los resultados se los puede apreciar en la *Figura 36*.

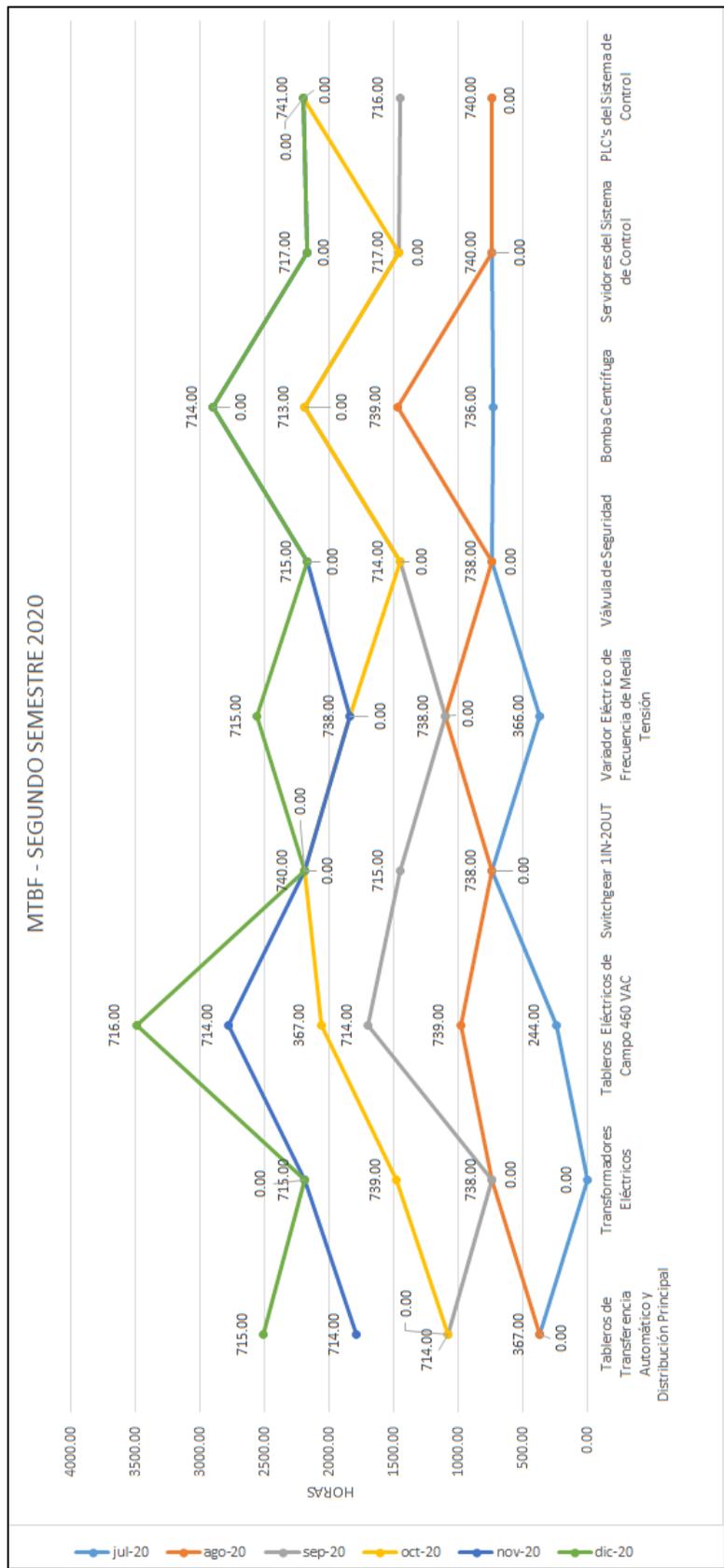


Figura 36. MTBF - Segundo Semestre 2020

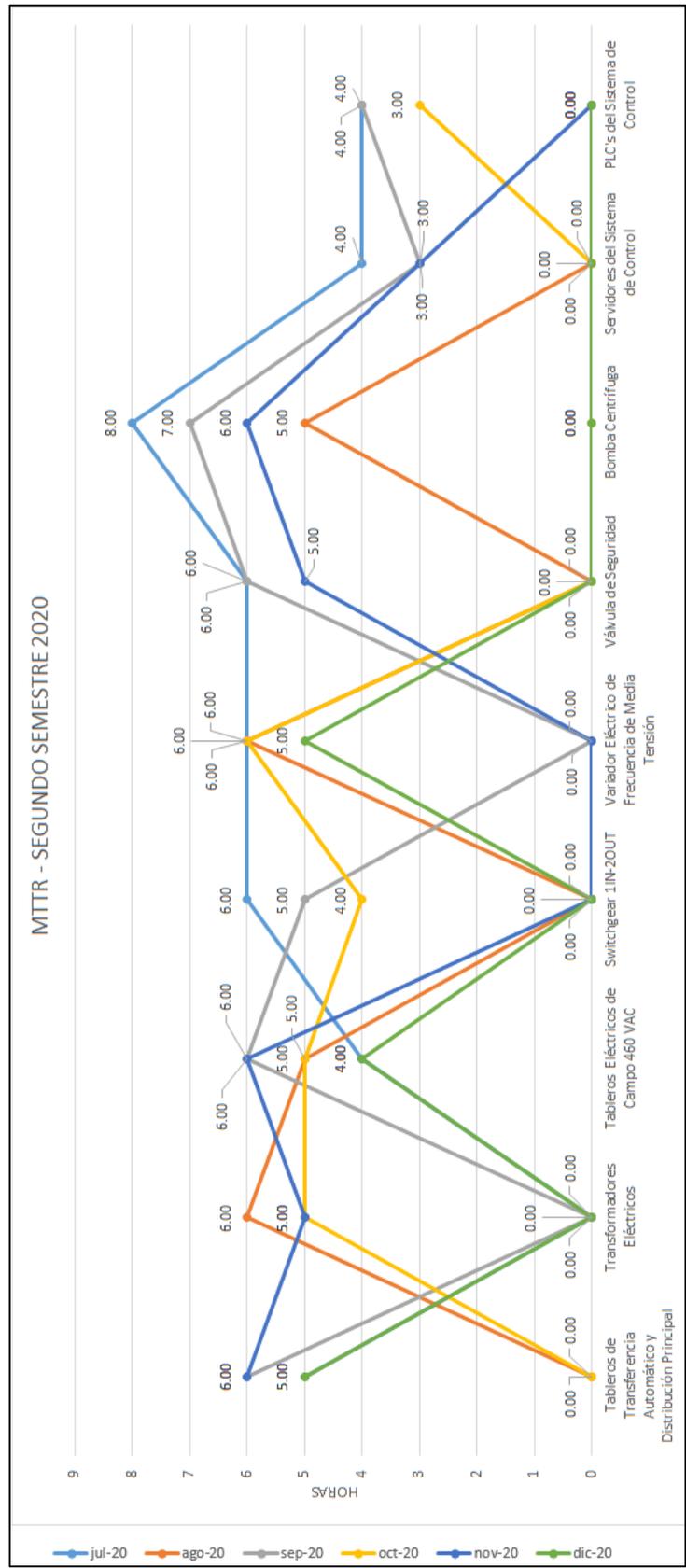
- 2) **Tiempo Medio de Reparación – Mean Time To Repair MTTR:** Es el promedio del tiempo requerido para reparar una falla en un equipo, es decir el promedio del Mantenimiento Correctivo. Si el tiempo es muy elevado, indica que es más conveniente reemplazarlo que repararlo. Para calcular el MTTR se determina el tiempo total del Mantenimiento Correctivo realizado en un periodo dividido para el número de reparaciones.

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de Reparaciones}}{\text{Número de reparaciones}}$$

La *Tabla 8* indica como referencia el MTTR del mes de julio de 2020; se realizó el mismo procedimiento para los meses restantes del segundo semestre del 2020, obteniendo como resultado que los equipos que más tardan en repararse son las Bombas Centrífugas, así mismo los equipos que menos tardan en ponerse en marcha luego de un correctivo son los Servidores del Sistema de Control; las gráficas de los resultados se los puede apreciar en la *Figura 37*.

**Tabla 8.** Cálculo del MTTR: julio 2020, Sistema MAXIMO® - TMB.

	EQUIPO	# Reparaciones	jul-20	
			Tiempo de Reparación (horas)	MTTR (horas)
1	Tableros de Transferencia Automático y Distribución Principal	2.00	10.00	5.00
2	Transformadores Eléctricos	0.00	0.00	0.00
3	Tableros Eléctricos de Campo 460 VAC	3.00	12.00	4.00
4	Switchgear 1IN-2OUT	1.00	6.00	6.00
5	Variador Eléctrico de Frecuencia de Media Tensión	2.00	12.00	6.00
6	Válvula de Seguridad	1.00	6.00	6.00
7	Bomba Centrífuga	1.00	8.00	8.00
8	Servidores del Sistema de Control	1.00	4.00	4.00
9	PLC's del Sistema de Control	1.00	4.00	4.00



**Figura 37.** MTTR - Segundo Semestre 2020

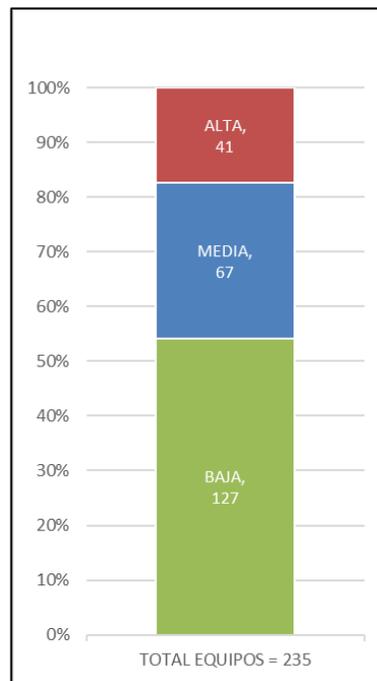
## CAPÍTULO III

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Categorización de Equipos

Los 235 equipos del TME actualmente no tienen prioridad ni jerarquía de ejecución de órdenes de trabajo; pero una vez desarrollada la categorización de equipos explicada en la sección 2.3, se obtuvieron los siguientes resultados:

1. **Prioridad Alta:** Total de 41 de los cuales se desarrolló nuevos planes de mantenimiento y AMEF obteniendo un total de 139.5 horas - hombre para la ejecución de trabajos.
2. **Prioridad Media:** Total de 67 de los cuales se calculó un estimado total de 187.5 horas - hombre para la ejecución de trabajos.
3. **Prioridad Baja:** Total de 127 de los cuales se calculó un estimado total de 318 horas - hombre para la ejecución de trabajos.

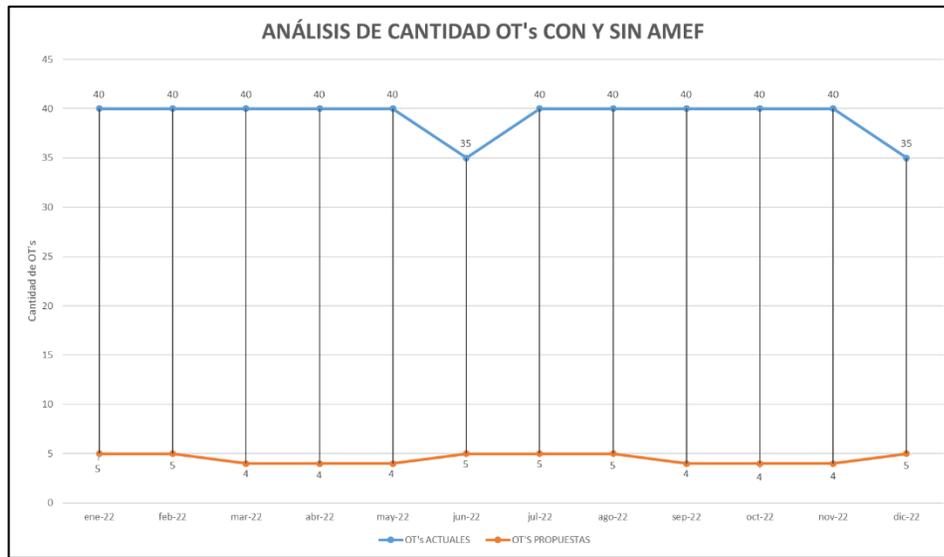


**Figura 38.** Cantidad de equipos por categorías TME

### 3.2 Órdenes de Trabajo

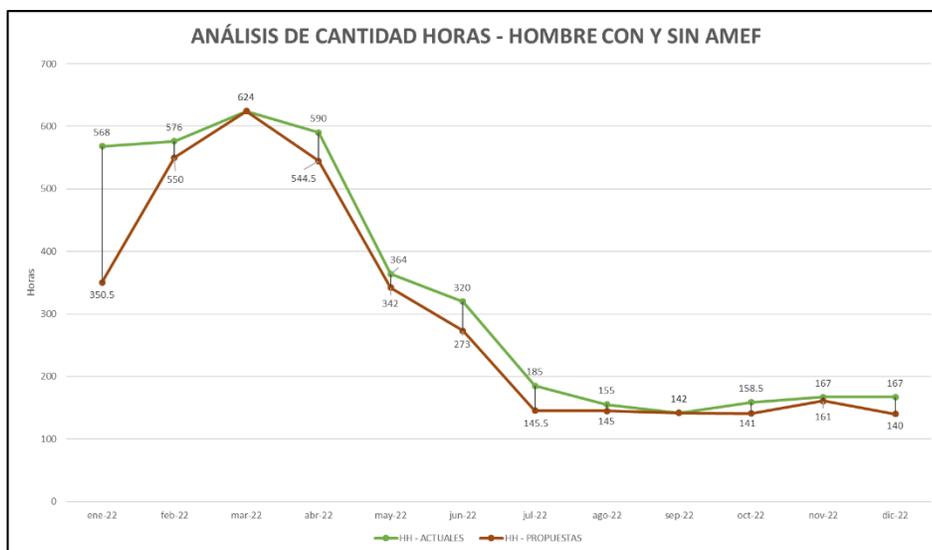
La falta de personal para completar la plantilla mínima del departamento de mantenimiento terrestre no modificó la cantidad de órdenes de trabajo, ocasionando una baja productividad en el cumplimiento de los trabajos planificados.

Con la implementación de la propuesta se reducirán las órdenes de trabajo y se priorizarán las ejecuciones con categorías de equipos; además la cantidad de horas-hombre por trabajo disminuirán, adaptándose a la cantidad actual de personal del departamento.



**Figura 39.** Pronóstico de cantidad de OT's con y sin AMEF: enero 2022-diciembre 2022

Realizando un pronóstico de la cantidad de trabajos en el año 2022 se deduce que existirá un promedio de 39,17 órdenes de trabajo por mes, lo que incurre a una cantidad promedio de 162,42 horas-hombre por mes para el cumplimiento de los trabajos de Mantenimiento Preventivo de la Estación TME.



**Figura 40.** Pronóstico de cantidad de H-H con y sin AMEF: enero 2022-diciembre 2022

Debido a que la Planificación de Mantenimiento Preventivo es igual para todos los años; con la implementación de la propuesta se reducirán las órdenes de trabajo y la cantidad de horas-hombre empleadas. Se implementará la propuesta en el mismo intervalo de tiempo (enero 2022 – diciembre 2022), proyectando los siguientes resultados:

- Disminución de OT's: 88,51% *Promedio Mensual*
- Disminución de H-H: 11,40% *Promedio Mensual*

Cabe mencionar que solamente hubo reducción de horas-hombre en las órdenes de trabajo cuyos equipos son prioridad uno, a los cuales se realizaron nuevas propuestas de planes de mantenimiento con obtención de nuevos tiempos de ejecución. Sin embargo, si se analizarían todos los equipos, la disminución de horas-hombre por mes será mucho más representativa.

Actualmente la ejecución de los trabajos lo realiza el personal dependiendo de su competencia (Mecánicos, Eléctricos, Instrumentación y Control); la productividad incrementaría si una persona realizara todos los trabajos debido a que no se requiere de especialistas sino de personal que se capacite y pueda ejecutar tareas de las diferentes áreas, como por ejemplo, la misma persona podría realizar el mantenimiento

de una bomba centrífuga, el mantenimiento de un transformador eléctrico y el mantenimiento de un controlador.

### 3.3 Costos

La capacidad de obtener resultados utilizando recursos finitos se llama productividad, mientras menor sea la cantidad de recursos, mayor será la productividad [27]. En el caso de los costos, la productividad aumentará utilizando los planes de mantenimiento propuestos, debido a que se requerirá menor cantidad de personal para la ejecución de trabajos, ahorrando a la empresa recursos económicos.

**Tabla 9.** Costos del Personal con el Plan de Mantenimiento Actual

EQUIPO	PLAN DE MANTENIMIENTO ACTUAL				
	PERSONAL NECESARIO	TIEMPO DE TRABAJO (HORAS)	RMU	COSTO HORA	COSTO TOTAL
Tableros de Transferencia Automático y Distribución Principal	1 Técnico Líder Eléctrico	10	\$ 1.815,00	\$ 11,34	\$ 113,44
	1 Técnico Eléctrico	10	\$ 1.334,00	\$ 8,34	\$ 83,38
Transformadores Eléctricos	1 Técnico Líder Eléctrico	8	\$ 1.815,00	\$ 11,34	\$ 90,75
	1 Técnico Eléctrico	8	\$ 1.334,00	\$ 8,34	\$ 66,70
Tableros Eléctricos de Campo 460 VAC	1 Técnico Líder Eléctrico	6	\$ 1.815,00	\$ 11,34	\$ 68,06
	1 Técnico Eléctrico	6	\$ 1.334,00	\$ 8,34	\$ 50,03
Switchgear IIN-2OUT	1 Técnico Líder Eléctrico	6	\$ 1.815,00	\$ 11,34	\$ 68,06
	1 Técnico Eléctrico	6	\$ 1.334,00	\$ 8,34	\$ 50,03
Variador Eléctrico de Frecuencia de Media Tensión	1 Técnico Líder Eléctrico	8	\$ 1.815,00	\$ 11,34	\$ 90,75
	1 Técnico Eléctrico	8	\$ 1.334,00	\$ 8,34	\$ 66,70
Válvula de Seguridad	1 Técnico Líder Mecánico	5	\$ 1.815,00	\$ 11,34	\$ 56,72
	1 Técnico Mecánico	5	\$ 1.334,00	\$ 8,34	\$ 41,69
Bomba Centrífuga	1 Técnico Líder Mecánico	8	\$ 1.815,00	\$ 11,34	\$ 90,75
	1 Técnico Mecánico	8	\$ 1.334,00	\$ 8,34	\$ 66,70
Servidores del Sistema de Control	1 Técnico Líder Instrumentista	4	\$ 1.815,00	\$ 11,34	\$ 45,38
	1 Técnico Instrumentista	4	\$ 1.334,00	\$ 8,34	\$ 33,35
PLC's del Sistema de Control	1 Técnico Líder Instrumentista	4	\$ 1.815,00	\$ 11,34	\$ 45,38
	1 Técnico Instrumentista	4	\$ 1.334,00	\$ 8,34	\$ 33,35
		<b>118</b>			<b>\$ 1.161,19</b>

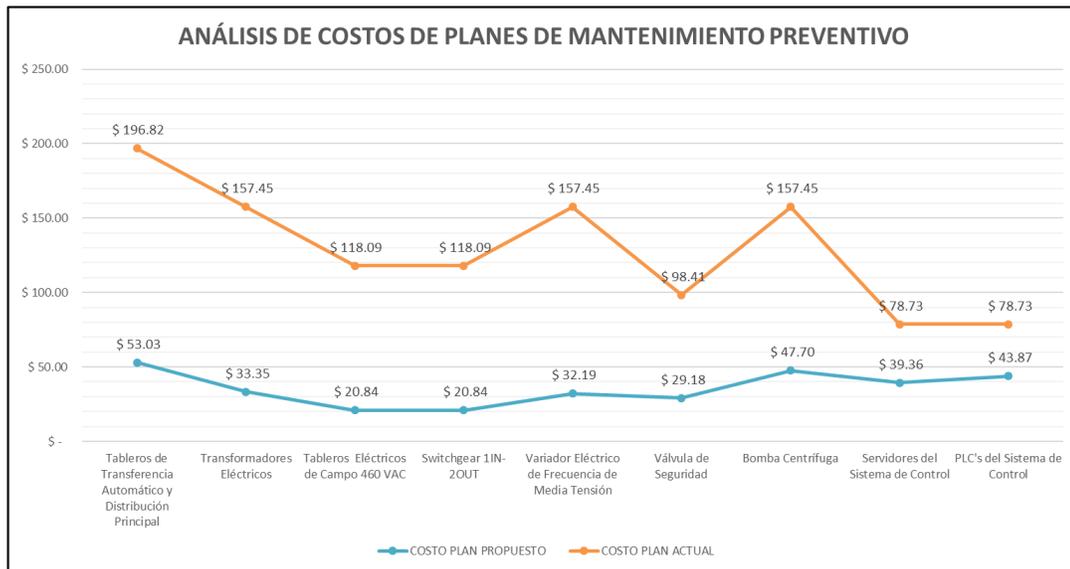
Analizando los equipos prioridad alta del TME, se observa en la *Tabla 9* que el costo por ejecutar las órdenes de trabajo de los mismos alcanza un valor de \$1.161,19 con el personal actualmente empleado.

**Tabla 10.** Costos del Personal con el Plan de Mantenimiento Propuesto

<b>PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO</b>					
<b>EQUIPO</b>	<b>PERSONAL NECESARIO</b>	<b>TIEMPO DE TRABAJO (HORAS)</b>	<b>RMU</b>	<b>COSTO HORA</b>	<b>COSTO TOTAL</b>
<b>Tableros de Transferencia Automático y Distribución Principal</b>	1 Técnico Líder Eléctrico	1	\$ 1.815,00	\$ 11,34	\$ 11,34
	1 Técnico Eléctrico	5	\$ 1.334,00	\$ 8,34	\$ 41,69
<b>Transformadores Eléctricos</b>	1 Técnico Líder Eléctrico	0	\$ 1.815,00	\$ 11,34	\$ -
	1 Técnico Eléctrico	4	\$ 1.334,00	\$ 8,34	\$ 33,35
<b>Tableros Eléctricos de Campo 460 VAC</b>	1 Técnico Líder Eléctrico	0	\$ 1.815,00	\$ 11,34	\$ -
	1 Técnico Eléctrico	2,5	\$ 1.334,00	\$ 8,34	\$ 20,84
<b>Switchgear 11N-20UT</b>	1 Técnico Líder Eléctrico	0	\$ 1.815,00	\$ 11,34	\$ -
	1 Técnico Eléctrico	2,5	\$ 1.334,00	\$ 8,34	\$ 20,84
<b>Variador Eléctrico de Frecuencia de Media Tensión</b>	1 Técnico Líder Eléctrico	1	\$ 1.815,00	\$ 11,34	\$ 11,34
	1 Técnico Eléctrico	2,5	\$ 1.334,00	\$ 8,34	\$ 20,84
<b>Válvula de Seguridad</b>	1 Técnico Líder Mecánico	0	\$ 1.815,00	\$ 11,34	\$ -
	1 Técnico Mecánico	3,5	\$ 1.334,00	\$ 8,34	\$ 29,18
<b>Bomba Centrífuga</b>	1 Técnico Líder Mecánico	2	\$ 1.815,00	\$ 11,34	\$ 22,69
	1 Técnico Mecánico	3	\$ 1.334,00	\$ 8,34	\$ 25,01
<b>Servidores del Sistema de Control</b>	1 Técnico Líder Instrumentista	2	\$ 1.815,00	\$ 11,34	\$ 22,69
	1 Técnico Instrumentista	2	\$ 1.334,00	\$ 8,34	\$ 16,68
<b>PLC's del Sistema de Control</b>	1 Técnico Líder Instrumentista	3,5	\$ 1.815,00	\$ 11,34	\$ 39,70
	1 Técnico Instrumentista	0,5	\$ 1.334,00	\$ 8,34	\$ 4,17
		<b>35</b>			<b>\$ 320,37</b>

Los valores de la remuneración mensual unificada RMU, fueron tomados de la Ley de Transparencia de la página de la EP. Petroecuador, cuya información es de acceso público.

El total de horas-hombre para la ejecución de los trabajos de los equipos prioridad alta con el actual plan de mantenimiento es de 118, en cambio con el plan de mantenimiento propuesto será de 35, disminuyendo de un valor de \$1.161,19 a un valor de \$320,37 por la ejecución de los trabajos.



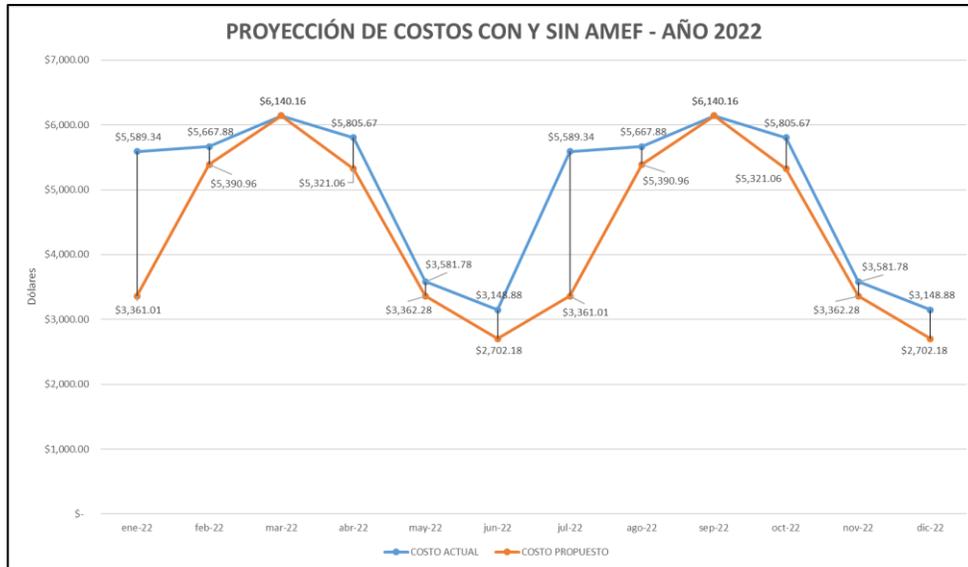
**Figura 41.** Análisis de Costos de Planes MP

Con la *Metodología del AMEF* explicada y realizada en la *sección 2.4.2*, se realizaron *Planes de Mantenimiento Preventivos Propuestos* aplicados a los equipos prioridad alta, descritos en la *sección 2.4.3*; ejecutando tareas que realmente determinan una falla potencial al equipo y con ello disminuyendo la cantidad de actividades para una orden de trabajo, lo que conlleva a reducir la cantidad de horas-hombre, ahorrando significativamente recursos económicos en la ejecución de los trabajos de los equipos prioridad alta del TME.

La proyección de costos para el año 2022 sería la siguiente:

- Costo con el Plan de Mantenimiento Actual: \$59,867.42
- Costo con el Plan de Mantenimiento Propuesto: \$52,555.30

Con la realización de los nuevos planes de mantenimiento a los equipos prioridad uno, se proyecta una disminución de \$7,312.12 por año en la ejecución de los trabajos del TME.



**Figura 42.** Proyección de costos año 2022 con y sin AMEF

Actualmente el Sistema MAXIMO® entrega las ordenes de trabajo con las tareas y tiempos necesarios para cada actividad, pero no se entrega el detalle de las herramientas, materiales y/o repuestos específicos para la ejecución de los mismos; con la propuesta desarrollada el departamento de mantenimiento terrestre del TMB puede trabajar en una fase de implementación al sistema con los nuevos tiempos y recursos requeridos.

## CONCLUSIONES

- Una vez realizado el presente proyecto de desarrollo, se determinó que la planificación actual del departamento de mantenimiento terrestre TMB tiene como objetivos cumplir con las órdenes de trabajo, lo cual es correcto, pero además existen otros indicadores importantes como el MTBF y el MTTR los cuales son implementados con esta propuesta y ayudarán significativamente a lograr una eficiencia, eficacia y organización en el departamento.
- A partir del análisis de la problemática de falta de datos para los planes de mantenimiento, se desarrolló fichas técnicas para los equipos prioridad uno, los cuales constan de características, análisis de criticidad y tipos de mantenimiento necesarios; con ello se mantendrá una base de datos para la gestión de repuestos, producción y comunicación del departamento.
- Para determinar la criticidad de las ordenes de trabajo, se clasificó a los equipos y sistemas del TME en tres categorías, las cuales determinarán prioridades de ejecución, garantizando con ello el normal desarrollo de las operaciones de carga y reversión de hidrocarburos.
- Con la herramienta de Análisis de Modo y Efecto de Fallos AMEF se realizó procedimientos para la detección de riesgos a partir de un análisis de fallas potenciales en cada equipo; analizando el origen del daño, ocurrencia y la manera de localización, fijando un valor que precisará la prioridad del riesgo en la producción; dichos procedimientos permitieron realizar nuevos planes de gestión integral de mantenimiento a los equipos clase uno, determinando con ello las posibles fallas funcionales y sus efectos en las operaciones.
- Al implementar la propuesta de mejora reducirán un 72,41% los costos anuales de mantenimiento a los equipos prioridad uno, así como una disminución en un 88,51% en la cantidad de órdenes de trabajo y una disminución del 10,26% en la cantidad de horas hombre para la ejecución de tareas; aumentando con ello la productividad que es una medida económica en un periodo de tiempo determinado, en el caso de estudio es anual.

## RECOMENDACIONES

- El desarrollo de la propuesta de mejora de la productividad se realizó a los equipos prioridad uno, obteniendo grandes resultados; con base al mismo se recomienda realizar al resto de equipos y sistemas del TMB, logrando una mejora continua en el departamento.
- En base a mi experiencia de siete años trabajando para el Departamento de Mantenimiento Terrestre TMB – EP. Petroecuador, se recomienda realizar una reestructuración en los cargos del personal, debido a que existen funciones de mantenimiento básicas a los equipos que puede realizar el personal de operaciones; además para la ejecución de los trabajos no se necesita especialistas por área, sino solamente personal con entrenamiento, así podrían realizar funciones eléctricas el personal mecánico y viceversa, logrando con ello mejorar aún más la productividad del departamento de mantenimiento terrestre TMB.
- Para lograr una buena gestión logística en la ejecución de los trabajos de mantenimiento, se recomienda ingresar la cantidad de repuestos necesarios en cada plan de mantenimiento, con ello se mantendrá un stock suficiente a futuro para el cumplimiento de las diferentes actividades inherentes al departamento de mantenimiento terrestre TMB.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] E. PETROECUADOR, «Página Oficial de la EP. Petroecuador,» [En línea]. Available: <https://www.eppetroecuador.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/03/INFORME-ESTADISTICO-DICIEMBRE-2018.pdf>. [Último acceso: 01 08 2019].
- [2] R. P. -. Online, «Gobierno reconoce daños ambientales por rotura de oleoductos y poliducto,» 09 04 2021. [En línea]. Available: <https://www.primicias.ec/noticias/economia/gobierno-reconoce-afectaciones-ambientales-ruptura-oleoductos/>. [Último acceso: 22 09 2021].
- [3] B. Cáceres, *Cómo Incrementar la Competitividad del Negocio mediante Estrategias para Gerenciar el Mantenimiento.*, México: VI Congreso Panamericano de ingeniería de Mantenimiento. Septiembre 23 – 24., 2004.
- [4] P. L. Hernández, M. Carro, J. Montes de Oca y S. Fernández, «Optimización del mantenimiento preventivo utilizando las técnicas de diagnóstico integral. Fundamento teórico- práctico.,» 2008. [En línea]. Available: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=329127758003>. [Último acceso: 27 10 2020].
- [5] V. Nayaran, *Effective Maintenance Management. Risk and Reliability Strategies for Optimizing Performance*, New York: Industrial Press Inc., 2012.
- [6] A. Mora Gutierrez, *Mantenimiento, Planeación, Ejecución y Control*, México: Alfaomega, 2009.
- [7] F. González Fernández, *Teoría y Práctica del Mantenimiento Industrial Avanzado*, Madrid: Fundación Cofemetal, 2005.
- [8] S. García Garrido, *Organización y Gestión Integral del Mantenimiento*, Madrid: Díaz de Santos, S. A., 2003.
- [9] M. Muñoz, *Mantenimiento industrial*, Madrid: Universidad Carlos III de Madrid. Área de Ingeniería Mecánica, 2003.
- [10] Chrysler LLC, Ford Motor Company, General Motors Corporation, *Análisis de Modos y Efectos de Fallas Potenciales AMEF Cuarta Edición*, AIAG, 2008.
- [11] J. van Leeuwen, M. Nauta, D. de Kaste, . Y. Odekerken-Rombouts, M. Oldenhof, M. Vredembregt y D. Barends, «Risk analysis by FMEA as an element of analytical validation,» *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, vol. 50, pp. 1085-1087, 2009.
- [12] N. R. Sankar y B. S. Prabhu, «Modified approach for prioritization of failures in a system failure mode and effects analysis,» *International Journal of Quality & Reliability Management*, vol. 18, n° 3, pp. 324-335, 2001.
- [13] F. M. Company, *Failure Mode and Effects Analysis FMEA Handbook Version 4.2*, 2011.
- [14] R. Gresham y G. Tottem, *Lubrication and Maintenance of Industrial Machinery*, Northwest: CRC Press, 2009.

- [15] Flowserve, «Flowserve Página Oficial,» [En línea]. Available: [www.flowserve.com](http://www.flowserve.com).
- [16] Emerson, «Página oficial de Emerson,» [En línea]. Available: [www.emerson.com](http://www.emerson.com).
- [17] Endress, «Página oficial de Endress,» [En línea]. Available: [www.cl.endress.com](http://www.cl.endress.com).
- [18] P. Ibérica, «Página oficial de PCE Ibérica,» [En línea]. Available: [www.pce-iberica.es](http://www.pce-iberica.es).
- [19] ABB, «Página oficial de ABB,» [En línea]. Available: [www.new.abb.com](http://www.new.abb.com).
- [20] R. Automation, «Página oficial de Rockwell Automation,» [En línea]. Available: [www.rockwellautomation.com](http://www.rockwellautomation.com).
- [21] Fluideco, «Página oficial de Fluideco,» [En línea]. Available: [www.fluideco.ecom](http://www.fluideco.ecom).
- [22] U. A. Power, «Página oficial de UPS All Power,» [En línea]. Available: [www.upsallpower.com](http://www.upsallpower.com).
- [23] U. 66175:2003, *Sistemas de gestión de la calidad. Guía para la implantación de sistemas de indicadores.*, Madrid: AENOR, 2003.
- [24] I. d. M. A. d. Fallas, *Programa: Gestión del Mantenimiento*, Propymes, 2014.
- [25] E. Hernández, *Sistema de Cálculo de Indicadores para el mantenimiento*, III Congreso cubano de Ingeniería y Reingeniería de Mantenimiento, 2000.
- [26] S. Leal y S. Zambrano, *Índices e Indicadores de Gestión de Mantenimiento en las Pymes del Estado Táchira*, Montevideo: 3er Congreso Uruguayo de Mantenimiento, Gestión de Activos y Confiabilidad., 2007.
- [27] H. Gutierrez Pulido y R. de la Vera Salazar, *Control Estadístico de la Calidad y Seis Sigma*, México: Mc Graw Hill Education, 2013.
- [28] S. d. T. H. EP. Petroecuador, *Manual de Cargos y Distributivo de Personal*.