



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Industrial

“INFLUENCIA DE LA METODOLOGÍA FMEA EN LA
DISPONIBILIDAD OPERATIVA DE GRÚAS
TELESCÓPICAS MODELO R9130-2 DE LA EMPRESA
COSMOS S.A”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Industrial

Autor:

Belardo Santos Vásquez Caldas

Asesor:

Ing. Julio Cesar Vidal Rischmoller

Lima - Perú

2021

DEDICATORIA

La presente tesis la he dedicado con todo cariño y amor a mi familia, a mi esposa Yessy sus palabras de aliento no me dejaban decaer, por el sacrificio y esfuerzo, por el apoyo constante y creer en mi capacidad, aunque hemos pasado momentos difíciles siempre me brindaron su comprensión, cariño y amor.

A mi amada Hija Angelina por ser fuente de motivación e inspiración para poder superarme cada día más y así luchar para que la vida nos depare un mejor futuro.

A mis compañeros y amigos quienes sin esperar nada a cambio compartieron su conocimiento, alegrías y experiencias, a todas las personas que durante estos años estuvieron a mi lado apoyándome, logrando así que mi sueño se haga realidad.

AGRADECIMIENTOS

Al concluir una etapa maravillosa de mi vida quiero extender un profundo agradecimiento, a quienes hicieron posible mis estudios, aquellos que junto a mi caminaron en todo momento y siempre fueron inspiración, apoyo y fortaleza.

Mi gratitud a la Universidad Privada del Norte, por cobijarme en sus aulas con la enseñanza, a cada docente quienes con su apoyo y enseñanza constituyen la base de mi vida profesional, a mi asesor de Tesis al Ing. Julio Cesar Vidal Rischmoller que con su guía y experiencia guía este trabajo final.

Tabla de Contenido

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE ECUACIONES	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
I. CAPITULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1. Realidad Problemática	1
1.1.1. Realidad problemática internacional	1
1.1.2. Realidad problemática nacional.....	2
1.1.3. Realidad problemática local	4
1.2. Formulación del problema	9
1.2.1. Problema general	9
1.2.2. Problemas específicos.....	9
1.3. Justificación	10
1.3.1. Justificación teórica	10
1.3.2. Justificación práctica	10
1.3.3. Justificación económica.....	10
1.3.4. Justificación académica	11
1.3.5. Justificación social.....	11
1.4. Objetivos	12
1.4.1. Objetivo general	12
1.4.2. Objetivo específico	12
1.5. Hipótesis	13
1.5.1. Hipótesis general	13
1.5.2. Hipótesis específicas.....	13
II. CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	14
2.1. Antecedentes	14
2.1.1. Antecedentes Internacionales	14
2.1.2. Antecedentes Nacionales	18
2.2. Bases teóricas.....	24
2.2.1. Metodología FMEA.....	24

2.2.2.1.	Definición.....	24
2.2.2.2.	Etapas de aplicación del FMEA	26
2.2.2.3.	Nivel Prioritario de Riesgo (NPR)	28
2.2.2.4.	Acción Preventiva	30
2.2.2.	Disponibilidad	32
2.2.2.5.	Tiempo medio entre fallas.....	34
2.2.2.6.	Tiempo medio para reparaciones	35
2.3.	Definición de términos básicos.....	35
III.	CAPITULO III: METODOLOGÍA.....	38
3.1.	Tipo de investigación.....	38
3.2.	Diseño de investigación	39
3.3.	Población y muestra.....	39
3.3.1.	Población	39
3.3.2.	Muestra	39
3.3.3.	Muestreo	40
3.4.	Lugar y periodo realizado	40
3.5.	Instrumentos y técnicas de recolección de datos	40
3.6.	Definición de variables	40
3.7.	Instrumentos.....	42
3.8.	Procedimiento	42
3.9.	Procesamiento de datos.....	43
3.10.	Consideraciones éticas	44
IV.	CAPITULO IV: DESARROLLO.....	45
	DISCUSIÓN.....	99
	CONCLUSIONES.....	103
	RECOMENDACIONES	104
	REFERENCIAS	105
	ANEXOS.....	110

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Puntuaciones para el análisis de Pareto	7
Tabla 2	Índice de gravedad.....	28
Tabla 3	Índice de ocurrencia	29
Tabla 4	Índice de detección	29
Tabla 5	Matriz de operacionalización	41
Tabla 6	Análisis de la disponibilidad (pre-test).....	45
Tabla 7	Análisis del tiempo medio entre fallas (pre-test).....	46
Tabla 8	Análisis del tiempo medio para reparaciones (pre-test)	48
Tabla 9	Análisis ponderación para los factores de la alternativa de solución	49
Tabla 10	Análisis de alternativas de solución	50
Tabla 11	Análisis de acciones preventivas (pre-test)	50
Tabla 12	Análisis de nivel de prioridad de riesgo (pre-test).....	51
Tabla 13	Diagrama de Gantt de planificación de mejoras	55
Tabla 14	Análisis de frecuencia de fallas (pre-test)	57
Tabla 15	Análisis AMEF Grúa 1	59
Tabla 16	Análisis AMEF Grúa 2.....	61
Tabla 17	Análisis AMEF Grúa 3.....	63
Tabla 18	Análisis AMEF Grúa 4.....	65
Tabla 19	Elementos encontrados en el área de mantenimiento.....	67
Tabla 20	Formato de inspección de orden en el área de mantenimiento.....	68
Tabla 21	Cronograma mensual de capacitación	69
Tabla 22	Registro de inspección de capacitación.....	70
Tabla 23	Registro de labores de mantenimiento	71
Tabla 24	Diagrama de análisis del proceso para mantenimiento hidráulico	74
Tabla 25	Diagrama de análisis del proceso para mantenimiento eléctrico.....	77
Tabla 26	Diagrama de análisis del proceso para mantenimiento de pluma.....	80
Tabla 27	Diagrama de análisis del proceso para mantenimiento de sistema de giro	83
Tabla 28	Nivel de prioridad de riesgo (pre)	84
Tabla 29	Nivel de prioridad de riesgo (post).....	85
Tabla 30	Análisis de FMEA (total)	87
Tabla 31	Análisis del tiempo medio entre fallas (total).....	88

Tabla 32	Análisis del tiempo medio para reparaciones (total)	90
Tabla 33	Análisis de la disponibilidad (total).....	91
Tabla 34	Costos de implementación.....	96
Tabla 35	Ingresos por implementación	97
Tabla 36	Flujo económico (expresado en soles a precios constantes)	98

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Cantidad de vehículos	2
Figura 2 Diagrama de Ishikawa.....	5
Figura 3 Diagrama de Pareto	8
Figura 4 Beneficios del AMEF.....	24
Figura 5 Etapas en la aplicación de FMEA	26
Figura 6 Tiempo y disponibilidad en los equipos	31
Figura 7 Tiempo y disponibilidad en los equipos	33
Figura 8 Análisis de la disponibilidad (pre-test)	46
Figura 9 Análisis de MTBF (pre-test)	47
Figura 10 Análisis de MTTR (pre-test)	48
Figura 11 Análisis de AMEF (pre-test).....	51
Figura 12 Evidencia de la falta de una metodología para guiar los trabajos	52
Figura 13 Evidencia de la falta de procedimientos para el trabajo de mantenimiento..	53
Figura 14 Análisis de Pareto sobre fallas (pre-test).....	58
Figura 15 Análisis de sobre fallas de grúa 1	60
Figura 16 Análisis de sobre fallas de grúa 2.....	62
Figura 17 Análisis de sobre fallas de grúa 3.....	64
Figura 18 Análisis de sobre fallas de grúa 4.....	66
Figura 19 Identificación del sistema hidráulico	72
Figura 20 Diagrama de operaciones del proceso para mantenimiento hidráulico.....	73
Figura 21 Identificación del sistema eléctrico	75
Figura 22 Diagrama de operaciones del proceso para mantenimiento eléctrico	76
Figura 23 Identificación de la pluma.....	78
Figura 24 Diagrama de operaciones del proceso para mantenimiento de pluma	79
Figura 25 Identificación del sistema de giro	81
Figura 26 Diagrama de operaciones del proceso para mantenimiento de giro.....	82
Figura 27 Nivel de prioridad de riesgo del escenario previo.....	85
Figura 28 Diagrama de operaciones del proceso para mantenimiento de giro.....	86
Figura 29 Análisis de AMEF (total).....	87
Figura 30 Análisis de MTBF (total)	89
Figura 31 Análisis de MTTR (total).....	91

Figura 32	Análisis de la disponibilidad (total)	92
Figura 33	Comparación de escenarios de las acciones preventivas	93
Figura 34	Comparación de escenarios del NPR	93
Figura 35	Comparación de escenarios del tiempo medio entre fallas	94
Figura 36	Comparación de escenarios del tiempo medio para reparaciones.....	95
Figura 37	Comparación de escenarios de la disponibilidad	95

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Número Prioritario de Riesgo (RPN)	30
Ecuación 2 Disponibilidad	34
Ecuación 3 Tiempo medio entre fallas	34
Ecuación 4 Tiempo medio para reparaciones	35

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo general determinar la influencia de la metodología FMEA en la disponibilidad de grúas telescópicas modelo RT 9130-2 de la empresa Cosmos S.A. Para ello, empleó una metodología de enfoque cuantitativo, de nivel explicativo, de corte longitudinal, de diseño experimental. La población y muestra estuvieron conformadas por 4 grúas telescópicas RT 9130-2 durante un periodo de 12 meses en el año 2019. La técnica de recolección de datos fue la observación directa. Los resultados evidenciaron que el comportamiento de la disponibilidad operativa de grúas telescópicas modelo RT 9130-2 del periodo histórico del 2019, previo a la implementación de cambios fue deficiente, en tanto que en promedio solo alcanzaba una disponibilidad del 87.5%, ello se basa en gran presencia de fallas, lo cual reduce el tiempo medio entre fallas a 34.10 horas e incrementó el tiempo medio para las reparaciones a 4.85 horas. Finalmente, se concluye que gracias a la influencia de la metodología FMEA se incrementó la disponibilidad de grúas telescópicas modelo RT 9130-2 de la empresa Cosmos S.A, en tanto que se pasa de un valor de disponibilidad de 87.5% en promedio pre-test a 96.7% en promedio post-test; de igual forma, se observaron cambios favorables en el tiempo medio entre fallas (de 34.10 a 102.91 horas) y el tiempo medio para reparaciones (4.85 a 2.75 horas) en promedio de ambos escenarios.

Palabras Clave: FMEA, disponibilidad, MTTR, MTBF, grúas telescópicas.

ABSTRACT

The current research had as a general objective to determine the influence of the FMEA methodology on the availability of telescopic cranes model R 9130-2 of the company Cosmos S.A. To do this, he used a methodology of quantitative approach, explanatory level, longitudinal cut, experimental design. The population and sample consisted of 4 RT 9130-2 telescopic cranes during a 12-month period in 2019. The data collection technique was direct observation. The results showed that the behavior of the operational availability of telescopic cranes model RT 9130-2 in the historical period of 2019, prior to the implementation of changes, was deficient, while on average it only reached an availability of 87.5%, this is based on great presence of failures, which reduces the mean time between failures to 34.10 hours and increased the mean time for repairs to 4.85 hours. Finally, it is concluded that the FMEA methodology increased the availability of telescopic cranes model RT 9130-2 of the company Cosmos SA, while going from an availability value of 87.5% in pre-test average to 96.7% in post-test average. test; Similarly, favorable changes were observed in the mean time between failures (from 34.10 to 102.91 hours) and the mean time to repairs (4.85 to 2.75 hours) on average for both scenarios.

Keywords: FMEA, availability, MTTR, MTBF, telescopic cranes.

I. CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad Problemática

1.1.1. Realidad problemática internacional

A nivel internacional se cuenta con la información proporcionada en Aguirre (2019) donde se comenta la importancia de la metodología FMEA dentro de los sistemas de mantenimiento en Colombia, sobre todo para el incremento de la disponibilidad operativa. Este enfoque proporciona lineamientos para el cuidado y evaluación de los sistemas o equipos a través del nivel de riesgo que presenten, es decir, un análisis modal de los fallos que surgen dentro del proceso productivo y los efectos que estos pueden ocasionar. En este sentido, se dividen 3 tipos de riesgos, uno bajo que solo representan una pérdida parcial de las funcionalidades y su reparación no requiere de tanto tiempo y recursos; en segundo lugar, los riesgos medios implican una pérdida parcial, pero con un costo y tiempo mayor y finalmente, el riesgo alto refiere a una pausa total del sistema con un altísimo costo. En este sentido, se concluye que la herramienta FMEA es importante y útil para el análisis de los procesos en búsqueda de una mejora para reducir las pérdidas.

Desde otra perspectiva, para Tazi, Chatelet y Bouzidi (2017) la metodología FMEA ha demostrado ser efectiva para incrementar la fiabilidad y disponibilidad de los equipos en todo tipo de sistemas dado sus estudios en Francia, pero se requiere de algunos lineamientos específicos para complementar el análisis a detalle de acuerdo con cada realidad. Dentro de las críticas más frecuentes se menciona las limitaciones para ponderar la gravedad y la detección de fallos. En este sentido, se debe superar este tipo de inconvenientes para plantear una evaluación consistente que permita reducir los costos de mantenimiento en el tratamiento de fallos para generar un beneficio económico en la empresa. Adicionalmente, la evaluación de los indicadores del FMEA tales como la criticidad, gravedad, ocurrencia y detección deben encontrarse en una clasificación estándar en base a la información empírica contenida. Esta metodología evalúa los sistemas componente por componente e identifica sus modos de falla y sus efectos sobre la función del sistema y otros componentes del sistema y se ha utilizado en diferentes industrias.

De acuerdo con Montalbán, Arenas, Talavera y Magaña (2015) las herramientas que proporciona la metodología FMEA ha colaborado en el implemento de requerimientos de calidad en búsqueda de un incremento de la disponibilidad en México. Gracias a su empleo es posible identificar los fallos potenciales que pueden surgir en la producción o uso de maquinarias; en este sentido, se deben proponer cambios alineados para mejorar estos criterios y orientar el FMEA para prevenir estas situaciones. Otro aspecto importante que proporciona es el análisis de la criticidad y gravedad de estos fallos, lo que permite desarrollar soluciones o alternativas que pretendan mejorar de forma constante la situación de la disponibilidad como parte de un mantenimiento responsable en el proceso.

1.1.2. Realidad problemática nacional

Para conocer el detalle del parque automotor respecto a grúas a nivel nacional y sobre todo en el Cusco, se presenta la información del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2019) en donde se detalla la cantidad de este tipo de vehículos y su evaluación a lo largo del tiempo. Conocer este aspecto es fundamental para evaluar el sistema de disponibilidad y cómo afecta a la empresa de análisis; dichos datos se mencionan a continuación.

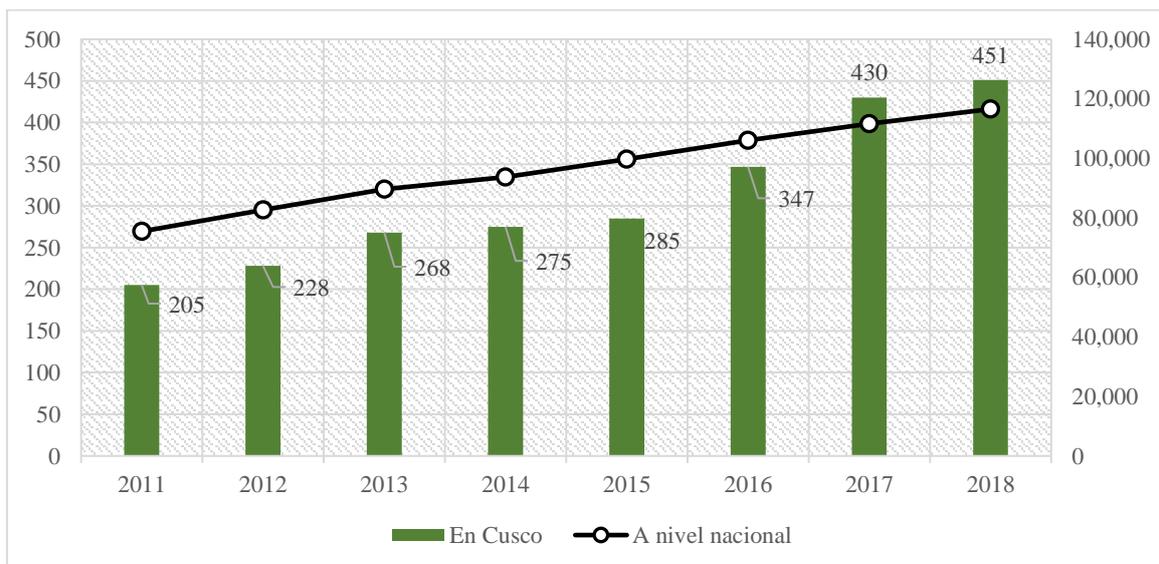


Figura 1 Cantidad de vehículos

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2019)

En la figura anterior se observa la tendencia creciente de este tipo de vehículos tanto en la región de Cusco (lugar de la empresa de análisis) como en el escenario nacional; ello evidencia la necesidad de contar con un mejor sistema para el mantenimiento en tanto que este tipo de trabajos es altamente requerido por el alto costo de estos vehículos. Es posible observar que la cantidad se ha duplicado en esta zona.

A nivel nacional, de acuerdo con Ypanaqué, Chucuya y Esquivel (2017) se menciona el análisis de la disponibilidad de una grúa de 50 toneladas dado que son un elemento importante para la producción de la empresa en análisis. Para la evaluación de la disponibilidad es necesario contar con un sistema de detección de los factores críticos que puedan ocasionar fallas o detenciones en la grúa, en este sentido, es útil el empleo de una ficha de registro de datos en una matriz. Por otro lado, se comenta el uso de un sistema de mantenimiento que puede ser orientado en base a muchas metodologías existentes, tales como el FMEA o el mantenimiento preventivo, dado que solo al realizar acciones correctivas no es posible prevenir las averías o riesgos de su ocurrencia. Otro factor para considerar es la reducción de los altos costos de reparación de estos vehículos, es por ello por lo que las inversiones relacionadas se ejecutan en el mediano y largo plazo.

Por otro lado, en Idrogo (2016) se comenta sobre las virtudes de la metodología del análisis de modos y efectos de falla que complementa el análisis de criticidad para elaborar un cronograma de actividades en el mantenimiento de equipos. Con el uso de estas herramientas ha sido posible identificar el nivel de complejidad de cada una de las posibles fallas o efectos negativos, así como sus consecuencias en el sistema productivo. En este sentido, la disponibilidad es importante para no detener los procesos productivos en la planta dado que ello representa una pérdida económica, adicionalmente, el costo de reparación no prevista también genera un gasto considerado como pérdida. Entre los beneficios alcanzados se señalan la identificación de debilidades del diseño del sistema, se proveen distintas alternativas de solución (de acuerdo con la priorización de fallos) y se brindan criterios para dar prioridades a las acciones de mantenimiento correctivo y preventivo.

1.1.3. Realidad problemática local

Dentro del análisis de la realidad problemática local se detallan los aspectos relacionados a la situación de la empresa Cosmos S.A., localizada en la planta de gas Malvinas, a orillas del río Urubamba a 500 km al este de Cuzco. Esta planta diseñada para procesar gas natural proveniente de los Lotes 56 y 88, dicha planta posee grúas telescópicas para el desarrollo de sus actividades. En la búsqueda del problema general, se detalla el Diagrama de Ishikawa, el cual detalla de forma ordenada y por enfoques cada uno de los inconvenientes que existen dentro del área de trabajo, lo que permite identificar de forma clara el problema principal. Posterior a ello, es posible ponderar cada una de estas causas a través del análisis de Pareto, donde se obtiene el factor más importante y permite enfocar las acciones para el desarrollo de la propuesta de mejora. En primer lugar, el diagrama de Ishikawa se muestra a continuación.

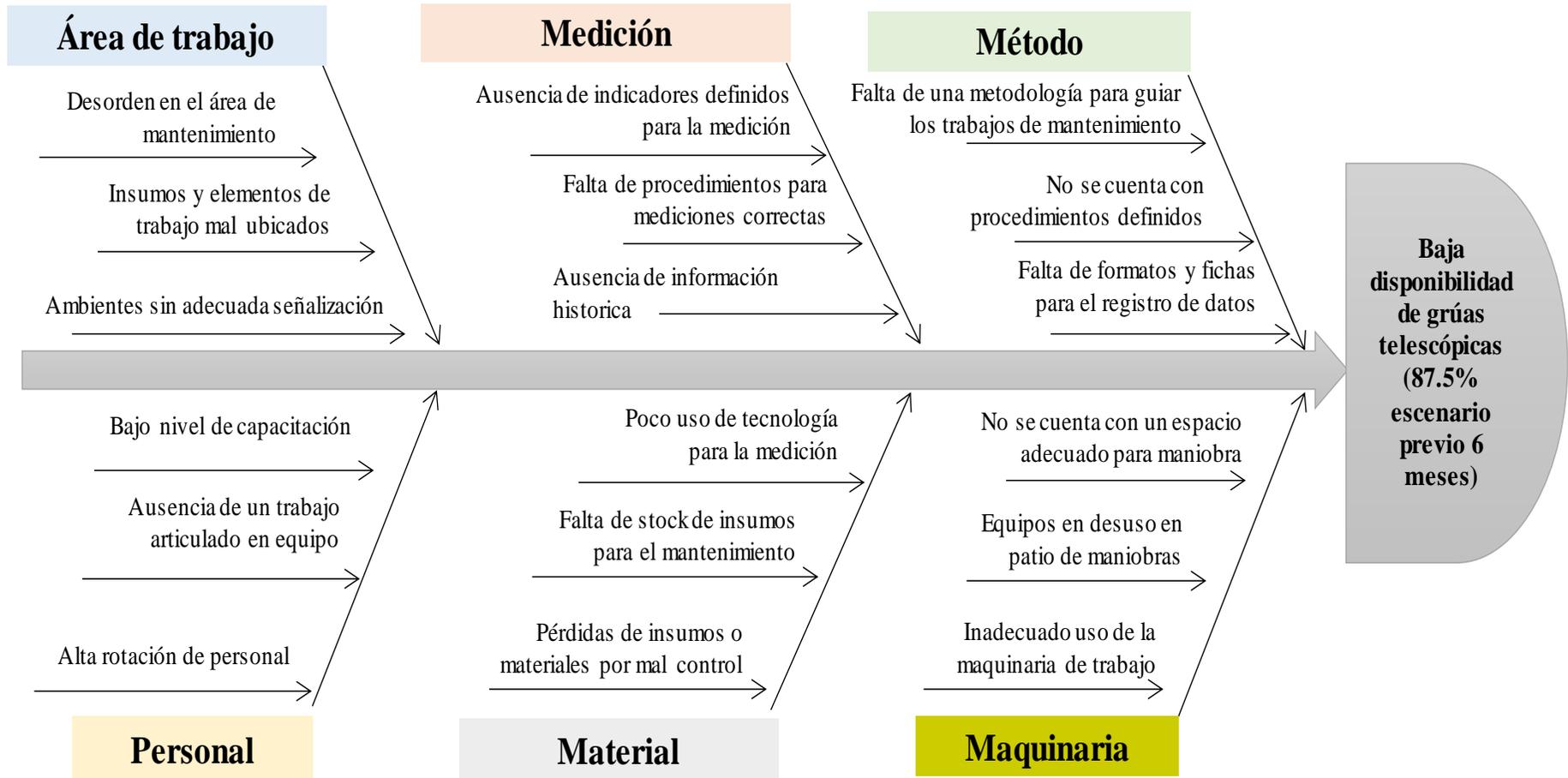


Figura 2 Diagrama de Ishikawa

Fuente: Elaboración propia

En la figura anterior se observa en análisis de Ishikawa; en primer lugar, se observa que dentro de los aspectos referidos al área de se identificó un gran desorden en el área de mantenimiento, lo que muchas veces dificulta esta actividad; por otro lado, se detalla que los insumos y elementos para el trabajo se encuentran mal ubicados, ello genera retrasos en el mantenimiento y finalmente, el ambiente cuenta con poca iluminación. En segundo lugar, se comenta sobre los factores que corresponden a la medición donde se identificó la falta de procedimientos para realizar mediciones correctas y precisas, la ausencia de indicadores para la medición y la falta de información histórica sobre las averías o fallos de los equipos con los que se trabaja. En tercer lugar, se ha detallado sobre los aspectos del método para realizar dicha labor; en este sentido, queda claro que falta una metodología para guiar los trabajos de mantenimiento de grúas, existen deficientes procedimientos para realizar estas labores y, por último, no se cuenta con formatos y fichas para el registro de los datos.

Desde otra perspectiva, se encontraron falencias en la mano de obra, es decir, en el personal que efectúa el mantenimiento con ausencia de un trabajo articulado y en equipo, bajo nivel de capacitación y una alta tasa de rotación de personal; todo ello confluye en labores lentas y con deficiencias. Otro aspecto clave es el material que se emplea para el mantenimiento de las grúas donde se encontró que existe poco uso de la tecnología de punta para efectuar las mediciones, la falta de stock de insumos necesarios y su pérdida por un mal control. Finalmente, desde el análisis de las maquinarias y equipos se observó que no se cuenta con un espacio adecuado para guardar dichos vehículos por lo que se exponen al aire libre, luego la maquinaria es antigua y no se da un correcto uso a los equipos de mantenimiento.

Luego de realizar el comentario de los factores identificados, se requiere ponderar cada uno de ellos a través del análisis de Pareto, el cual determina que el 80% del problema se explica por el 20% de las causas que lo generan. Para ello se ha procedido a puntuar mediante expertos y conocedores del tema de mantenimiento de equipos cada una de las causas mencionadas en las líneas anteriores para luego hallar un total de frecuencia acumulada y la frecuencia relativa de cada factor, es decir, el porcentaje específico de su

influencia en el problema principal; toda esa información se menciona en la siguiente tabla:

Tabla 1

Puntuaciones para el análisis de Pareto

N°	Descripción de Partida	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	Punt.	Frec. Relativa	Frec. Acumulada
1	Falta de una metodología para guiar los trabajos	10	10	10	10	10	9	10	10	10	10	99	20.4%	20%
2	Falta de procedimientos para el trabajo	10	9	9	10	10	10	10	9	10	10	97	20.0%	40%
3	Falta de formatos y fichas para el registro de datos	10	10	8	9	10	10	10	10	9	10	96	19.8%	60%
4	Bajo nivel de capacitación	10	10	10	9	8	9	9	10	9	10	94	19.4%	80%
5	No se cuenta con procedimientos definidos	1	1	1	1	2	1	2	1	1	2	13	2.7%	82%
6	Ausencia de información histórica	1	1	1	1	2	1	1	2	1	1	12	2.5%	85%
7	Desorden en el área de mantenimiento	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	12	2.5%	87%
8	Ausencia de indicadores definidos para la medición	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	11	2.3%	89%
9	Inadecuado uso de los equipos de mantenimiento	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9	1.9%	91%
10	Falta de repuestos necesarios para el mantenimiento	1	0	2	1	1	0	1	1	1	1	9	1.9%	93%
11	Ausencia de un trabajo articulado en equipo	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	7	1.4%	95%
12	Equipos en desuso en patio de maniobras	1	1	0	1	0	1	1	0	1	0	6	1.2%	96%
13	Insumos y elementos de trabajo mal ubicados	0	1	0	0	2	0	1	1	0	0	5	1.0%	97%
14	Ambientes sin adecuada señalización	1	0	0	0	1	1	1	0	1	0	5	1.0%	98%
15	Poco uso de tecnología para la medición	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	4	0.8%	99%
16	Pérdidas de insumos o materiales por mal control	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	3	0.6%	99%
17	No se cuenta con un espacio adecuado para maniobras	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	2	0.4%	100%
18	Alta rotación de personal	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0.2%	100%
TOTAL												485	100%	

Fuente: Elaboración propia

En la tabla anterior se observan las puntuaciones alcanzadas por cada una de las causas mencionadas en el diagrama de Ishikawa, además de la frecuencia relativa y acumulada. En primer lugar, la causa más influyente es la falta de una metodología para guiar los trabajos de mantenimiento con 99 puntos y una frecuencia del 20.4% del problema general, luego se ubica la causa falta de procedimientos para el trabajo 97 puntos y el 20% de frecuencia, en tercer lugar se menciona la falta de formatos y fichas para el

registro de la información sobre las labores, así se podrá conocer más detalles sobre la grúa, ello alcanza una puntuación de 96 con una frecuencia del 19.8%; otra causa importante es el bajo nivel de capacitación de los trabajadores encargados de dicha labor que alcanza un valor de 94 puntos con una frecuencia del 19.4% del total. Otras causas con menor impacto son la falta de procedimientos para la medición (13 puntos), la ausencia de información histórica (12 puntos), el desorden en el área (12 puntos), ausencia de indicadores definidos para la medición de la disponibilidad de grúas (11 puntos), entre otros. Para complementar dicho análisis se muestra el diagrama de Pareto donde se observará el punto de corte para determinar los factores a mejorar.

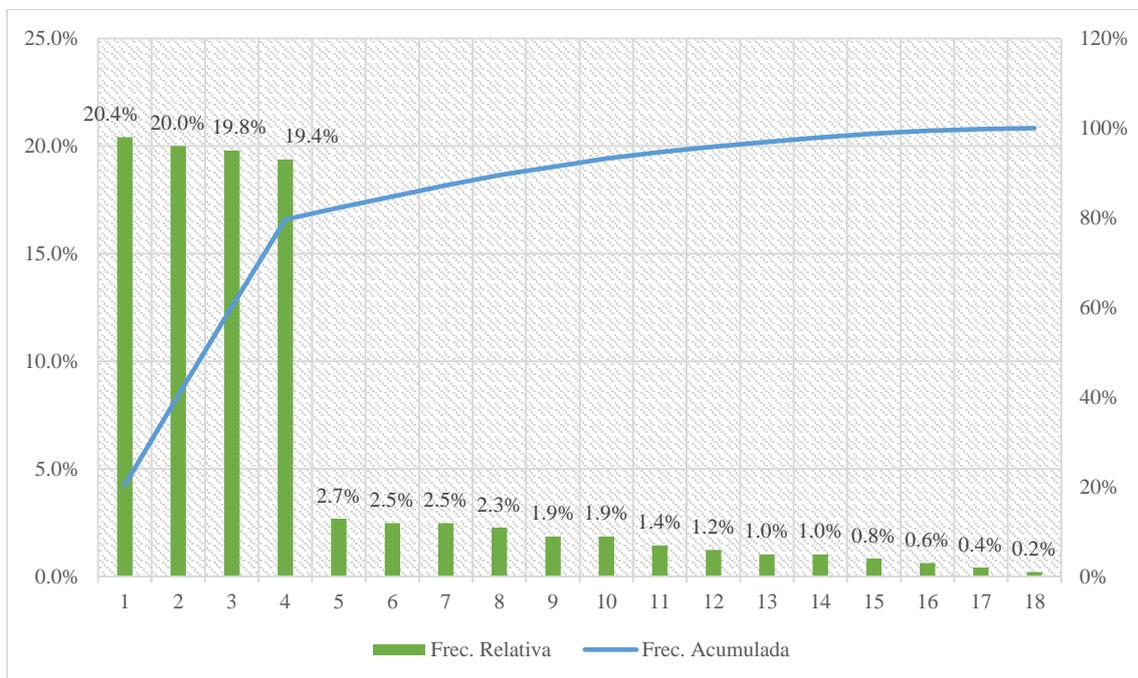


Figura 3 Diagrama de Pareto

Fuente: Elaboración propia

En la figura es posible notar la gran diferencia que existe entre las 4 causas principales respecto a las demás encontradas en el análisis; en este sentido, se confirma la teoría de Pareto donde se menciona que el 20% de las causas explican el 80% del problema principal. La propuesta que se realice debe considerar los primeros cuatro elementos señalados en la tabla para lograr el éxito e incrementar la disponibilidad de las grúas en la empresa.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿En qué medida la metodología FMEA influye en la disponibilidad operativa de grúas telescópicas modelo RT9130-2 de la empresa Cosmos S.A., Cusco, 2019?

1.2.2. Problemas específicos

¿Cuál el comportamiento de la disponibilidad de las grúas telescópicas modelo RT 9130-2 de la empresa Cosmos S.A., Cusco, en el periodo 2019?

¿De qué manera se diagnostican las fallas de las grúas telescópicas modelo RT 9130-2 para presentar soluciones de acuerdo con el diagnostico efectuado?

¿Cuál es la viabilidad técnica y económica de la relación entre la mejora basada en la metodología FMEA y la disponibilidad de grúas telescópicas de la empresa Cosmos S.A.?

1.3. Justificación

1.3.1. Justificación teórica

Para Valderrama (2019) este aspecto se refiere a “inquietud que surge por profundizar en uno o varios enfoques teóricos que tratan el problema que se explica. A partir de esos enfoques, se espera avanzar en el conocimiento planteado o encontrar nuevas explicaciones que modifiquen o complementen el conocimiento” (p.140). En otras palabras, la presente investigación profundizará respecto a la teoría de la metodología AMEF, los pasos a seguir en la implementación y los lineamientos necesarios para impactar en el incremento de la disponibilidad y sus dimensiones, es por ello que se cuenta con justificación teórica.

1.3.2. Justificación práctica

De acuerdo con Silvestre y Huamán (2019) “se refiere a que el trabajo de investigación servirá para resolver problemas prácticos. Responde a la pregunta ¿ayudará a resolver algún problema práctico?” (p.172). En este sentido, se cuenta con un fin determinado que es la mejora de la disponibilidad de grúas, situación que afecta directamente a la realidad de la empresa en estudio, siendo parte de su realidad; es por esta razón que se cuenta con justificación práctica.

1.3.3. Justificación económica

Respecto al tema económico en Hernández y Mendoza (2018) se menciona que “la viabilidad es un elemento que también se valora y se pondera según el tiempo, los recursos y las capacidades ¿es posible llevar a cabo el estudio? ¿Tengo o tenemos los recursos para hacerlo?” (p.396). Es importante mencionar que la finalidad de las empresas es obtener los mayores beneficios económicos, ante ello la metodología AMEF proporciona la reducción de costos en reparaciones; por otro lado, un incremento de la disponibilidad permitirá una mayor producción, por lo tanto, se cuenta con una justificación económica.

1.3.4. Justificación académica

Según Hernández y Mendoza (2018) “en relación con las deficiencias en el conocimiento del problema, es necesario que indiques qué contribuciones hará la investigación al conocimiento actual” (p.396). En este sentido, el presente trabajo servirá de base y guía para el desarrollo de otras investigaciones relacionadas al tema de la disponibilidad y la metodología AMEF, dado que esta es una problemática que afecta a muchas empresas siendo un tema recurrente de mejora dentro de las carreras de ingeniería.

1.3.5. Justificación social

Según Silvestre y Huamán (2019) “se refiere a la utilidad, beneficios y la importancia que tendrá los resultados de la investigación para la sociedad o el ámbito sociográfico donde se realiza. Responde a la pregunta ¿Qué alcance social tiene?” (p.172). En otras palabras, la búsqueda del incremento en la disponibilidad refiere a un cambio hacia bien dentro del sistema productivo, lo que permitirá una mejora en la productividad de la empresa y la sociedad en su conjunto; entonces, la investigación cuenta con justificación social.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Determinar en qué medida la metodología FMEA influye en la disponibilidad operativa de grúas telescópicas modelo RT 9130-2 de la empresa Cosmos S.A., Cusco, 2019

1.4.2. Objetivo específico

Determinar cuál el comportamiento de la disponibilidad operativa de grúas telescópicas modelo RT 9130-2 de un periodo histórico del 2019.

Determinar de qué manera se diagnostican las fallas de grúas modelo RT 9130-2 en el área de mantenimiento empleando la metodología FMEA, presentando soluciones viables.

Determinar cuál es la viabilidad técnica y económica con relación a la mejora basada en la metodología FMEA para la disponibilidad de grúas telescópicas modelo RT 9130-2 de la empresa Cosmos S.A, 2019.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

La metodología FMEA influye de forma positiva en la disponibilidad operativa de las grúas telescópicas modelo RT 9130-2 de la empresa Cosmos S.A.

1.5.2. Hipótesis específicas

La metodología FMEA determina cual es el comportamiento de la disponibilidad operativa de grúas telescópicas modelo RT 9130-2.

La metodología FMEA determina de qué manera se diagnostica las fallas de las grúas telescópicas modelo RT 9130-2.

La metodología FMEA es viable técnica y económicamente con relación a la mejora basada en la metodología FMEA para la disponibilidad de grúas telescópicas modelo RT 9130-2 de la empresa Cosmos S.A, 2019.

II. CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes Internacionales

A nivel internacional se cuenta con el trabajo de Estupiñan y Cordero (2019) titulada *Uso de la metodología FMECA -RCM, para la optimización De la estrategia de mantenimiento en una planta de tostación de cobre*, la cual tuvo como finalidad aplicar la metodología FMEA para mejorar el mantenimiento de los equipos de la empresa en búsqueda de un incremento de la disponibilidad. Para dicho análisis se realizó el análisis de la situación inicial de los indicadores de la confiabilidad y mantenibilidad, luego se desarrolla la propuesta basada en las metodologías mencionadas para posteriormente, medir los cambios ocurridos; otro paso importante es determinar el costo del mantenimiento para disminuirlos y generar un ahorro. La investigación cuenta con una metodología de tipo cuantitativo y aplicado, de enfoque descriptivo y de diseño causo experimental. La población y la muestra corresponde a 6 de equipos de la empresa y las técnicas empleadas fueron la observación directa y el análisis documental.

Los resultados mostraron en el análisis de criticidad que la falla más frecuente ha sido el cambio de cassettes, en tanto que en el último año estos se han cambiado 24 veces de forma programada y 18 de manera no programada. Por otro lado, el tiempo medio entre fallas (MTBF) fue de 250 horas y el tiempo medio para la reparación (MTTR) fue de 6.8 horas. En el escenario posterior se obtuvo que el tiempo medio entre fallas (MTBF) aumenta hasta 977.8 horas, en tanto que el tiempo para las reparaciones se mantiene igual. De forma global se determina que la disponibilidad ha pasado de 83.25% en el escenario previo a 87.28% en el posterior. Desde la perspectiva económica se ha logrado una reducción de USD 17,089 dólares. Finalmente se concluye que la metodología FMEA, siendo empleada al mismo tiempo que el RCM ha identificado los fallos con mayor recurrencia para mejorar la disponibilidad.

De acuerdo con Wannawiset y Tangjitsitcharoen (2019) en su trabajo denominado *Paper Machine Breakdown Reduction by FMEA and Preventive Maintenance Improvement: A*

Case Study, tuvo como principal objetivo aplicar un sistema de mantenimiento basado en la metodología FMEA para incrementar la disponibilidad de los equipos. En este sentido, fue necesario identificar la situación inicial de los equipos de la compañía, medir los indicadores de MTBF para conocer la disponibilidad y evaluar el impacto que se genera por la aplicación de la metodología. El FMEA es una herramienta ampliamente seleccionada para la aplicación de averías de maquinaria y su prevención, es por ello que se adoptó la técnica FMEA para reducir y prevenir la descomposición del equipo empleado para producir papel comercial que tiene una capacidad de 200,000 toneladas por año ubicado en el área noreste de Tailandia. La investigación cuenta con una metodología de tipo cuantitativo y aplicado, de enfoque descriptivo y de diseño causo experimental. La población y la muestra corresponde a 20 de equipos de la empresa y las técnicas empleadas fueron la observación directa y el análisis documental.

Dentro de los resultados se muestra el tiempo perdido por las paradas producto de las fallas del equipo, en el escenario inicial este indicador fue de 60 horas y en el periodo posterior a la mejora paso a 11 horas. Respecto a la disponibilidad, esta pasó de 88.95% a 89.41% en el promedio de los escenarios previo y posterior, respectivamente. Por otro lado, el tiempo medio entre fallas (MTBF) también experimentó un cambio positivo, pasando de 21 horas en promedio en el escenario previo a la mejora a 31 horas en el posterior, es decir, un cambio porcentual del 47.6 %. Por último, se concluye que la aplicación de la técnica FMEA en las máquinas lograron una mejora en la revisión de mantenimiento preventivo tanto mecánico como eléctrico, así como un cambio positivo en la disponibilidad.

Según Silva, Rodríguez, Acosta y Gómez (2019) en su investigación llamado *Diseño de plan de mantenimiento preventivo para los talleres del centro CIES Sena Regional Norte de Santander utilizando metodología AMEF*, la cual tuvo como objetivo principal proponer un plan de mantenimiento basado en la metodología FMEA para mejorar la disponibilidad de los equipos de la empresa. En este sentido, fue necesario el diagnóstico de la situación inicial de la criticidad de los equipos para conocer el grado de ocurrencia y gravedad de cada uno de los fallos; a partir de ello se plantea una mejora con la presentación de formatos y pasos a seguir para determinar un correcto análisis, se crean protocolos para asegurar un cambio positivo en la confiabilidad, mantenibilidad y

disponibilidad de los equipos. La investigación cuenta con una metodología de tipo cuantitativo y aplicado, de enfoque descriptivo y de diseño no experimental. La población fue de 49 equipos y la muestra corresponde a 22 de ellos.

Los resultados mostraron el diseño de la propuesta basada en la metodología FMEA en donde se determinó que los equipos con riesgo prioritario fueron la categoría A dado que opera durante 6 horas, luego la categoría B trabaja de 2 a 6 horas y la categoría C que opera menos de 2 horas. En este sentido, los equipos de la categoría A requiere un tiempo de reparación de 90 minutos, la categoría B de 45 minutos y la categoría C menos de 45 minutos. Entre los indicadores que se deben tomar en cuenta para la evaluación se menciona el tiempo medio entre fallas (MTBF), el tiempo de paradas, el tiempo medio de reparaciones (MTTR) y el tiempo de reparación el número de fallos y el costo de mantenimiento. Se concluye que la investigación colaborará en la supervisión de la mejora en la disponibilidad a fin de realizar las correcciones necesarias hacia el futuro y garantizar la mejora continua.

De acuerdo con Kolte y Dabade (2017) en su trabajo denominado *Machine Operational Availability Improvement by Implementing Effective Preventive Maintenance Strategies - A Review and Case Study*, el cual tuvo el objetivo principal de lograr una mejora en el sistema de mantenimiento de los equipos a través de la metodología FMEA para lograr un impacto en la disponibilidad de los equipos de la empresa. Ello fue posible mediante la identificación de los puntos críticos en la situación inicial, luego se aplicó el análisis de criticidad para mejorar los puntos más importantes, es decir, aquellos que causan un efecto más directo sobre la producción. Se menciona que la función de máquinas automatizadas es lograr una mayor tasa de producción con mejor calidad; por lo tanto, las máquinas deben permanecer en funcionamiento condición para lograr el resultado u objetivo deseado. En este sentido, fallas o averías de las maquinarias causan interrupciones en producción que resulta en una pérdida de disponibilidad de la existente sistema. Esto aumenta aún más el costo de mantenimiento y disminuye la productividad. La investigación cuenta con una metodología de tipo cuantitativo y aplicado, de enfoque descriptivo y de diseño caso experimental. La población y la muestra corresponde a 4 equipos evaluados durante 6 meses; las técnicas empleadas fueron la observación directa y el análisis documental.

Los resultados mostraron en el análisis de criticidad que las fallas más frecuentes han las fallas en el sensor de rotación del husillo con una ocurrencia de 12 veces con un tiempo perdido de 1160 minutos, la falla de bombeo de retorno con 44 ocurrencias y 520 minutos perdidos y los problemas de la alarma de inundación del filtro KF con 46 ocurrencias y una detención de 492 minutos. A partir de ellos se planteó la mejora en base a la metodología FMEA para dar una solución a este tipo de fallos. Los indicadores evidencian un cambio en el promedio de la disponibilidad de los equipos que paso de 82.25% a 85.09%, esto se basa en el cambio del tiempo medio entre fallas (MTBF) que paso de 73.6 a 114.2 minutos y el tiempo medio para la reparación (MTTR) experimentó un cambio de 22.6 a 19.1 minutos. Se concluye que, mediante este análisis, las causas fundamentales de averías fueron identificadas, lo cual colaboró para mejorar una nueva lista de verificación de mantenimiento preventivo para las máquinas críticas, en otras palabras, este método se usa para prevenir falla del equipo antes de que ocurra realmente.

Para Loong, Chyan, Choon y Wei (2017) en su investigación llamada *Prioritising Redundant Network Component for HOWBAN Survivability Using FMEA*, la cual tuvo como objetivo principal aplicar la metodología FMEA para priorizar las acciones de mantenimiento del sistema en búsqueda de incrementar la disponibilidad. En este sentido, la implementación de componentes colabora para mejorar la confiabilidad y la capacidad de supervivencia; es por ello que se ha trabajado en estudiar el costo y el impacto de implementarlos, pero no se han utilizado herramientas formales para permitir la evaluación y la decisión de priorizar, lo cual será posible adaptando la técnica FMEA (efecto y análisis del modo de falla) para identificar el segmento crítico en la red y priorice el componente que se implementará para garantizar la disponibilidad. La investigación cuenta con una metodología de tipo cuantitativo y aplicado, de enfoque descriptivo y de diseño no experimental. La población y la muestra corresponde a 7 equipos; las técnicas empleadas fueron la observación directa y el análisis documental.

En el desarrollo de los resultados se mostraron los factores con más severidad en la escala, donde se encontró que los problemas en el terminador de la línea óptica alcanza la más alta severidad (10) seguido por el tiempo de no conexión mayor a 4 horas con un riesgo extremadamente alto (9) luego le siguen las fallas del divisor con una detención menor a 1 hora. Por otro lado, El porcentaje de falla de los componentes pasivos en la red óptica

pasiva es más de 7 veces la de la red activa componentes y el tiempo medio entre fallas (MTBF) está en al menos 10 veces más, lo que implica que la red óptica es más resistente que la frontal poner fin a la red inalámbrica en términos de falla del equipo. Finalmente, se concluye que es esencial para revisar el proceso FMEA en intervalos regulares con cambios en la tecnología; sin embargo, esta metodología proporciona un enfoque para obtener una buena visión general del rendimiento.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

DE ACUERDO CON EL TRABAJO DE CHÁVEZ (2018) DENOMINADO GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO BASADO EN EL ANÁLISIS DE MODO DE FALLAS (AMEF) PARA INCREMENTAR LA DISPONIBILIDAD DE LOS EQUIPOS JUMBO EN EL CONSORCIO MINERO HORIZONTE S.A, PARA ALCANZAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA POR LA UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO, TRUJILLO; LA CUAL TUVO COMO OBJETIVO PRINCIPAL ELABORAR UN SISTEMA BASADO EN LA METODOLOGÍA FMEA PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE LOS EQUIPOS. PARA LOGRAR ESTA FINALIDAD FUE NECESARIO EVALUAR LA SITUACIÓN INICIAL DE LA MAQUINARIA EN BÚSQUEDA DE SUS INDICADORES INICIALES, LUEGO SE IDENTIFICARON A LOS EQUIPOS CON BAJOS INDICADORES PARA REALIZAR

EL ANÁLISIS DE CRITICIDAD, POSTERIORMENTE SE ELABORÓ UN PLAN DE MANTENIMIENTO Y FINALMENTE, SE CONTRASTARON LOS INDICADORES LUEGO DE HABER APLICADO LA MEJORA. LA INVESTIGACIÓN CUENTA CON UNA METODOLOGÍA DE TIPO CUANTITATIVO Y APLICADA, DE ENFOQUE DESCRIPTIVO Y DE DISEÑO CUASI EXPERIMENTAL; LA POBLACIÓN Y MUESTRA CORRESPONDE A 4 EQUIPOS QUE POSEE LA EMPRESA. LA TÉCNICA EMPLEADA PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS FUE LA OBSERVACIÓN DIRECTA MEDIANTE EL USO DE FICHAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.

Los resultados en primer lugar mostraron el análisis de criticidad en donde se observó que 3 equipos se encontraban en un estado crítico con el 9.38% de fallas aceptables, 51.13% de fallas reducibles y el 13.3% de fallas indeseables, es decir, de alto riesgo para la producción. Ante ello se planteó la mejora en base al FMEA que obtuvo un cambio significativo en la disponibilidad, la cual paso de 84.23% en el escenario previo a 95.3% en el posterior; por otro lado, la confiabilidad experimentó un cambio de 84.72% a 95.32% y finalmente, la mantenibilidad disminuyó de 37.3% a 26.03%. Adicionalmente, se muestra que la inversión puede ser recuperada en 5 meses, generando un ahorro de S/ 330,880 soles. Finalmente se concluye que la metodología ha logrado obtener los resultados esperados.

En el trabajo de Euscategui (2018) llamado *Implementación de un sistema de gestión en mantenimiento usando la técnica de AMEF en el área de maestranza para mejorar la disponibilidad de los equipos de la empresa BONA Logistic E.I.R.L.*, para obtener el título

profesional de Ingeniero Mecánico Electricista por la Universidad César Vallejo, Trujillo; la cual tuvo como finalidad diseñar e implementar un sistema de gestión para el mantenimiento con el uso de la metodología de modos y fallos FMEA. El alcance de este objetivo fue posible mediante la descripción de la situación inicial de los equipos, luego se calcularon los indicadores de mantenimiento como la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad; se realizó el análisis de criticidad, se calcularon los indicadores finales y, por último, se evaluaron los costos del mantenimiento para determinar la rentabilidad. La investigación cuenta con una metodología de tipo cuantitativo y aplicada, de enfoque explicativo y de diseño cuasi experimental; la población fue de 12 equipos y muestra corresponde a 6 de ellos. Las técnicas empleadas para la recolección de datos fue la observación directa mediante el uso de fichas de recolección de datos y el análisis documental.

Los resultados, en primer lugar, mostraron el análisis de criticidad en donde se observó que 5 equipos se encontraban en un estado crítico, 4 en estado intermedio y 2 en estado aceptable. Desde otra perspectiva el 28.84 % de fallas son de reducción deseable y el 71.15 % de fallas son indeseables, es decir, de alto riesgo para la producción. Para mejorar esta situación se formuló la mejora en base al FMEA que obtuvo un cambio significativo en la disponibilidad, la cual paso de 89.24% en el escenario previo a 96.1% en el posterior; por otro lado, la confiabilidad experimentó un cambio de 78.62 % a 88.73 % y finalmente, la mantenibilidad aumentó 83.3 % a 94.6 %. Adicionalmente, en el análisis económico se muestra la mejor disminuye en 47 % los costos de mantenimiento, es decir un ahorro de S/ 17,080 soles. Finalmente se concluye que la metodología ha identificado los fallos con mayor recurrencia para mejorar la disponibilidad.

De acuerdo con la investigación de Álvarez (2017) denominada *El AMEF para aumentar la disponibilidad de la flota vehicular de la empresa EMTRAFESA SAC*, para alcanzar el título profesional de Ingeniero Mecánico por la Universidad Nacional de Trujillo; la cual tuvo como objetivo principal elaborar un plan para el mantenimiento de vehículos basado en la metodología AMEF. En este sentido, fue necesario identificar la situación actual de los equipos de la empresa en estudio, planificar las actividades de mantenimiento de carácter preventivo, determinar los intervalos de tiempo idóneos para efectuar esta

actividad, diseñar los formatos y fichas para el registro de datos y evaluar los indicadores posteriores a la mejora. Por otro lado, es estudio aporta un enfoque de cuidado al medio ambiente dado que el mejor empleo de los lubricantes y filtros delimitará menor cantidad de aceites residuales y una menor contaminación. La investigación cuenta con una metodología de tipo cuantitativo y aplicada, de enfoque descriptivo y de diseño cuasi experimental; la población y muestra corresponde a 8 unidades de vehículo que posee la empresa. La técnica empleada para la recolección de datos fue la observación directa mediante el uso de fichas de recolección de datos.

Los resultados determinaron, de manera previa, los requerimientos necesarios para desarrollar la mejora basada en la metodología AMEF, donde se identificaron las fallas y la prioridad en sus riesgos. En primer lugar, la falla más frecuente fueron los problemas de embrague y caja de cambios con 38 ocurrencias; luego fueron las fallas en el eje posterior con 20 ocurrencias y el motor con 18 ocurrencias; en total se presentaron 174 fallas; entonces, para realizar un mantenimiento efectivo se deben mejorar las mencionadas fallas. Respecto a la criticidad se menciona que se encontraron 22 fallas críticas, 10 fallas semi críticas y 8 no críticas. En el análisis de la disponibilidad este paso de 77% en el escenario previo a 96% en el posterior; ello se basa en el cambio del tiempo medio entre fallas o confiabilidad de 86% a 98% y se mantuvo la mantenibilidad o tiempo medio para reparaciones en 4%. Por lo tanto, se concluye que se logró reducir 22 fallas, 315 intervenciones 892.17 horas de reparación y se aumentó el tiempo promedio entre fallas en 162.14 horas.

Según Guerra (2017) en su trabajo titulado *Análisis de modos y efectos de falla en los Scooptrams de la empresa minera Antacocha*, para alcanzar el título profesional de Ingeniero Mecánico por la Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo; tuvo el objetivo principal de analizar la disponibilidad de los equipos luego de implementar la metodología AMEF en la mencionada empresa. El alcance de esta finalidad fue posible mediante la identificación de la situación inicial de los vehículos, determinando el análisis de modo de fallas con los niveles de ocurrencia y criticidad, para posteriormente determinar los efectos de fallas más importantes en búsqueda de una solución que pueda reducirlos o eliminarlos. Se cuenta con una investigación de tipo aplicada y cuantitativa, además se señala que corresponde al tipo básico con un nivel descriptivo simple. Las

herramientas empleadas para la recolección de datos fueron las fichas de recolección de datos; adicionalmente, la población y muestra fue de 3 equipos Scroptrams evaluados durante 6 meses.

Los resultados evidenciaron, en primer término, el análisis de frecuencia de fallas, en donde el equipo R1600G alcanza un 89% de fallas, entre ellas figuran problemas en el motor con 19 ocurrencias, el sistema hidráulico con 21 ocurrencias, el sistema electromecánico con 36 ocurrencias (siendo este el más importante), entre otros. Por otro lado, respecto al tiempo fuera de operaciones el mayor porcentaje de estas se debe al sistema hidráulico (27%), seguido por el sistema electromecánico (25%) y el sistema de transmisión (22%) entre los más importantes. En este sentido, se desarrolló el sistema FMEA para cada uno de ellos, lo cual fue posible mediante las fichas de análisis. Posteriormente, se plantearon acciones correctivas lo que permite incrementar la disponibilidad, la cual paso de 66.29% a 88.71% en el escenario previo y posterior, respectivamente. Finalmente, se concluye que el análisis de modos y fallas permitió conocer los motivos más importantes de averías y detecciones del equipo y se logró mejorar la disponibilidad.

De acuerdo con Barrientos (2017) en su trabajo llamado *Mejora de la gestión de mantenimiento de maquinaria pesada con la metodología AMEF*, para alcanzar el título profesional en Ingeniería Industrial y Comercial por la Universidad San Ignacio de Loyola, Lima; la cual tuvo como objetivo principal realizar un cambio positivo en la gestión del mantenimiento de los equipos para mejorar su disponibilidad. El alcance de esta finalidad fue posible mediante en análisis de la situación inicial para determinar el tiempo medio entre fallas (MTTR), proponer soluciones para minimizar la ocurrencia de estos, cuantificar el costo del mantenimiento por hora trabajada y finalmente, medir y controlar los indicadores finales de la disponibilidad en la mejora de la operatividad de la planta. Se cuenta con una metodología correlacional para establecer la vinculación entre las variables, de paradigma positivista de enfoque cuantitativo, de diseño cuasi experimental y longitudinal. La población y muestra corresponde a 11 excavadoras; el instrumento utilizado fue la ficha de recolección de datos, el procedimiento FMEA y las fichas de mantenimiento.

En el desarrollo de los resultados se muestra que existen 8 equipos en estado crítico, en donde la falla más frecuente fue la rotura de mangueras de lubricación, el filtro obstruido y la pérdida de potencia en el motor, todas ellas con una ocurrencia de 8 veces; por otro lado, los fallos más severos fueron la falla en el sistema eléctrico y la manguera dañada, ambos con un nivel de 10; todo ello confluye en los efectos más importantes que son la incapacidad para generar movimiento, el alto consumo de aceite y la baja potencia. En el análisis de la disponibilidad de los equipos se obtiene que paso de 92.9% a 97.2% en el año 2017; el tiempo medio entre fallas (MTBF) paso de 116 a 147 horas en los escenarios previo y posterior, respectivamente; por otro lado, el tiempo medio para reparaciones (MTTR) tuvo un cambio de 14.4 a 12.4 horas durante un año. El análisis económico revela una disminución del 65.3% de los costos de mantenimiento, donde se obtiene, dado el análisis del flujo de caja, un VAN de USD 53,495 dólares con una tasa interna de retorno de 3.89% y una ratio de beneficio-costos de 1.18. Por último, se concluye que la metodología ha logrado los efectos esperados en tanto que se mejoró la disponibilidad.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Metodología FMEA

2.2.2.1. Definición

De acuerdo con McDermott, Mikulak y Beauregard (2017) la metodología FMEA es un enfoque que posibilita la identificación de fallos y sus probables consecuencias en determinada maquina o sistema de producción, para ello predice el tipo de avería de acuerdo con la información recopilada en términos de criticidad, ocurrencia y peligrosidad; cabe resaltar que existen fallos que pueden parar por completo el sistema productivo y así afectar la cadena de producción, generando altas pérdidas económicas. En búsqueda de mejorar la ocurrencia de fallos se crea un plan basado en acciones preventivas que reducen los impactos negativos; en este sentido, se debe identificar las funciones que cumple cada equipo o sistema integrado, así se determina la forma en cómo sucede el fallo y se plantean soluciones efectivas para cada falla funcional.

Desde otra perspectiva, según Chen (2016) existen beneficios claros por su aplicación; quizás la primordial es ser parte de una estrategia para la mejora continua del proceso de mantenimiento, lo cual evidentemente incluye otros beneficios, el detalle de algunos se presenta en la siguiente figura.

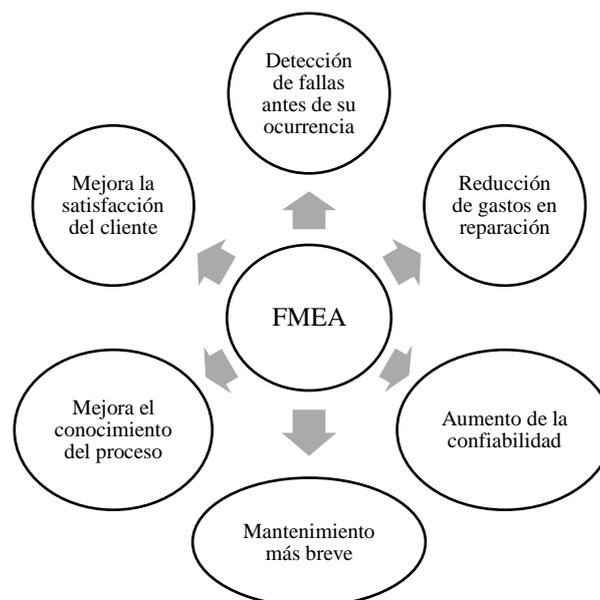


Figura 4 Beneficios del AMEF

Fuente: Elaboración propia

Para Kudláč, Štefancová y Majerčákes (2017) es un método analítico fundamental utilizado en el proceso de gestión de calidad, especialmente en procesos de gestión de seguridad y fiabilidad. FMEA es un método esencial de análisis de riesgos. Este método se puede aplicar para productos, procesos de fabricación, así como los procesos financieros, sociales y de otro tipo. Esta metodología se centra en la minimización de pérdidas puesto que detalla los procesos más críticos para reducir su ocurrencia; la para total de un sistema productivo en cualquier sector afecta la economía de la empresa que debe estar orientada hacia la eficiencia. Para resolver los problemas que ocurren se realiza una amplia documentación de los detalles de cada avería, en tanto que existen algunas causas que no se detectan a simple vista o en cualquier tipo de revisión preventiva. En este sentido, es posible sostener que es una técnica analítica en donde el uso de la tecnología es clave para identificar de manera correcta la causa principal y calcular las consecuencias visibles al mínimo.

En palabras de Arabsheybani, Mahdi y Sattar (2018) la documentación del proceso es útil puesto que permite conocer las implicancias de cada fallo y así anticiparse a su ocurrencia; esto forma parte de un proceso de gestión con calidad y seguridad. En otras palabras, la metodología FMEA está enfocada para identificar las fallas en equipos y poder entender el funcionamiento sistemático; solo con dicho conocimiento se podrá prevenir la ocurrencia de averías, dado que cuando suceden afectan en gran manera a la producción. Una de sus principales es la caracterización a detalle de cada proceso considerado como crítico, puesto que así es posible anticiparse a la falla.

Según Socconini (2018) el desarrollo de la metodología FMEA posee objetivos claros, además que puede traer muchos beneficios luego de su aplicación; algunos estos objetivos se detallan en las siguientes líneas.

- Reconocer las fallas potenciales a través de un detallado proceso de documentación
- Evaluar los modos de fallas y sus posibles consecuencias en términos de disponibilidad, confiabilidad y calidad
- Determinar los efectos de las fallas en la práctica del sistema
- Identificar las acciones para prevenir incidentes

- Reducir las consecuencias negativas de una avería mediante la identificación oportuna en los mantenimientos preventivos
- Evaluar la confiabilidad del sistema
- Documentar los procesos a detalle

2.2.2.2. Etapas de aplicación del FMEA

Para Stamatis (2019) en el desarrollo e implementación de la metodología FMEA es necesario realizar una secuencia de pasos ordenados que delimiten el trabajo a realizar en cada etapa de forma secuencial y ordenada. Para detallar las etapas que posee se presenta la siguiente figura:

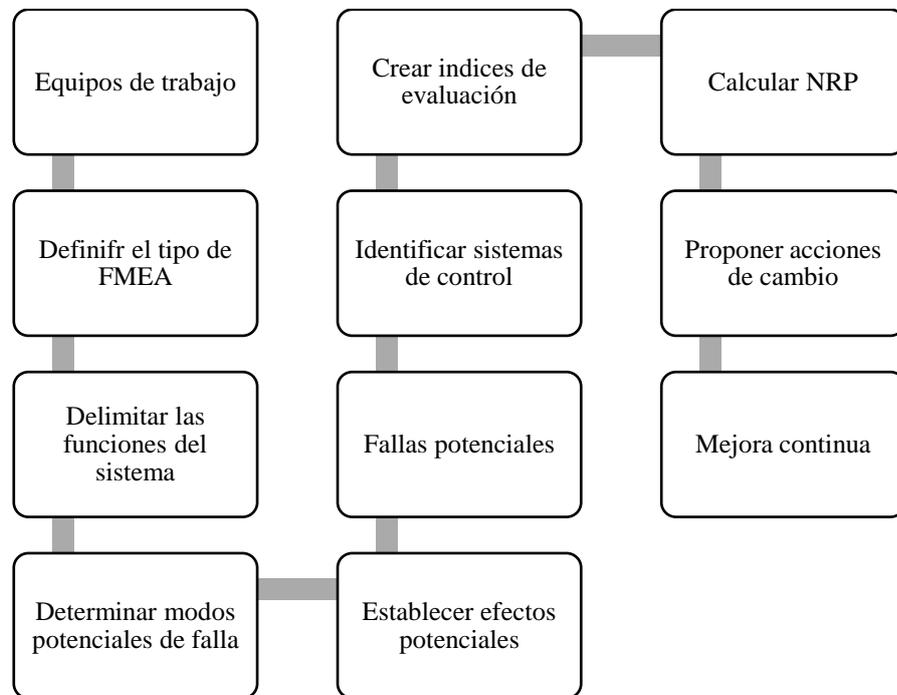


Figura 5 Etapas en la aplicación de FMEA

Fuente: Stamatis (2019)

En la figura anterior se ha mencionado una secuencia de pasos como etapas en la metodología FMEA en un sistema productivo o un equipo. En primer lugar, se debe seleccionar a los equipos de trabajo con personal comprometido con el objetivo de mejorar la situación actual, para ello es necesario contar con la experiencia en el sector y en el mantenimiento de los equipo; a continuación se define el tipo de FMEA a emplear,

lo cual se basa en el tipo de equipos o sistemas a analizar, delimitando de forma clara el campo de dicha aplicación. Los pasos mencionados anteriormente pueden ser considerados como un escenario previo a la implementación, a partir de estos suceden los pasos precisos para la ejecución de la metodología.

Para Li y Chen (2019) en la aplicación concreta se determinan los modos potenciales de falla de cada una de las funciones, este es un paso realmente importante dado que permite recoger todos los datos posibles para conocer el proceso crítico y mejorarlo. A partir de dicha información se establecen los efectos potenciales que pueden ocasionar, es decir, para cada tipo de fallos hay consecuencias claras que puede sufrir el sistema productivo y se debe conocer a detalle para evaluar el impacto que generan. Otro paso importante es el análisis de las fallas potenciales, ya sean de forma directa o indirecta; para este punto se recomienda el empleo de diagramas de causa – efecto para graficar las relaciones que existen dentro del sistema. En estos 3 puntos anteriores se basa el desarrollo en sí de las dimensiones de la metodología FMEA, los cuales pueden repetirse de forma secuencial hasta lograr el diagnóstico adecuado.

Con la información recolectada en las dimensiones de esta metodología a modo de diagnóstico de la situación, se plantean acciones para modificar la realidad observada, para ello se identifican los sistemas de control para prevenir los motivantes de las averías mediante el análisis de los sistemas y procesos similares. Luego se deben definir cuáles serán los indicadores a emplear para evaluar la criticidad de los procesos, entre ellos se puede mencionar el índice de gravedad, ocurrencia y detección; en análisis final de dicho escenario se da con el hallazgo de la prioridad de riesgo (NRP), la explicación de cada uno de ellos se da en el siguiente punto.

Posterior a la identificación de la situación se procede a la proposición de acciones de cambio que permitan mejorar la realidad del sistema de producción, dado que se cuenta con la información necesaria para generar mejoras sustanciales. Finalmente, adoptando una evaluación secuencial y periódica de los equipos, se da la mejora continua del sistema de mantenimiento en base a la metodología FMEA; en otras palabras, se controla el buen funcionamiento y se anticipan los fallos en búsqueda de una mayor confiabilidad de equipos que permita mantener el sistema productivo en óptimas condiciones.

2.2.2.3. Nivel Prioritario de Riesgo (NPR)

Para conocer el nivel prioritario de riesgos (NRP) es necesario el hallazgo de otros indicadores complementarios pero importantes para la identificación de la criticidad en el sistema productivo; entre ellos se encuentran la gravedad, ocurrencia y detección, para cada uno de ellos existe una ponderación de valores para el análisis cuantitativo. De acuerdo con Gupta y Sri (2016) el detalle de cada uno se menciona a continuación.

- Índice de gravedad

Mide el peligro que representa un fallo a través de las consecuencias que puede generar, para ello empleando una escala del 1 al 10 pondera de mayor a menor el nivel de insatisfacción que genera. Para conocer más a detalla la escala de puntuación y la percepción que le merece se muestra la siguiente tabla:

Tabla 2

Índice de gravedad

Descripción	Puntaje
Casi imperceptible, no es fácil su detección	1
Considerada una falla menor	2-3
Falla de consecuencias bajas	4-5
Falla media, aún no detiene al sistema	6-7
Falla de critica	8-9
Nivel más elevado e indica problemas de seguridad	10

Fuente: Gupta y Sri (2016)

En la tabla anterior se observa la escala de puntuación para determinar el nivel de gravedad de cada sistema; en este sentido, se posee un ordenamiento del 1 al 10, donde 1 corresponde al nivel más bajo y 10 a la situación más extrema de gravedad que implica problemas en la seguridad de la fábrica.

- Índice de ocurrencia

Este indicador presenta la frecuencia en la cual suceden los problemas en los equipos, es decir, determina qué tan ocurrentes son en una escala del 1 al 10; para conocer a detalle la ponderación de cada casi se muestra la siguiente tabla.

Tabla 3

Índice de ocurrencia

Descripción	Puntaje
Remota, casi nunca sucede	1
Relativamente pocas fallas	2-3
Fallas ocasionales	4-5
Fallas moderadas	6-7
Fallas repetitivas	8-9
Alta ocurrencia y falla casi inevitable	10

Fuente: Gupta y Sri (2016)

Es posible observar que la frecuencia esta ponderada de acuerdo con el nivel de apariciones dentro del sistema productivo; adicionalmente, no sería posible centrar una clasificación en cifras puesto que no es posible delimitar a todos los equipos mediante un patrón.

- **Índice de detección**

Otro elemento importante dentro del mantenimiento de equipos es poder detectar el problema a tiempo, debido a que hay problemas que puede ser graves en el largo plazo pero no se evidencian dichas fallas hasta el punto más crítico que implica la detección total del sistema productivo. Para conocer a detalla la escala de puntuación, se muestra la siguiente tabla.

Tabla 4

Índice de detección

Descripción	Puntaje
Casi seguro de detectarlo en mantenimiento	1
Alta probabilidad de detección	2-3
Moderada	4-5
Baja	6-7
Muy remota	8-9
Absolutamente indeclarable	10

Fuente: Gupta y Sri (2016)

Como se observa en tabla anterior, los puntajes del 1 al 10 corresponden a los niveles de detección de las fallas, en tanto que aquellos problemas más difícil de observar en el mantenimiento pueden afectar en gran manera al sistema productivo, es por ello que el puntaje más alto corresponde a los problemas casi indetectables, puesto que son los que no se solucionan o gestionan a tiempo.

Luego de la formación de estos conceptos es posible determinar el indicador de la prioridad del riesgo, dado que todos los factores anteriores se combinan en una fórmula que permite evaluar de manera conjunta el nivel de gravedad, ocurrencia y detección de las fallas para identificar a las más importantes y a partir de dicho punto plantear acciones de mejora. Mediante la siguiente expresión matemática se presenta este indicador.

Ecuación 1 Número Prioritario de Riesgo (RPN)

$$RPN = Gravedad \times Ocurrencia \times Detección$$

En Socconini (2019) se comenta que ante la aparición de indicadores prioritarios de riesgo con una puntuación mayor a 100 unidades se deben tomar acciones inmediatas para mejorar la situación inicial del equipo puesto que existe un gran riesgo de cometer errores o esperar fallos que afecten la producción. Por otro lado, los aspectos que alcancen un valor entre 30 y 100 puntos deben ser considerados como una segunda opción de mejora.

2.2.2.4. Acción Preventiva

Para Socconini (2019) La aplicación de medidas preventivas es una consecuencia natural de seguir bajo el enfoque de la metodología AMEF, en tanto que en el último paso se considera a la mejora continua como una alternativa para un buen desempeño de los sistemas de producción en el futuro. En este sentido, llegar a la acción preventiva requiere de una secuencia de aplicaciones, puesto que no resulta un enfoque por mera aplicación, sino que es un reto de aprendizaje para alcanzarlo, para entender mejor este concepto se muestra la siguiente figura.

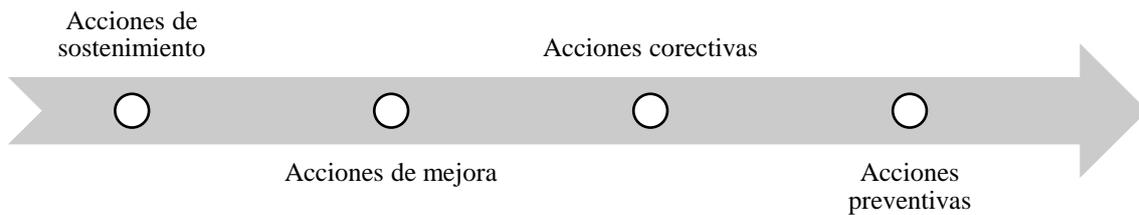


Figura 6 Tiempo y disponibilidad en los equipos

Fuente: Socconini (2019)

Como se observa en la figura anterior, el primer paso para lograr la mejora continua son las acciones de sostenimiento, es decir, se mantiene el sistema tal cómo funciona, a partir de este punto se plantean acciones de mejora lo que permitirá incrementar la productividad y eficiencia del sistema inicial en análisis. Luego se realizan acciones correctivas para evitar la recurrencia de fallos, en otras palabras, este paso se enfoca en la frecuencia de cada actividad para su reducción. Finalmente, se realizan acciones preventivas que eviten la ocurrencia de problemas en el sistema.

Otro aspecto importante es la necesidad de entender cómo funciona el mecanismo de acción preventiva en búsqueda de la mejora continua del enfoque AMEF, para ello se plantean algunos lineamientos a considerar para dicho análisis.

- Caracterizar la metodología como un proyecto estratégico, esto implica que no solo debe ser considerado como una forma para solucionar el problema de gravedad, ocurrencia o detección de fallos, sino que dotará al sistema de un respaldo para orientar las acciones de producción y mantenimiento hacia un objetivo centrado. Uno de los aspectos positivos del FMEA de gran interés para el empresario es la reducción de costos de reparación y mantenimiento, además de contar con información detallada para la construcción de datos; estos aspectos pueden ser el eje central para tomar esta metodología como parte de la estrategia de actividades en todos los procesos.
- Orientar la estructura, es decir, implementar los cambios de manera funcional para que se logre una mejora en base a la unión de fuerzas en cada área comprometida

con el mantenimiento; el trabajo en equipo es parte fundamental en el alcance de la mejora continua puesto que todos se comprometen en acciones preventivas para evitar la ocurrencia de fallos o averías en los sistemas.

- La necesidad de entender los indicadores como parte de un correcto diagnóstico de la situación inicial y final en cada ciclo de análisis. Este punto corresponde a la evaluación de la gran cantidad de variables, equipos, problemas o circunstancias que se viven en el sistema de producción; el definir indicadores claros colabora en un buen planteamiento de alternativas que permitan las mejoras adecuadas.

2.2.2. Disponibilidad

Según García (2016) la disponibilidad se refiere a la magnitud estadística que permite explicar la posibilidad que un sistema o equipo determinado se encuentre en óptimas condiciones para efectuar sus labores en cualquier momento, es decir, analiza la probabilidad de realizar los trabajos bajo las mejores condiciones. Esta información es importante en todos los procesos productivos en tanto que permiten planificar la producción en el corto y mediano plazo en búsqueda del menor número de detenciones o paradas no programadas.

Desde otra perspectiva, también se señala que la disponibilidad es un concepto mucho más amplio que solo el cálculo matemático, dado que posibilita distribuir el tiempo de vida útil de las maquinarias para optimizar la producción que permita el empleo provechoso por parte de la empresa. El concepto además se encuentra ligado a un determinado límite de funcionamiento de acuerdo con las especificaciones técnicas, puesto que existen paradas que pueden ser programadas por labores de mantenimiento o debido a retrasos logísticos; dicha información se presenta en la siguiente figura.

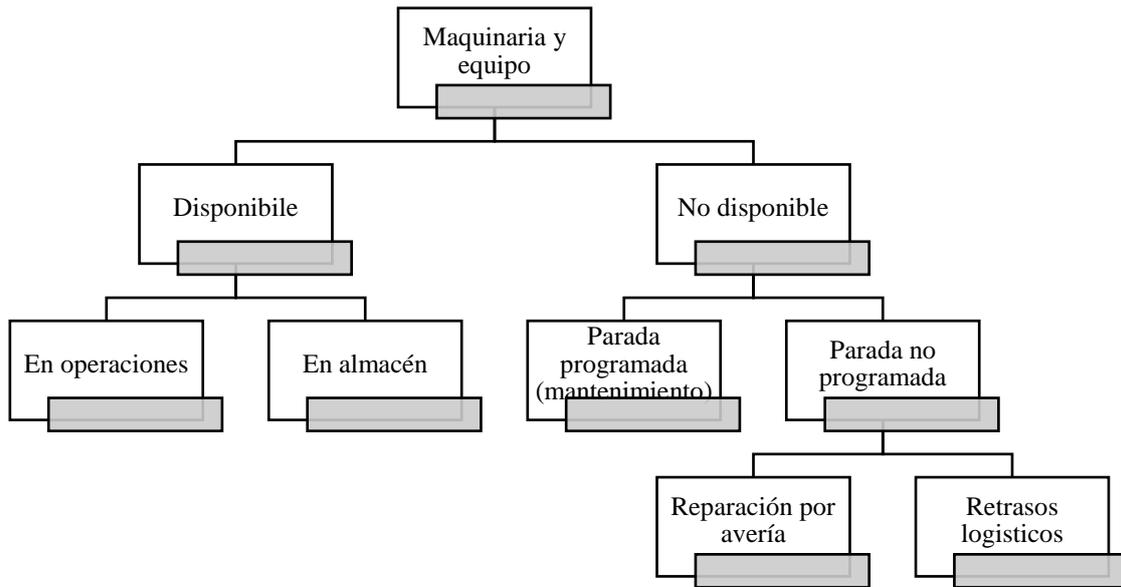


Figura 7 Tiempo y disponibilidad en los equipos

Fuente: García (2016)

Para Caballero y Clavero (2016) existen algunos factores importantes que pueden afectar a la disponibilidad de equipos, en otras palabras, las causas que frecuentemente ocasionan fallos en los equipos. En primer término, es común una mala manipulación en las maquinas por falta de conocimiento del personal técnico u operativo, es por ello que se recomienda realizar un estudio de los factores que se encuentran involucrados en el funcionamiento. Por otro lado, también es frecuente las fallas por un entorno físico no adecuada, es decir, no se brindan las facilidades para asegurar la estabilidad del equipo. En tercer lugar, se mencionan las fallas internas que pueden presentarse que no pueden ser determinadas a tiempo. En este sentido, se observa que el factor más importante para asegurar la disponibilidad de los equipos son las condiciones que se requiere para su correcto funcionamiento, lo que implica a su vez evitar todo tipo de fallos y reducir al máximo los defectos. Es común que los equipos puedan sufrir averías a causa de errores, pero lo más importante es que el periodo de reparaciones sea menor o igual al estimado para no afectar la producción de la empresa.

Por otro lado, de acuerdo con Alavedra et al. (2016) la disponibilidad se refiere a la medición del tiempo en la que un equipo realiza sus operaciones bajo un comportamiento normal, es decir, no presenta fallas o problemas dado que está siendo controlado. Para dicho análisis es necesario conocer los indicadores de fiabilidad y mantenibilidad del

equipo, ambos involucran la confiabilidad para la correcta ejecución de trabajos y colaboran en prolongar la vida útil del equipo. La disponibilidad usualmente se relaciona con la posibilidad de reducir los fallos o defectos del sistema, ya sea por elementos internos o factores humanos.

De acuerdo con Martín (2017) para hallar el valor de este indicador se emplea la siguiente fórmula (p.86):

Ecuación 2 Disponibilidad

$$Disponibilidad = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

Dónde:

MTBF: Tiempo medio entre fallas

MTTR: Tiempo medio para reparación

2.2.2.5. Tiempo medio entre fallas

Según Piechnicki, Loures y Santos (2017) el tiempo medio entre fallas se mide a través de la fiabilidad de los equipos, este indicador proporciona una perspectiva del grado de disponibilidad en base al tiempo total de las operaciones y el número de averías ocurridas para estimar la posibilidad de correcto funcionamiento del equipo, es decir, sin errores. En el desarrollo de actividades de las empresas de tipo industrial es determinante que este tiempo cada vez sea el menor posible. El cálculo del tiempo medio entre fallas se aproxima a través de la siguiente expresión matemática.

Ecuación 3 Tiempo medio entre fallas

$$MTBF = \frac{\sum \text{Horas total de operación}}{\text{Número de fallos}}$$

2.2.2.6. Tiempo medio para reparaciones

De acuerdo con García (2016) el tiempo medio de reparaciones es importante para analizar los equipos o sistemas de producción de forma continua, en tanto que el tiempo de reparación influye sobre la disponibilidad de la maquina dado que la aleja del proceso productivo. Su cálculo se realiza a través de la división del tiempo del mantenimiento correctivo, aquel que se da ante la ocurrencia de una avería inesperada, sobre el número total de fallos; la expresión matemática para su hallazgo es la siguiente:

Ecuación 4 Tiempo medio para reparaciones

$$MTTR = \frac{\sum \text{Horas de manenimiento correctivo}}{\text{Número de fallos}}$$

2.3. Definición de términos básicos

Acciones preventivas: son aquellas acciones destinadas para mitigar las causas de las no conformidades potenciales que no son deseables. (Galeano y Pérez, 2017, pg. 9)

Causas potenciales de fallo: es uno de los ítems a considerar dentro del análisis de modo de fallas y efectos, parte del reconocimiento de probabilidad de ocurrencia de falla (Consuegra, 2015, pg.41)

Disponibilidad: se comprende como la relación entre las horas trabajadas y las horas empleadas en reparación. (Zegarra, 2016, pg. 31)

Efectos potenciales de fallo: se define a así a las fallas de entrada critica que afecta directamente los requerimientos del cliente. (Galeano y Pérez, 2017, pg.61)

MTTR: Mean Time to Repair (Tiempo medio para reparar) es un indicador para mostrar el tiempo promedio de la demora de las reparaciones de alguna maquinaria. Su cálculo se realiza dividiendo las horas totales en reparaciones entre el número de paradas que tuvo la maquinaria. (Zegarra, 2016, pg.31)

MTBF: Mean Time Between Failures (Tiempo medio entre fallas) es el tiempo medio o promedio que la máquina trabaja sin presentar alguna falla, se calcula matemáticamente de la división de las horas trabajadas entre el número de fallas representadas. (Zegarra, 2016, pg. 32)

FMEA: es comprendida como una técnica alternativa para la gestión de riesgos, mediante la identificación, evaluación y prevención de los posibles fallos para así disminuir los riesgos asociados a los equipos empleados. (Consuegra, 2015, Pg. 39)

FMEA de producto: Funciona como herramienta predictiva para la detección de fallas en el diseño, incrementando las probabilidades de anticiparse a los efectos que pueden suceder en el proceso de producción (Galeano y Pérez, 2017, pg.18)

FMEA de proceso: se encuentra orientado a las funciones de proceso y todas las características inmersas, toma en cuenta la fabricación y el montaje. (Galeano y Pérez, 2017, pg. 16)

Grúa telescópica: también llamada grúas móviles autopropulsadas, son empleadas para la industria de construcción en la mayoría de casos. (Cuzcano, 2014, pg.20)

Grupo de trabajo: es un equipo de personas que tienen el objetivo de llevar a cabo una tarea común. (Galeano y Pérez, 2017, pg. 20)

Severidad: es la etapa del AMEF donde se analizan las entradas críticas del proceso, las potenciales fallas y se mide la severidad (Galeano y Pérez, 2017, pg. 61)

Incidencia: número repetitivo de veces que sucede un asunto e influye en la realización de un proceso. (Consuegra, 2015, pg.45)

Detección: es parte de la tercera etapa de la aplicación de la metodología AMEF, consiste en la evaluación de la eficiencia de los controles que se manejan en el proceso. (Galeano y Pérez, 2017, pg. 63)

Numero de prioridad de Riesgo (NPR): relaciona las características cuantitativas que se producen en las etapas anteriores, brindando así el número de prioridad del riesgo. Se toma en cuenta la severidad, ocurrencia y detección (Galeano y Pérez, 2017, pg.63)

Mantenimiento preventivo: son las operaciones realizadas para la conservación de equipos a través de la revisión y limpieza para garantizar la fiabilidad y funcionamiento. (Galeano y Pérez, 2017, pag.65)

Mantenimiento correctivo: al identificar el número de prioridad de riesgo crítico, es posible generar una acción correctiva para solucionar los problemas identificados. (Galeano y Pérez, 2017, pag.65)

III. CAPITULO III: METODOLOGÍA

3.1. Tipo de investigación

Enfoque cuantitativo

El presente estudio corresponderá a un enfoque cuantitativo, puesto que es un enfoque el cual parte de preguntas de investigación que se derivan hipótesis y determinan y definen variables; se traza un plan para probar las primeras; se seleccionan casos o unidades para medir en estas las variables en un contexto específico; se analizan y vinculan las mediciones obtenidas, y se extrae una serie de conclusiones respecto de la o las hipótesis (Hernández y Mendoza, 2019, p.6). Dichos autores plantean el conjunto de pasos a seguir, siendo el enfoque elegido en este trabajo.

Tipo de investigación

Asimismo, la investigación es de tipo aplicada dado que es aquel tipo de investigación que basándose en los resultados de la investigación básica o pura está orientada a resolver los problemas sociales de una empresa, organización, comunidad, región o país (Ñaupas, Valdivia, Palacios y Romero, 2018, p 136). Siendo así, el tipo aplicado corresponderá al estudio desarrollado en cuestión, siendo de interés del investigador resolver este problema que afecta a la empresa y sus operaciones.

Nivel de investigación

De nivel explicativo, puesto que son aquellas investigaciones donde se tiene como propósito u objetivo principal establecer las causas o factores de los hechos, problemas o fenómenos que se estudian. Asimismo, de nivel descriptivo ya que se pretende especificar las propiedades, características y perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis (Hernández & Mendoza, 2018, p 111).

3.2. Diseño de investigación

La investigación corresponderá a un diseño experimental, esta clase de diseños, se denominan así puesto que su grado de control es mínimo, son diseños con un grupo único o grupo experimental (Hernández y Mendoza, 2018, p 162). En este trabajo se buscará comparar una situación antes de la mejora y después de la mejora, con el afán de evidenciar diferencias gracias a la propuesta de mejora basada en la metodología FMEA al incrementar la disponibilidad de las grúas telescópicas.

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

La población está conformada por 4 grúas telescópicas RT 9130-2 analizadas durante un periodo de 12 meses en el año 2019. La población puede ser definida como el total de las unidades de estudio, que contienen características requeridas (Ñaupas, Valdivia, Palacios y Romero, 2018, p 334). La investigación corresponde a un alcance temporal de tipo transversal, en tanto que en vez de hacer un seguimiento de una variable, durante 5 o más años, se estudia esa variable simultáneamente en un solo año (Ñaupas, Valdivia, Palacios y Romero, 2018, p 369). El análisis a lo largo de un año permite conocer de forma certera el desenvolvimiento de las variables a fin de observar cambios en el mediano y largo plazo sobre el comportamiento y evolución en el tiempo.

3.3.2. Muestra

La muestra es igual a la población, la cual está conformada por 4 grúas telescópicas R 9130-2 durante un periodo de 12 meses en el año 2019. La muestra censal representa el total de la población, dado que ésta es pequeña y finita (Zarcovich, 2005, p.10). Adicionalmente, la investigación corresponde a un alcance temporal de tipo transversal, en tanto que en vez de hacer un seguimiento de una variable, durante 5 o más años, se estudia esa variable simultáneamente en un solo año (Ñaupas, Valdivia, Palacios y Romero, 2018, p 369). El análisis a lo largo de un año permite conocer de forma certera la evolución de la disponibilidad a fin de observar cambios en el mediano y largo plazo en la evolución durante el tiempo.

3.3.3. Muestreo

Dado que la muestra es de tipo censal, es decir, la muestra es igual a la población. No hay muestreo en la presente investigación. Una muestra censal se refiere a que una población de fácil acceso y con un mínimo número de elementos o individuos puede ser estudiada en su totalidad sin necesidad de realizar muestreo, lo cual se denomina estudio de muestra censal (Zarcovich, 2005, p.12).

3.4. Lugar y periodo realizado

El lugar donde se desarrolla la presente investigación está localizado en la planta de gas Malvinas, Cuzco, Perú. Asimismo, en relación con el periodo analizado, esta investigación estuvo comprendida por un periodo de doce meses correspondientes al año 2019.

3.5. Instrumentos y técnicas de recolección de datos

Técnica de recolección de datos

La técnica aporta instrumentos y medios para la recolección, concentración y conservación de datos (Baena, 2016, p. 93). La técnica de recolección de datos utilizada es la observación directa por parte del investigador a cargo del estudio.

Observación directa

La observación directa es aquella donde el mismo investigador procede a la recopilación de información, sin dirigirse a los sujetos involucrados; recurre directamente a su sentido de observación (Baena, 2016, p. 97). En el presente estudio se utiliza como técnica de recolección de datos a la observación, realizada por el investigador, siendo una técnica muy útil para cumplir con los propósitos y contrastación de hipótesis establecidos en la investigación.

3.6. Definición de variables

Tabla 5

Matriz de operacionalización

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensión	Indicador
Disponibilidad operativa de grúas telescópicas	Para Alavedra et al. (2016) la disponibilidad se refiere a la medición del tiempo en la que un equipo realiza sus operaciones bajo un comportamiento normal, es decir, no presenta fallas o problemas dado que está siendo controlado.	La disponibilidad operativa será mejorada a través del empleo de la metodología FMEA y sus herramientas, lo cual también se evidenciará en las dimensiones	Tiempo promedio entre fallas (MBFT)	$\frac{\sum \text{Horas total de operación}}{\text{Número de fallos}}$
			Tiempo promedio entre reparaciones (MTTR)	$\frac{\sum \text{Horas de manenimiento correctivo}}{\text{Número de fallos}}$
Metodología FMEA	De acuerdo con McDermott, Mikulak y Beauregard (2017) la metodología FMEA es un enfoque que posibilita la identificación de fallos y sus probables consecuencias en determinada maquina o sistema de producción, para ello predice el tipo de avería de acuerdo con la información recopilada en términos de criticidad, ocurrencia y peligrosidad	La metodología FMEA será el mecanismo empleado para lograr cambios significativos en la disponibilidad; con el uso de sus técnicas y herramientas se mejorará el proceso de mantenimiento de los equipos.	Número Prioritario de Riesgo (NPR)	<i>SeveridadxOcurrenciaxDetección</i>
			Acción Preventiva FMEA	$\sum \text{Acciones preventivas}$

Elaboración propia

3.7. Instrumentos

Instrumento de recolección de datos

Son los recursos que utiliza el investigador para registrar información o datos sobre las variables que tiene en mente (Ñaupas, Valdivia, Palacios y Romero, 2018, p 273). En este trabajo de investigación se utiliza la guía de observación para el registro de los datos de mantenimiento.

Guía de observación

Es un instrumento de recolección de datos de la investigación, permite recoger o recopilar información desde campo o in situ, relevante con alto grado de veracidad y objetividad necesarias, de fuente primaria con el objetivo de verificar las hipótesis del trabajo (Ñaupas, Valdivia, Palacios y Romero, 2018, p 308). Dicho instrumento es conocido como guía de observación, el cual es empleado en el presente documento.

3.8. Procedimiento

Con relación al procedimiento en el desarrollo de investigación, se detalla a saber:

a) Elaboración del plan de tesis

En primer lugar se llevó a cabo la elaboración del proyecto de tesis, en éste se realizó el resumen del trabajo de investigación, en el cual se presenta también el problema, objetivos, hipótesis y variables de estudio.

b) Revisión de la bibliografía

Se hizo la consulta bibliográfica respectiva, fuentes secundarias para identificar la metodología de investigación, herramientas y técnicas empleadas para su realización.

c) Diagnóstico de la situación inicial

Se diagnóstico y analizó la información recolectada de fuentes primarias de la empresa, específicamente datos de la maquinaria; grúas telescópicas materia de análisis.

d) Procedimiento de tratamiento de datos

Se efectuó el análisis de los datos recolectados utilizando las técnicas e instrumentos previamente mencionados para el desarrollo de la metodología FMEA y herramientas de la ingeniería industrial. Asimismo, se emplearon técnicas de análisis estadístico descriptivo para presentar los resultados y principales hallazgos con relación a la disponibilidad, mantenimiento entre fallas y entre reparaciones de las unidades analizadas.

e) Presentación de avances

Se presentaron entregables del trabajo de tesis realizado al asesor asignado al investigador para su respectiva observación, análisis y correcciones pertinentes.

f) Elaboración del trabajo final de tesis

Corresponde a la elaboración del trabajo final previo levantamiento de las observaciones realizados por el jurador examinador

g) Sustentación de grado

Se precisó de exponer el trabajo final de forma resumida ante los jurados para su aprobación final.

3.9. Procesamiento de datos

Para el procesamiento de datos se recurre a las técnicas y medidas del análisis estadístico descriptivo, que comprende el uso de tablas de frecuencia, gráficos de barras, gráficos de líneas, como el uso de medidas estadísticas de tendencia central; como la media o promedio para comparar los escenarios antes y después de la influencia de la metodología FMEA, para ello se empleó el software Ms Excel, el cual permite editar las tablas y figuras

de los datos obtenidos de la recolección de información llevada a cabo. Asimismo, corresponde la organización de los datos, su tabulación y presentación resumida en tablas y figuras acorde a la naturaleza de sus variables, en este caso, de tipo cuantitativas continuas y uso pertinente de diagramas para representar de manera gráfica las evidencias y cambios encontrados por la aplicación de la metodología propuesta.

3.10. Consideraciones éticas

Durante el desarrollo del documento de investigación se mantuvo el respeto debido a la autoría de los autores mencionados, mediante el marco de citas y referencias señalado en las Normas APA Sexta Edición, evitando de esta manera incurrir en plagio por fuentes indebidamente citas u omisiones de la propiedad intelectual de dichos autores por el contenido expuesto. Por otro lado, debe precisarse que no se ha realizado manipulación alguna con la información recolectada, la misma que ha sido proporcionada oficialmente por la propia empresa. Asimismo, se cumple en esta investigación todas las disposiciones señaladas por la Universidad Privada del Norte y como parte del estudio se ha señalado que éste tiene fines estrictamente académicos para las partes involucradas.

IV. CAPITULO IV: DESARROLLO

4.1. Diagnóstico de la situación inicial

En primer lugar, se procede con el análisis de la situación inicial, la cual parte de la problemática identificada en el análisis de Ishikawa y Pareto. En este sentido, el diagrama de Ishikawa mostró, como resultado del análisis de las deficiencias, que el problema central esta dado por la baja disponibilidad de grúas; en tanto que las causas que más impactan son la falta de una metodología, la falta de procedimientos, formatos y fichas y capacitaciones, elementos a resolver por la metodología FMEA.

La disponibilidad operativa de estos equipos es un factor trascendental para las actividades de la empresa, por lo que se desea que este valor sea el más alto posible. Para el cálculo de la disponibilidad se ha empleado los indicadores del tiempo medio entre fallas y tiempo medio para reparaciones a fin de considerar todo el tiempo en el cual el equipo puede ser empleado. Para el evidenciar el bajo nivel de disponibilidad, se presenta la siguiente tabla.

Tabla 6

Análisis de la disponibilidad (pre-test)

Escenario	Periodo	MTBF	MTTR	Disponibilidad
Pre-test	Mes 1	33.14	5.26	87.3%
	Mes 2	35.63	4.79	88.2%
	Mes 3	33.83	4.58	88.1%
	Mes 4	37.90	4.76	88.8%
	Mes 5	35.55	4.87	88.0%
	Mes 6	28.62	4.77	84.7%

Fuente: Elaboración propia

El análisis permite evidenciar que la disponibilidad de los equipos ha se ha reducido a lo largo de los 6 meses previos, en tanto que se pasa de 87.8% en el primer mes hasta 84.3% en el sexto mes de evaluación, ello implica que la sección de mantenimiento no ha podido mostrar una actitud de cambio y plantear una mejor significativa en dichos meses; en otras palabras, la gestión del mantenimiento ha sido deficiente para el tratamiento de la disponibilidad antes de la implementación. Para graficar el escenario descrito en las tablas anteriores se presenta la siguiente figura.

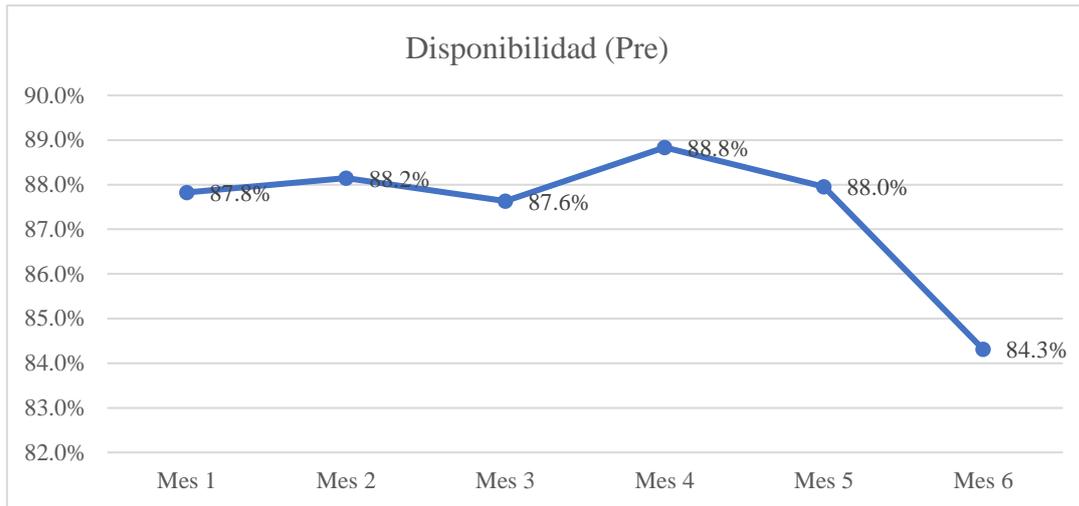


Figura 8 Análisis de la disponibilidad (pre-test)

Fuente: Elaboración propia

En la gráfica es posible observar una tendencia decreciente de la disponibilidad durante los meses de análisis, a pesar de mostrar un incremento del mes 3 hacia el mes 4 de 87.6% a 88.8%, el indicador vuelve a caer para el mes siguiente y muestra su punto más bajo en el mes 6 con 84.3%; ello indica la necesidad de plantear una metodología que gestione el mantenimiento y logre cambios significativos para los intereses de la compañía. Ahora bien, para conocer más a fondo el problema de la disponibilidad será preciso mostrar las dimensiones del tiempo medio entre fallas y para reparaciones.

En este sentido, el tiempo medio entre fallas menciona la relación entre las horas de operación efectiva de las grúas y el número de fallas sucedidos durante las actividades y ello se muestra a través de la siguiente tabla.

Tabla 7

Análisis del tiempo medio entre fallas (pre-test)

Escenario	Periodo	Tiempo medio entre fallas		
		Horas de operación	Nº Fallas	MTBF
Pre-test	Mes 1	674.5	20	33.73
	Mes 2	677.0	19	35.63
	Mes 3	673.0	20	33.65
	Mes 4	682.3	18	37.90
	Mes 5	675.5	19	35.55
	Mes 6	647.5	23	28.15

Fuente: Elaboración propia

Durante los 6 meses del pre-test las horas de operación efectivas de las grúas se ha reducido de forma considerable, en tanto que su valor máximo fue del 682 horas en el cuarto mes y su valor más bajo en el sexto mes con 647.5 horas, mostrando una tendencia decreciente. De forma similar, en el análisis del número de fallas, los valores se incrementan de 20 en el escenario inicial hasta su valor máximo de 23 en el mes 6 antes de la implementación. Como resultado, el tiempo medio entre fallas se reduce cada vez más, afectando las operaciones y ello se presenta en la figura a continuación.

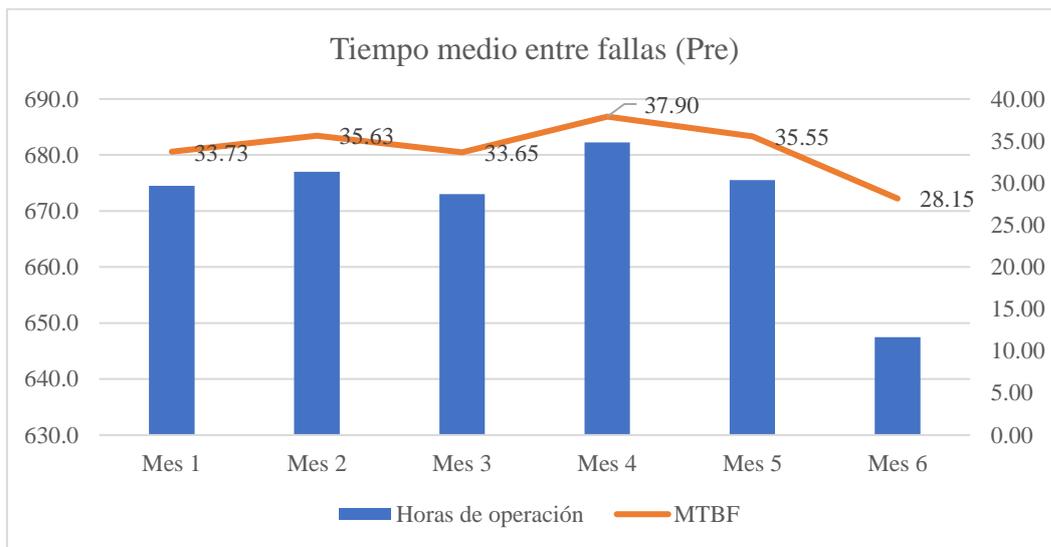


Figura 9 Análisis de MTBF (pre-test)

Fuente: Elaboración propia

En la figura anterior se evidencia la reducción del tiempo medio entre fallas, el cual pasa de 33.14 en el primer mes, luego aumenta hasta 37.9 en el cuarto mes y logra su valor más bajo en el sexto mes con 28.62 horas, es decir, cada 28.6 horas el equipo presenta una falla que detiene las acciones.

Por otro lado, la dimensión del tiempo medio para las reparaciones toma en cuenta el tiempo que toman los trabajos de mantenimiento respecto al total de las fallas presentadas en las grúas, a fin de determinar cuál es el valor promedio para las reparaciones; dicha información durante 6 meses se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 8

Análisis del tiempo medio para reparaciones (pre-test)

Escenario	Periodo	Tiempo medio para reparaciones		
		Horas de mantt.	N° Fallas	MTTR
Pre-test	Mes 1	93.5	20	4.68
	Mes 2	91	19	4.79
	Mes 3	95	20	4.75
	Mes 4	85.75	18	4.76
	Mes 5	92.5	19	4.87
	Mes 6	120.5	23	5.24

Fuente: Elaboración propia

A lo largo de los 6 meses del pre-test las horas de mantenimiento de las grúas se ha incrementado de forma considerable, en tanto que su valor mínimo fue del 91 horas en el segundo mes y su valor más alto en el sexto mes con 120.5 horas, mostrando una tendencia creciente. De forma similar, en el análisis del número de fallas, los valores se incrementan de 20 en el escenario inicial hasta su valor máximo de 23 en el mes 6 antes de la implementación. Como resultado, el tiempo medio para reparaciones de fallas se incrementa lo cual se muestra en la siguiente figura.

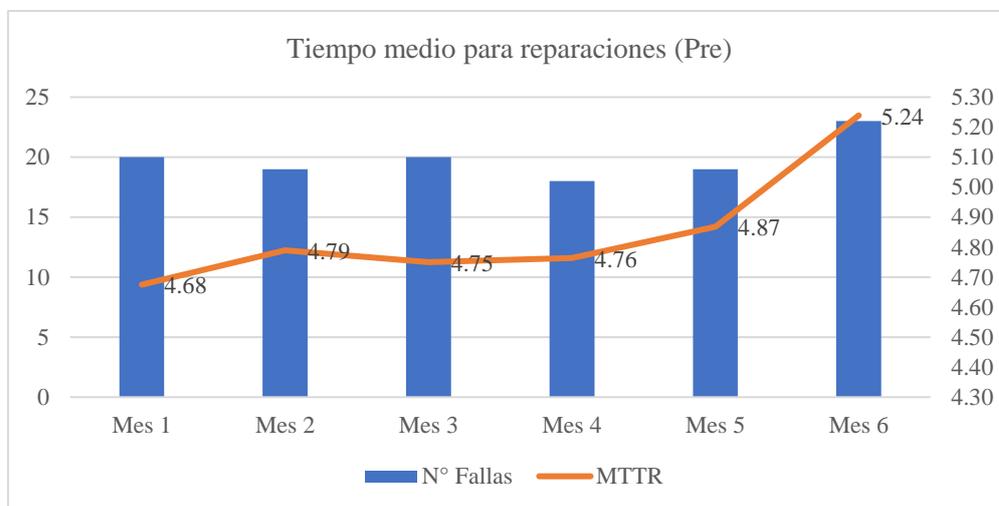


Figura 10 Análisis de MTTR (pre-test)

Fuente: Elaboración propia

En la figura anterior se evidencia una tendencia irregular del tiempo medio para reparaciones de fallas, el cual pasa de 4.68 en el primer mes, luego aumenta hasta 4.75 horas en el tercer mes y luego fue de 5.24 horas, es decir, la reparación de grúas ante las fallas tarde en promedio 5.25 horas en el último mes de análisis.

Por otro lado, el análisis de las deficiencias de la realidad problemática, mediante las puntuaciones de Pareto, determinó que las causas que más impactan son la falta de una metodología, la falta de procedimientos, formatos y fichas y capacitaciones. A partir de ello, debe plantearse una solución efectiva para los cambios en el mantenimiento de las grúas. Para determinar cuál es la alternativa más adecuada se han identificado algunos factores como los costos, el tiempo y la facilidad de aplicación, así como la solución al problema, en tanto que ellos deben ser comparados con las tentativas alternativas de solución. El análisis para ponderar los factores se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 9

Análisis ponderación para los factores de la alternativa de solución

	Costos de aplicación	Tiempo de aplicación	Solución al problema	Facilidad de aplicación	Puntaje	Ponderado (w)
Costos de aplicación		2	1	2	5	28%
Tiempo de aplicación	2		1	1	4	22%
Solución al problema	2	2		2	6	33%
Facilidad de aplicación	1	1	1		3	17%
Total					18	100%

Fuente: Elaboración propia

En la tabla anterior se indica la comparación entre los factores a tomar en cuenta para la elección de la alternativa de solución, en donde se procede a puntuar con 2 al elemento más importante y 1 al menos importante. En la evaluación comparativa de cada uno se evidencia que el factor más importante es brindar una solución al problema con el 33% del ponderado, luego se ubica los costos de aplicación con el 28%, seguido por el tiempo con 22%, en tanto que el factor menos influyente es la facilidad de aplicación con 17%. A partir de dichos datos, se podrá comparar cada una de las 3 alternativas, a saber el mantenimiento preventivo, la metodología FMEA y el TPM. Para contrastar cada una de ellas, se les ha otorgado un puntaje del 1 al 4, siendo 4 el valor para el puntaje más elemento de más impacto y 1 para el de menos impacto; la relación respecto a los factores ponderados se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 10

Análisis de alternativas de solución

	Mantenimiento preventivo			FMEA			TPM		
	Puntaje	Ponderado (w)	Total	Puntaje	Ponderado (w)	Total	Puntaje	Ponderado (w)	Total
Costos de aplicación	4	28%	1.11	3	28%	0.83	2	28%	0.56
Tiempo de aplicación	1	22%	0.22	3	22%	0.67	2	22%	0.44
Solución al problema	2	33%	0.67	4	33%	1.33	1	33%	0.33
Facilidad de aplicación	4	17%	0.67	3	17%	0.50	1	17%	0.17
Total			2.67			3.33			1.50

Fuente: Elaboración propia

En análisis de las alternativas respecto a los factores de forma ponderada evidencia que la mejor alternativa de solución es la metodología FMEA con un puntaje de 3.33, en segundo lugar se ubica el mantenimiento preventivo con 2.67 y luego el TPM con 1.5. Por lo tanto, al alternativa de solución será la metodología FMEA, al cual será tomada como variable independiente, es decir, mediante su implementación se lograrán cambios en la disponibilidad de las grúas. En este sentido, es importante evaluar cada una de las dimensiones de esta metodología. En primer lugar, se presenta la contabilidad de las acciones de mantenimiento preventivo en los 6 meses previos en la siguiente tabla.

Tabla 11

Análisis de acciones preventivas (pre-test)

Acciones preventivas		
Escenario	Periodo	N° Acciones preventivas
Pre-test	Mes 1	14
	Mes 2	16
	Mes 3	15
	Mes 4	13
	Mes 5	14
	Mes 6	12

Fuente: Elaboración propia

La tabla permite observar que con el transcurrir de los meses, la ejecución de labores de mantenimiento preventivo se ha reducido, puesto que se pasa de 14 en el mes inicial hasta 12 durante el último periodo del pre-test. Ello evidencia que la empresa no cuenta con un

sistema de planificación y ejecución que permita mantener los equipos en buenas condiciones. Por otro lado, a través del análisis AMEF se ha identificado el nivel de prioridad de riesgo de las fallas a fin de conocer el nivel de gravedad, frecuencia y detección para tomar acciones de cambio.

Tabla 12

Análisis de nivel de prioridad de riesgo (pre-test)

Escenario	Periodo	Nivel de prioridad de riesgo			NPR
		Gravedad	Frecuencia	Detección	
Pre-test	Mes 1	60	20	39	796
	Mes 2	60	19	39	722
	Mes 3	60	20	39	689
	Mes 4	60	18	39	549
	Mes 5	60	19	39	701
	Mes 6	60	23	39	807

Fuente: Elaboración propia

El análisis de prioridad de riesgo permite evidenciar que el nivel de riesgo de fallas de los equipos ha mantenido un nivel alto, siendo de 807 en el último mes del periodo pre- test; además se observa una tendencia irregular, lo cual señala que no se cuenta con una metodología de control y manejo de la frecuencia de los problemas que atraviesan las grúas. Para graficar el escenario descrito en las tablas anteriores se presenta la siguiente figura.

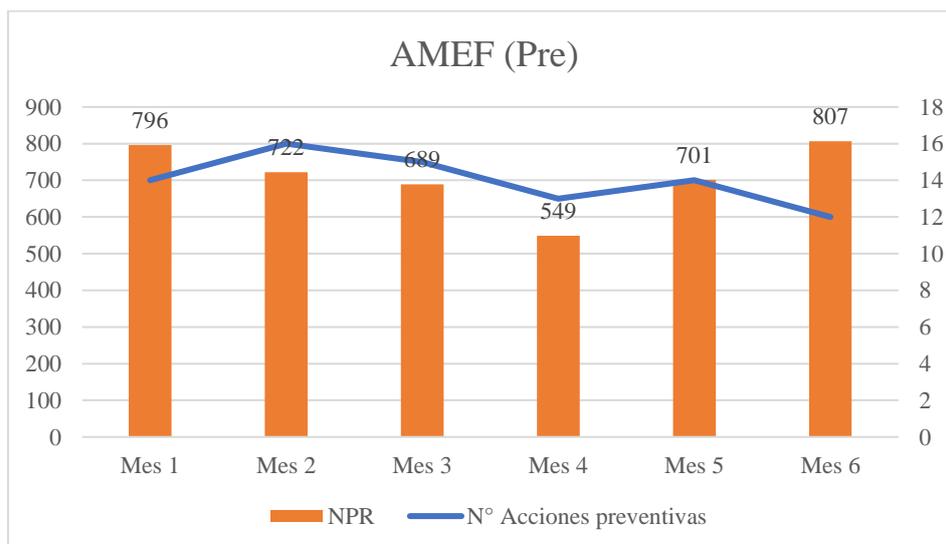


Figura 11 Análisis de AMEF (pre-test)

Fuente: Elaboración propia

En la figura anterior se observa que el número de acciones preventivas (línea azul) mantiene un nivel bajo y cae hacia el último periodo, lo cual explica también que el nivel de prioridad de riesgo se mantenga al alza, a pesar de que en los meses 3, 4 y 5 haya experimentado una reducción.

4.2. Análisis de puntos críticos

En la presente sección se comentará a detalle el análisis de los puntos críticos, es decir, los factores más importantes identificados en el diagrama de Pareto que explican gran parte del problema de la baja disponibilidad operativa de las grúas telescópicas. A partir de ello, será posible plantear mejoras que logren soluciones efectivas.

Falta de una metodología para guiar los trabajos de mantenimiento

La metodología permite establecer una guía para cualquier tipo de actividad, en tanto que se ha comprobado científicamente y mediante la experiencia que su desarrollo permite cambios positivos. El no contar con una metodología dificulta la ejecución de labores puesto que estas se realizan de forma empírica sin considerar lineamientos estratégicos para los cambios orientados en el mediano y largo plazo. En la empresa de análisis, se ha identificado que no existe una metodología para los trabajos de mantenimiento, en tanto que solo se solucionan los problemas cuando ocurre una falla o avería en los equipos y no se cuenta con una visión que permita el incremento de la disponibilidad. Como evidencia de la falta de una metodología se presenta la siguiente figura.



Figura 12 Evidencia de la falta de una metodología para guiar los trabajos

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la figura anterior, el operario de mantenimiento efectúa sus labores sin el cuidado necesario, es decir, sin contar con implementos de seguridad personal para prevenir incidentes; asimismo, observa y revisa el equipo para encontrar la falla puesto que aún no conoce cuál es la parte en donde se encuentra el problema, lo cual indica un poco nivel de conocimiento sobre la problemática. Todo ello permite afirmar que existe una falta de metodología para los trabajos de mantenimiento y la solución se debe enfocar en lograr un cambio sustancial en el tema.

Falta de formatos y fichas para el registro de datos

Para el control de la disponibilidad es importante contar con fichas y formatos que permitan el adecuado registro de los datos; de forma similar en la ejecución de labores de mantenimiento se debe contar con formatos para el control de tiempos a fin de emplear de forma óptima el recurso humano para el trabajo. En este sentido, la ausencia de estos instrumentos trae consigo el desorden en el trabajo de mantenimiento de grúas, además de no contar con información histórica sobre el tema, lo que dificulta la labor de reparación e incremento de la disponibilidad.

Falta de procedimientos para el trabajo

Los procedimientos de trabajo son una herramienta complementaria para mejorar la labor de mantenimiento, lo cual permite seguir una secuencia ordenada ante la presencia de elementos complejos como en el caso de las grúas. Para muestra de este aspecto se presenta la siguiente figura.



Figura 13 Evidencia de la falta de procedimientos para el trabajo de mantenimiento

Fuente: Elaboración propia

En la figura anterior es posible observar que el trabajador no cuenta con procedimientos de mantenimiento, en tanto que las labores las efectúa de forma empírica en base a su conocimiento y experiencia en la reparación de grúas. Adicionalmente, no se evidencia el uso de alguna ficha o formato para colocar la información encontrada en la falla de la grúa, lo cual impide tener bases de datos para la mejora continua.

Bajo nivel de capacitación

La capacitación del personal es un aspecto transcendental de la mejora del proceso de mantenimiento, en tanto que si los trabajadores cuentan con un mayor nivel de calificación para las operaciones, el trabajo de reparación será efectuado en menor tiempo, lo cual mejora la disponibilidad de los equipos para sus labores en el campo. A partir de ello, se debe plantear un sistema de capacitaciones que permita solucionar la problemática identificada e incremente el nivel de conocimiento sobre los temas prácticos para el mantenimiento de grúas, así como la formación metodológica para una organización y estandarización del trabajo.

4.3. Implementación de la mejora

Planificación de la mejora

El proceso de implementación de la mejora se inicia con su planificación; para el presente estudio la planificación de las mejoras se aborda con el diagrama de Gantt, donde se exponen los pasos a tomar y sus respectivas actividades, así como las fechas en las que serán ejecutadas. A continuación, el diagrama de Gantt con la información detallada del proceso de implementación de la mejora:

Tabla 13

Diagrama de Gantt de planificación de mejoras

Paso	Actividad	Respons	Mes 1				Mes 2				Mes 3				Mes 4				Mes 5				Mes 6					
			S1	S2	S3	S4																						
Identificación de fallas	Análisis de frecuencia de fallas	Belardo	█																									
	Diagrama de Pareto de fallas	Belardo	█																									
	Análisis AMEF grúa 1	Belardo		█																								
	Análisis AMEF grúa 2	Belardo			█																							
	Análisis AMEF grúa 3	Belardo				█																						
	Análisis AMEF grúa 4	Belardo					█																					
Control del orden en el área	Elementos encontrados	Belardo	█																									
	Orden en el área	Belardo				█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
	Disposición correcta de productos	Belardo				█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
	Control del orden y limpieza	Belardo							█				█				█			█			█			█		
Programa de capacitación	Planeamiento de la capacitación	Belardo		█	█																							
	Mantenimiento de sistema hidráulico	Belardo		█				█				█			█			█			█			█			█	
	Mantenimiento de sistema eléctrico	Belardo		█				█				█			█			█			█			█			█	
	Mantenimiento de pluma	Belardo			█				█				█				█			█			█			█		
	Mantenimiento de sistema de giro	Belardo				█				█				█				█			█			█			█	
	Repaso mensual	Belardo					█											█						█				
	Evaluación	Belardo																							█			
Procedimientos para el mantenimiento	Creación de registro de mantenimiento	Belardo		█	█																							
	DOP - DAP Mantenimiento de sistema hidráulico	Belardo				█	█																					
	DOP - DAP Mantenimiento de sistema eléctrico	Belardo						█	█																			
	DOP - DAP Mantenimiento de pluma	Belardo							█	█																		
	DOP - DAP Mantenimiento de sistema de giro	Belardo								█	█																	
	Supervisión del mantenimiento	Belardo																										
Evaluación del nivel de prioridad de riesgo	Cálculo NPR Pre	Belardo	█																									
	Evaluación NPR Pre	Belardo	█																									
	Cálculo NPR Post	Belardo					█																		█			
	Evaluación NPR Post	Belardo																								█		

Fuente: Elaboración propia

En la tabla mostrada se aprecian que los pasos para la implementación de la mejora, en primer lugar, se encuentran la identificación de fallas con actividades como el análisis de frecuencia de fallas y el diagrama de Pareto de fallas, dichas actividades se realizarán la primera semana del cronograma. Seguidamente, el análisis AMEF de las grúas 1 y 3 se realizarán de manera intersemanal; a su vez, el análisis AMEF de las grúas 2 y 4 se realizarán las semanas que permanecen libres. Otro de los pasos señalados es el control del orden en el área, que se subdivide en elementos encontrados, orden en el área, disposición correcta de productos y control del orden y limpieza; la primera, a realizarse la segunda semana del mes 1, la segunda es una actividad por realizarse todas las semanas, la tercera se realizará la última semana del primer mes y las tres primeras semanas del mes 2.

Adicionalmente, se detallan las actividades del paso de programa de capacitación, que consiste en el planeamiento de la capacitación en la segunda y tercera semana iniciales; también incluye actividades de mantenimiento al sistema hidráulico, eléctrico, de pluma y del sistema de giro cada 2 semanas durante todo el proceso de implementación. También, el paso de procedimientos para el mantenimiento incluye actividades como la creación de registro de mantenimiento, el DOP-DAP del mantenimiento del sistema hidráulico, del sistema eléctrico, de pluma y del sistema de giro; también, se incluye la supervisión del mantenimiento. Por último, el paso de evaluación del nivel de prioridad de riesgo se constituye en las actividades de cálculo NPR pre, evaluación NPR pre, calculo NPR post y evaluación NPR post; las dos primeras actividades se realizan la primera semana del mes 1, mientras que las actividades de cálculo y evaluación post se realizan la última semana de cada mes.

Identificación de fallas en método AMEF

Para el análisis en base a la metodología FMEA será necesario determinar cuáles han sido las fallas con ocurrencia más frecuente, a fin de plantear cambios que logren resolver los problemas más graves en el funcionamiento de las grúas. En este sentido, la contabilidad del tipo de las fallas a lo largo de los 6 meses previos a la implementación se presenta a continuación.

Tabla 14

Análisis de frecuencia de fallas (pre-test)

Nº	Descripción de falla	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Punt.	Frec. Relativa	Frec. Acumulada
1	Sist. eléctrico	5	4	7	6	5	6	33	27.7%	28%
2	Sist. Hidráulico	6	6	5	4	4	4	29	24.4%	52%
3	Pluma	4	5	4	3	4	5	25	21.0%	73%
4	Sist. de giro	2	1	0	1	1	3	8	6.7%	80%
5	Malacate	1	0	1	1	1	2	6	5.0%	85%
6	Tren de mando	0	0	1	1	1	2	5	4.2%	89%
7	Tren de rodaje	0	1	1	1	1	1	5	4.2%	93%
8	Lubricación	0	1	0	1	1	0	3	2.5%	96%
9	Válvulas	1	1	1	0	0	0	3	2.5%	98%
10	Gancho	1	0	0	0	1	0	2	1.7%	100%
	TOTAL	20	19	20	18	19	23	119	100%	

Fuente: Elaboración propia

En la tabla anterior se observa que en total se han identificado 10 tipos de fallas durante los 6 meses de evaluación previa. A partir de ello se menciona que la falla más frecuente fue en el sistema eléctrico con 33 ocurrencias, seguido por problemas en el sistema hidráulico y pluma con 29 y 25 fallas cada uno. Los tipos de fallas con una presencia media son los problemas de sistema de giro (8), malacate (6), tren de mando (5) y tren de rodaje (5); en tanto que la menor ocurrencia de fallas corresponde a la lubricación (3), válvulas (3) y gancho (2). A partir de los datos mencionados, se efectúa el diagrama de Pareto de fallas para conocer las fallas más importantes y plantear un sistema de mejora para solucionar dichos inconvenientes, todo ello en la siguiente figura.

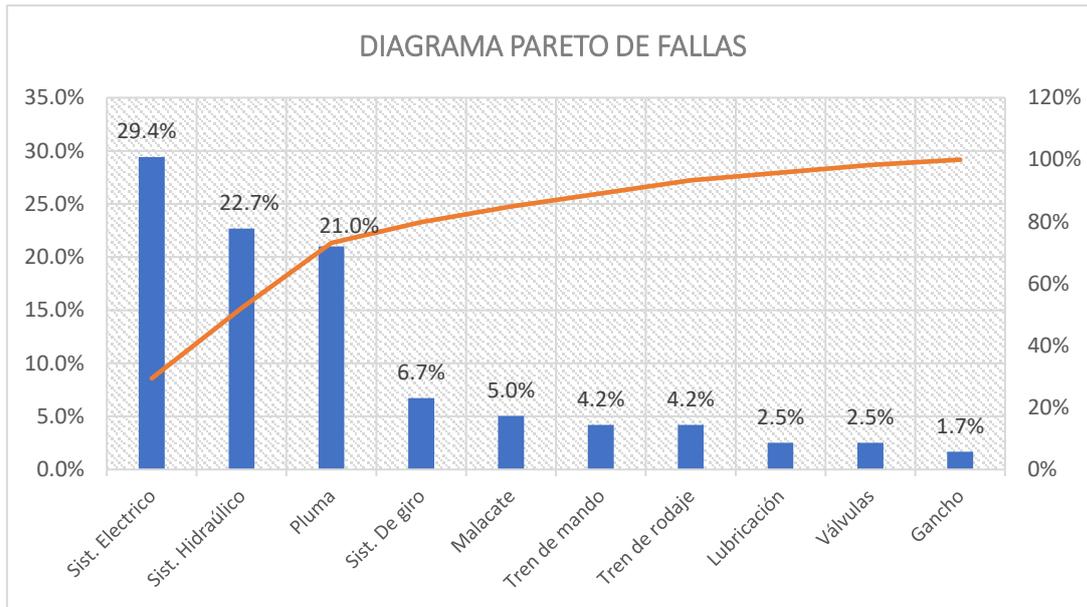


Figura 14 Análisis de Pareto sobre fallas (pre-test)

Fuente: Elaboración propia

Es posible notar que los datos encontrados sobre las fallas en el escenario previo a la implementación cumplen los principios de Pareto, es decir, el 20% de las causas explican el 80% del problema. En la figura queda claro que la frecuencia acumulada de 3 fallas explica gran parte del problema principal, a saber, el sistema eléctrico, el sistema hidráulico y la pluma.

Para conocer el detalle de los cambios necesarios en cada grúa, se mostrará la evaluación mediante el método AMEF con el uso de fichas para determinar el nivel prioritario de cada acción a tomar. Dicha información se presenta a través de las siguientes tablas.

Tabla 15

Análisis AMEF Grúa 1

FICHA AMEF													
Cliente:						Denominación producto:					Preparado por:		
Planta:						Referencia/s:					Revisado por:		
Proveedores involucrados						Nivel de modificaciones cliente:					Aprobado O.T.:		
Equipo	Conjunto del equipo	Componente	Modo/s potencial/es de fallo	Efecto/s potencial/es del fallo	Causa(s) potencial(es) del fallo(s)	Verificación(es) y/o control(es) actual(es)	G	D	F	NPR	Acción(es) recomendada(s)	Área(s) / persona(s) responsable(s) y fecha de realización	Periodicidad
Grua 1	Carrocería	Contrapeso	No presenta	No presenta	No presenta	inspeccion visual	5	3	1	15	Mantenimiento preventivo	Mecanica	Mensual
	Lubricación	Cable auxiliar y principal	Desgaste	Ruido	Falta lubricación	inspección visual	4	8	2	64	Cumplir con el plan de fabrica	Mecánica	Trimestral
	Malacate	motor malacate	Desgaste	Fuga de aceite	desgate	Remplace	9	7	1	63	Mantenimiento	Mecánica	Anual
	Pluma	Pluma	rotura	Detención del equipo	Deficiente mantto	No presenta	7	6	4	168	Mantenimiento de piezas más importantes	Supervisor mantenimiento	Mensual
	Sist. de giro	motor giro	Desgaste	Ruido	desgate	Remplace	5	5	2	50	Cumplir con el plan de fabrica	Mecánica	Mensual
	Sist. Eléctrico	porta fusibles	Corrosión	Detención del equipo	Deficiente mantto	No presenta	7	4	12	336	Mantenimiento de piezas más importantes	Supervisor mantenimiento	Mensual
	Sist. Hidráulico	Bombas hidráulicas	rotura	Detencion del equipo	Deficiente mantto	No presenta	8	3	5	120	Mantenimiento de piezas más importantes	Supervisor mantenimiento	Trimestral
	Tren de mando	motor diesel	No presenta	No presenta	No presenta	inspeccion visual	5	2	2	20	Mantenimiento preventivo	Mecanica	Mensual

Fuente: Elaboración propia

En la tabla anterior se expone el análisis AMEF de la grúa 1, donde se reconocen los distintos modos potenciales de fallo; entre ellos, carrocería, lubricación, malacate, pluma, sistema de giro, sistema eléctrico, sistema hidráulico y tren de mando. Se encontró que la pluma puede detenerse debido a un deficiente mantenimiento con un NPR crítico de 168; a su vez, el sistema eléctrico y el sistema hidráulico podrían sufrir una detención debido a un mantenimiento deficiente y obtuvieron un valor NPR de 336 y 120, respectivamente. Por otro lado, la lubricación, el malacate y el sistema de giro obtuvieron valores NPR de 64, 63 y 50, respectivamente, por lo que se consideran como riesgos medios. Por último, la carrocería y el tren de mando se encuentran en buenas condiciones, por lo que obtienen valores NPR de 15 y 20, respectivamente.

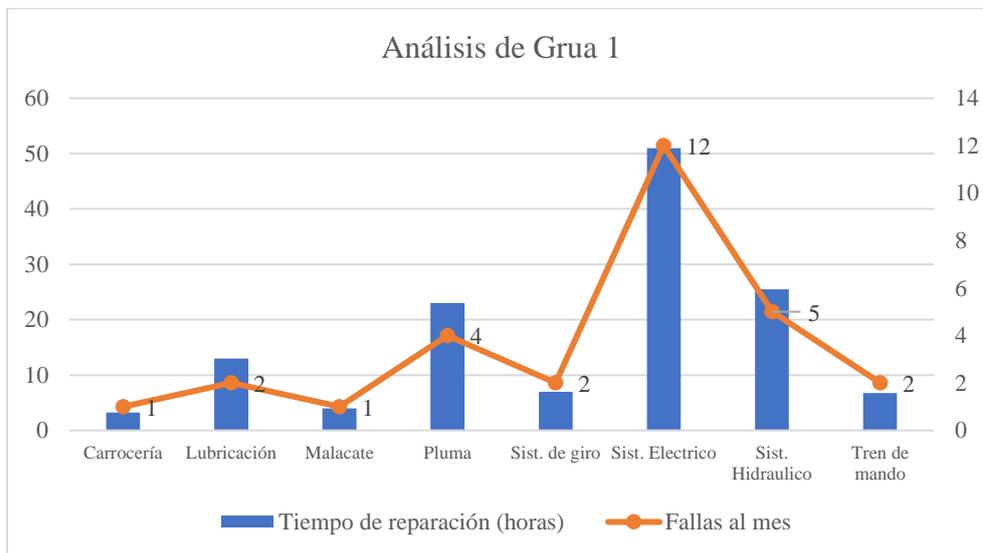


Figura 15 Análisis de sobre fallas de grúa 1

Fuente: Elaboración propia

En el gráfico anterior se muestra el análisis de la grúa 1, donde se detalla el tiempo de reparación en horas para cada componente de la grúa y el número de fallas al mes. Resaltan las fallas del sistema eléctrico, del sistema hidráulico y de la pluma, siendo los valores más críticos con 12, 5 y 4, respectivamente; le siguen valores menores correspondientes al tren de mando, el sistema de giro, malacate, lubricación y carrocería.

Tabla 16

Análisis AMEF Grúa 2

FICHA AMEF													
Cliente:						Denominación producto:							
Planta:						Referencia/s:							
Proveedores involucrados						Nivel de modificaciones cliente:							
Equipo	Conjunto del equipo	Componente	Modo/s potencial/es de fallo	Efecto/s potencial/es del fallo	Causa(s) potencial(es) del fallo(s)	Verificación(es) y/o control(es) actual(es)	G	D	F	NPR	Acción(es) recomendada(s)	Área(s) / persona(s) responsable(s) y fecha de realización	Periodicidad
Grúa 2	Lubricación	Cable auxiliar y principal	No presenta	No presenta	No presenta	inspeccion visual	5	3	1	15	Mantenimiento preventivo	Mecánica	Mensual
	Malacate	motor malacate	Desgaste	Fuga de aceite	desgate	Remplace	4	8	2	64	Mantenimiento	Mecánica	Anual
	Neumático	llanta	Desgaste	fuga de aire	desgate	Remplace	9	7	1	63	Mantenimiento	Mecánica	semestral
	Pluma	Pluma	rotura	Detención del equipo	Deficiente mantto	No presenta	7	6	10	420	Mantenimiento de piezas más importantes	Supervisor mantenimiento	Mensual
	Sist. de giro	motor giro	rotura	Detención del equipo	Deficiente mantto	No presenta	7	8	2	112	Cumplir con el plan de fabrica	Supervisor mantenimiento	Mensual
	Sist. Eléctrico	memoria (ecm)	cortocircuito	Detención del equipo	Deficiente mantto	No presenta	7	6	7	294	Mantenimiento de piezas más importantes	Supervisor mantenimiento	anual
	Sist. Hidráulico	mangueras hidráulicas	rotura	Detención del equipo	Deficiente mantto	No presenta	8	3	9	216	Mantenimiento de piezas más importantes	Supervisor mantenimiento	Trimestral
	Tren de mando	motor Diesel	No presenta	No presenta	No presenta	inspeccion visual	5	2	2	20	Mantenimiento preventivo	Mecánica	Mensual

Fuente: Elaboración propia

Referente a la grúa 2, se realizó el análisis AMEF mostrado en la tabla anterior, donde se observa que los modos potenciales de fallo son la lubricación, malacate, neumático, pluma, sistema de giro, sistema eléctrico, sistema hidráulico, tren de mando y válvulas, de las cuales se tiene que la pluma posee un valor NPR de 420, siendo la parte más propensa a sufrir una detención debido a un mantenimiento deficiente. De la misma manera, el sistema de giro, el sistema eléctrico y el sistema hidráulico también se encuentran propensos a detenerse por falta de mantenimiento y poseen valores NPR de 12, 294 y 216, respectivamente. Ante tales problemas, las acciones recomendadas consisten en la revisión del sistema para mantenimiento guiadas por el jefe de operaciones.

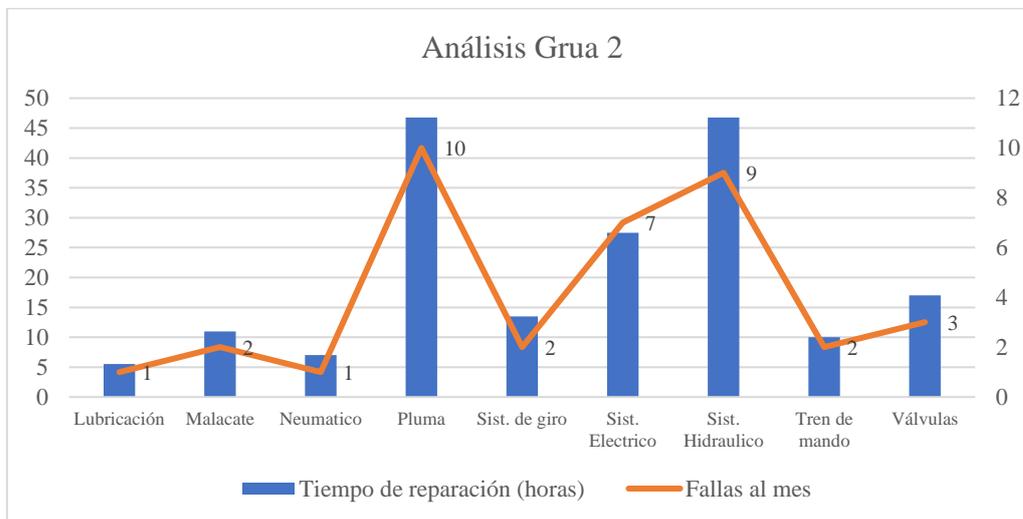


Figura 16 Análisis de sobre fallas de grúa 2

Fuente: Elaboración propia

En el gráfico anterior se muestra el análisis de las fallas de la grúa 2, donde se tiene que las partes con mayores fallas al mes son la pluma con un valor de 10, el sistema hidráulico con un valor de 9 y el sistema eléctrico con un valor de 7; dichos problemas requieren de un tiempo de reparación conjunto de aproximadamente 115 horas. Otros componentes de la grúa que presentan fallas son las válvulas, tren de mando, sistema de giro, neumático, malacate y lubricación, las cuales acumulan un total de 11 fallas al mes.

Tabla 17

Análisis AMEF Grúa 3

FICHA AMEF													
Cliente:						Denominación producto:							
Planta:						Referencia/s:							
Proveedores involucrados						Nivel de modificaciones cliente:							
Equipo	Conjunto del equipo	Componente	Modo/s potencial/es de fallo	Efecto/s potencial/es del fallo	Causa(s) potencial(es) del fallo(s)	Verificación(es) y/o control(es) actual(es)	G	D	F	NPR	Acción(es) recomendada(s)	Área(s) / persona(s) responsable(s) y fecha de realización	Periodicidad
Grúa 3	Lubricación	Cable auxiliar y principal	No presenta	No presenta	No presenta	inspeccion visual	5	3	1	15	Mantenimiento preventivo	Mecánica	Mensual
	Malacate	motor malacate	Desgaste	Fuga de aceite	desgate	Remplace	4	8	2	64	Mantenimiento	Mecánica	Anual
	neumático	llanta	Desgaste	fuga de aire	desgate	Remplace	9	7	2	126	Mantenimiento	Supervisor mantenimiento	semestral
	Pluma	Cañerías	rotura	Detención del equipo	Deficiente mantto	No presenta	7	6	4	168	Mantenimiento de piezas más importantes	Supervisor mantenimiento	Mensual
	Sist. de giro	engranajes	rotura	Detención del equipo	Deficiente mantto	No presenta	8	8	2	128	Cumplir con el plan de fabrica	Supervisor mantenimiento	Mensual
	Sist. Eléctrico	porta fusible	cortocircuito	Detención del equipo	Deficiente mantto	No presenta	6	6	7	252	Mantenimiento de piezas más importantes	Supervisor mantenimiento	anual
	Sist. Hidráulico	mangueras hidráulicos	rotura	Detención del equipo	Deficiente mantto	No presenta	8	3	6	144	Mantenimiento de piezas más importantes	Supervisor mantenimiento	Trimestra l
	Tren de mando	motor diesel	No presenta	No presenta	No presenta	inspección visual	5	2	1	10	Mantenimiento preventivo	Mecánica	Mensual
	Valvulas	Válvula de alivio	No presenta	No presenta	No presenta	inspección visual	2	2	3	12	Mantenimiento preventivo	Mecánica	Mensual

Fuente: Elaboración propia

Análogamente, se utiliza el análisis AMEF de la grúa 3, donde se identifican los modos potenciales de fallo, siendo estos la lubricación, el malacate, neumático, pluma, el sistema de giro, el sistema eléctrico, el sistema hidráulico, el tren de mando y las válvulas. Según el análisis AMEF se determinó que los equipos más propensos a detenerse son el sistema eléctrico, con un valor NPR de 252, seguido por la pluma, con un valor de 168; también se encuentran el sistema hidráulico, el sistema de giro y el neumático, con valores críticos NPR de 144, 128 y 126, respectivamente. Como solución a la posible detención del equipo se proponen actividades de mantenimiento preventivo llevados a cabo por el jefe de operaciones y el operario de mantenimiento.

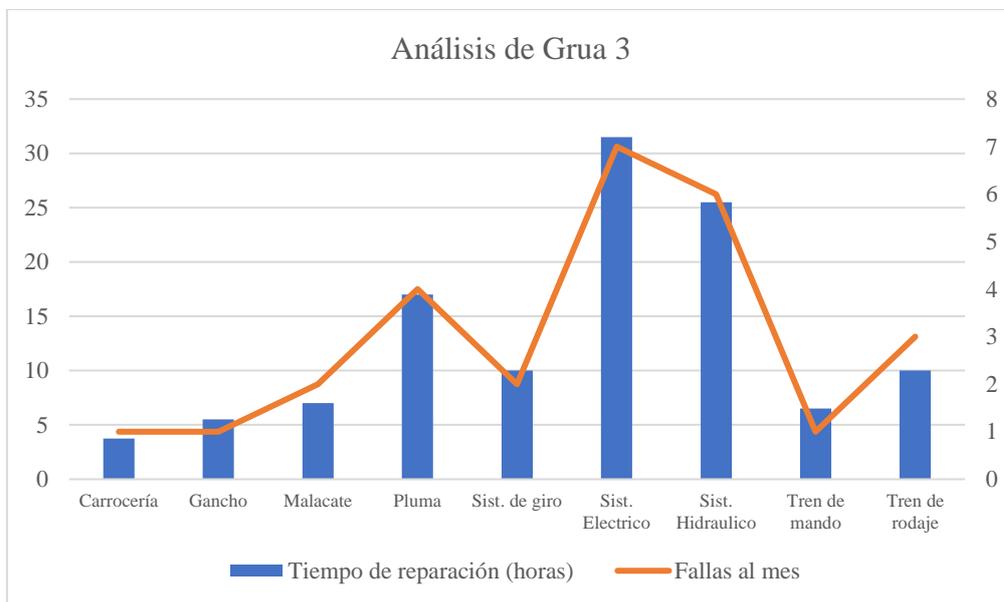


Figura 17 Análisis de sobre fallas de grúa 3

Fuente: Elaboración propia

Complementariamente, se muestra el gráfico de análisis sobre las fallas de la grúa 3, donde se evidencia que el sistema eléctrico presenta 7 fallas al mes, requiriendo mayor tiempo de reparación, le sigue el sistema hidráulico con un promedio de 6 fallas al mes y la pluma con 4 fallas mensuales. A su vez, la grúa también presenta fallas en la carrocería, gancho, malacate, sistema de giro, tren de mando y tren de rodaje, sumando un total de 10 fallas al mes.

Tabla 18

Análisis AMEF Grúa 4

FICHA AMEF													
Cliente:						Denominación producto:							
Planta:						Referencia/s:							
Proveedores involucrados						Nivel de modificaciones cliente:							
Equipo	Conjunto del equipo	Componente	Modo/s potencial/es de fallo	Efecto/s potencial/es del fallo	Causa(s) potencial(es) del fallo(s)	Verificación(es) y/o control(es) actual(es)	G	D	F	NPR	Acción(es) recomendada(s)	Área(s) / persona(s) responsable(s) y fecha de realización	Periodicidad
Grua 4	Lubricación	estabilizadores	No presenta	No presenta	No presenta	inspección visual	6	4	1	24	Mantenimiento preventivo	Mecanica	Mensual
	Malacate	cilindro malacate	No presenta	No presenta	No presenta	inspección visual	4	8	1	32	Mantenimiento preventivo	Mecanica	Mensual
	Pluma	pluma	rotura	Detencion del equipo	Deficiente mantto	No presenta	9	7	6	378	Mantenimiento de piezas más importantes	Supervisor mantenimiento	Mensual
	Sist. de giro	motor giro	desgaste	ruido	cambio de lubricante	No presenta	7	6	2	84	Cumplir con el plan de fabrica	Supervisor mantenimiento	Mensual
	Sist. Eléctrico	porta fusible	cortocircuito	Detencion del equipo	Deficiente mantto	No presenta	8	8	9	576	Mantenimiento de piezas más importantes	Supervisor mantenimiento	anual
	Sist. Hidráulico	mangueras hidráulicas	rotura	Detencion del equipo	Deficiente mantto	No presenta	6	6	7	252	Mantenimiento de piezas más importantes	Supervisor mantenimiento	Trimestral

Fuente: Elaboración propia

Se realiza el análisis AMEF de la grúa 4, donde se definen a los modos potenciales de fallo como lubricación, malacate, pluma, sistema de giro, sistema eléctrico y sistema hidráulico; de los cuales se tiene que la pluma, el sistema eléctrico y el sistema hidráulico son los factores más críticos y propensos a sufrir detención debido a un mantenimiento deficiente. En razón de ello, se propone que se realicen actividades de mantenimiento a las piezas más importantes a cargo del jefe de operaciones. También, se indica que el sistema de giro requiere de un pronto mantenimiento, por lo que se propone un mantenimiento preventivo; a su vez, la lubricación y el malacate no presentan fallos posibles, pero se recomienda realizar mantenimiento preventivo a fin de evitar fallos inesperados.

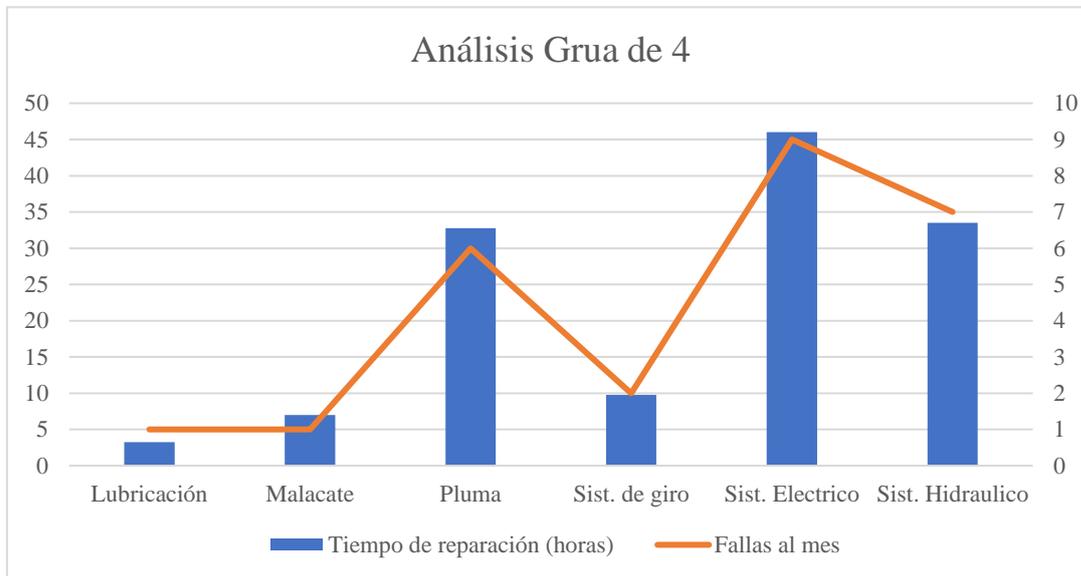


Figura 18 Análisis de sobre fallas de grúa 4

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, se muestra el gráfico de análisis sobre las fallas de la grúa 4, donde es claro que la pluma, el sistema eléctrico y el sistema hidráulico son los factores más críticos, obteniendo valores de 6, 9 y 7, respectivamente, sobre las fallas mensuales. Asimismo, la lubricación y el malacate presentan 1 falla al mes, y el sistema de giro presenta 2 fallas mensuales, siendo factores relativamente estables.

Control del orden en el área

Un aspecto trascendental es el orden y gestión del área de trabajo, dado que representa un mecanismo de cambio la alternativa de lograr efectuar las labores de mantenimiento en el menor tiempo posible. En la presente sección se muestran las fichas utilizadas para realizar el control del orden, así como la información propia del área. Las fichas poseen como finalidad enlistar los elementos existentes en el área y conocer su estado actual.

Tabla 19

Elementos encontrados en el área de mantenimiento

Fecha:					
ELEMENTOS ENCONTRADOS					
N°	Descripción del artículo	Lugar donde se encontró	Necesario	Innecesario	Decisión
1	Cintas adhesivas	Oficina, Laboratorio	X		Reubicarlo
2	Lijas usadas	Taller		X	Desecharlo
3	Retazos de cintas	Almacén		X	Desecharlo
4	Bujías usadas	Taller		X	Venderlo
5	Recipiente de aceite vacío	Taller		X	Venderlo
6	Cajas de repuestos vacías	Taller, almacén, tienda		X	Venderlo
7	Latas de grasa usadas	Taller	X		Sacarlo del área
8	Recipientes con aceite	Taller, laboratorio		X	Desecharlo
9	Artículos de limpieza	Taller	X		Reubicarlo
10	Uniformes viejos	Taller, Vestuarios		X	Desecharlo
11	Autopartes deterioradas	Taller		X	Venderlo
12	Mobiliario en desuso	Taller, laboratorio		X	Venderlo
13	Elementos ajenos al giro	Taller, almacén, tienda		X	Reubicarlo
14	Póster publicitarios	Taller, oficina		X	Desecharlo
15	Maquinaria en desuso	Taller		X	Venderlo

Elaborado por: _____

Firma _____

Fuente: Elaboración propia

En la tabla mostrada se enlistan los artículos encontrados en el área de mantenimiento; en dicho listado se describe cada artículo y se detalla el lugar donde fue encontrado. Adicionalmente, se realiza un análisis de valor para determinar si cada artículo es necesario o no y, en consecuencia, si necesita reubicarse, desecharse o venderse.

Tabla 20

Formato de inspección de orden en el área de mantenimiento

Fecha:	__/__/2021	Auditado por:	
Formato de inspección de orden en el área			
Short	Eliminar lo necesario	Si	No
	Accesorios y herramientas en el área		
	Manual obsoleto en exceso ha sido reparado o eliminado		
	Etiquetas rojas en el área son correctamente utilizadas		
	No se encuentran artículos innecesarios en el área de trabajo		
Straighten	Organizar el área	Si	No
	Equipos e insumos bien ubicados		
	Ubicaciones claramente identificadas		
	El material defectuoso está bien etiquetado		
	Comunicación visual establecida		
Scrub	Limpiar y resolver	Si	No
	Pisos y superficie de trabajo limpia		
	Desperdicios y basura reciclable en su lugar		
	Ambiente de trabajo bueno		
	Pocos problemas, puntuales y fácil de resolver		
Safety	Identificar y resolver riesgos	Si	No
	Hojas con datos de seguridad de los materiales		
	Extintores y elementos de seguridad funcionando		
	Entrenamiento en labores RCP		
	Pocas condiciones de inseguridad fácil del resolver		
Standardize	Quien realiza las actividades	Si	No
	El trabajo estándar esta publicado		
	Procedimientos para la limpieza y seguridad publicados		
	Correcto control de documentación		
	Reuniones semanales		
Sustain	Autodisciplina	Si	No
	La publicación del trabajo es seguida		
	Los procedimientos se cumplen		
	Las mediciones publicadas son actuales		
	Tableros de información bien utilizados		
	Área de trabajo limpia y bien cuidada		

Fuente: Elaboración propia

En la tabla anterior se muestra el formato de inspección de orden en el área que consiste en short, straighten, scrub, safety, standardize y sustain; la primera sección incluye tópicos a responder tales como eliminar lo necesario, accesorios y herramientas en el área, manual obsoleto en exceso ha sido reparado o eliminado, entre otros. La segunda sección se relaciona con la organización del área; a su vez, la tercera sección se refiere a tópicos de limpieza; de manera similar, la cuarta sección se relaciona con actividades de estandarización; finalmente, la última sección contiene tópicos dedicados a la medición de la disciplina y el cumplimiento de los procedimientos.

Programa de capacitación

Otro aspecto importante es la capacitación de los trabajadores, dado que permite mejorar el nivel de desempeño de las operaciones y buscar la eficiencia en las acciones con una mano de obra con mayor calificación. En relación con los programas de capacitación se elaboran los cronogramas y el registro de inspección de capacitación, los cuales se muestran a continuación:

Tabla 21

Cronograma mensual de capacitación

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
			1	2	3
			Inducción General		Procedimiento Operacional
			Inducción		Cap. Especifica
5	6	7	8	9	10
Mantenimiento de sistema hidráulico Charla 20 min				Mantenimiento de sistema eléctrico Charla 20 min	
12	13	14	15	16	17
	Mantenimiento de pluma Charla 20 min		Mantenimiento de sistema de giro Charla 20 min		Dudas y consultas sobre los avances Reunión Semanal
19	20	21	22	23	24
	Mantenimiento de sistema hidráulico Charla 20 min			Mantenimiento de sistema eléctrico Charla 20 min	
26	27	28	29	30	31
Mantenimiento de sistema de giro Charla 20 min		Mantenimiento de pluma Charla 20 min		Repaso mensual Charla 20 min	Evaluación de aprendizaje Cap. Especifica

Fuente: Elaboración propia

En la tabla anterior se observa el cronograma mensual de capacitación, donde se detallan todos los días del mes con sus respectivas actividades; asimismo, se especifican los tiempos aproximados para la ejecución de cada actividad.

Tabla 22

Registro de inspección de capacitación

N° REGISTRO:		REGISTRO DE INDUCCIÓN, CAPACITACIÓN Y ENTRENAMIENTO			
DATOS DEL EMPLEADOR:					
1 RAZÓN SOCIAL O DENOMINACIÓN SOCIAL	2 RUC	3 DOMICILIO (Dirección, distrito, departamento, provincia)	4 ACTIVIDAD ECONÓMICA	5 N° TRABAJADORES EN EL CENTRO LABORAL	
MARCAR (X)					
6 INDUCCIÓN	7 CAPACITACIÓN	8 ENTRENAMIENTO		9 SIMULACRO DE EMERGENCIA	
10 TEMA:					
11 FECHA:					
12 NOMBRE DEL CAPACITADOR O ENTRENADOR					
13 N° HORAS					
14 APELLIDOS Y NOMBRES DE LOS CAPACITADOS	15 N° DNI	16 ÁREA	17 FIRMA	18 OBSERVACIONES	
19 RESPONSABLE DEL REGISTRO					
Nombre:					
Cargo:					
Fecha:					
Firma:					

Fuente: Elaboración propia

También, se muestra el formato de registro de inspección de capacitación, que incluye secciones para los datos del empleador, así como las especificaciones sobre la actividad a inspeccionar o capacitar; a su vez, se incluyen los datos de los trabajadores involucrados y los datos de la persona responsable del registro.

Procedimientos para el mantenimiento

En la presente sección se revisan los procedimientos para llevar a cabo el mantenimiento a los factores críticos identificados anteriormente; para ello se utiliza el registro de labores de mantenimiento, así como el análisis DAP y DOP de los procesos más importantes del mantenimiento de aspectos críticos; lo cual se muestra a continuación.

Tabla 23

Registro de labores de mantenimiento

N° REGISTRO:		REGISTRO DE MANTENIMIENTO				
DATOS DEL EMPLEADOR:						
1	RAZÓN SOCIAL O DENOMINACIÓN SOCIAL	2	RUC	3	DIRECCIÓN	
				4	ÁREA	
				5	CODIGO DE EQUIPO	
6			NOMBRE(S) DEL(DE LOS) OPERADOR (ES)			
7			N° REGISTRO			
8	FECHAS	9	PROCESOS	10		NOMBRE DE LOS RESPONSABLES
11	NÚMERO DE NO CONFORMIDADES	12				INFORMACIÓN A ADJUNTAR
		a) Informe indicando los hallazgos encontrados, así como no conformidades, observaciones, entre otros, con la respectiva firma b) Plan de acción para cierre de no conformidades (posterior a la auditoría). Este plan de acción contiene la descripción de las causas que originaron cada no conformidad, propuesta de las medidas correctivas para cada no conformidad, responsable de implementación, fecha de ejecución, estado de la acción correctiva (Ver modelo de encabezados).				
MODELO DE ENCABEZADOS PARA EL PLAN DE ACCIÓN PARA EL CIERRE DE MANTENIMIENTO						
13			14			
DESCRIPCIÓN DE LA NO CONFORMIDAD			CAUSAS DE LA NO CONFORMIDAD			
15		16	17		18	
DESCRIPCIÓN DE MEDIDAS CORRECTIVAS		NOMBRE DEL RESPONSABLE	FECHA DE EJECUCIÓN		Completar en la fecha de ejecución propuesta, el ESTADO de la implementación de la medida correctiva (realizada, pendiente, en ejecución)	
			DÍA MES AÑO			
19						
RESPONSABLE DEL REGISTRO						
Nombre:						
Cargo:						
Fecha:						
Firma:						

Fuente: Elaboración propia

El registro de mantenimiento muestra los datos del empleador, así como los nombres del personal de mantenimiento que realiza las labores de mantenimiento. En la ficha también se registran las fechas y los procesos llevados a cabo; a su vez, se registra el número de no conformidades, así como la descripción de las no conformidades y las causas identificadas. Finalmente, se describen las medidas correctivas, sus fechas y responsables.

- Mantenimiento del sistema hidráulico

Esta sección describe el sistema hidráulico, los componentes que forman el sistema hidráulico y los componentes que dependen del sistema hidráulico para su funcionamiento. Esto incluye descripciones de los circuitos hidráulicos de presión de suministro y de retorno, las bombas hidráulicas, todas las válvulas hidráulicas y todos los cilindros hidráulicos. Las descripciones detalladas y el funcionamiento de los circuitos hidráulicos individuales se discuten en sus secciones individuales según aplica. Hay un diagrama esquemático completo que se muestra a continuación.

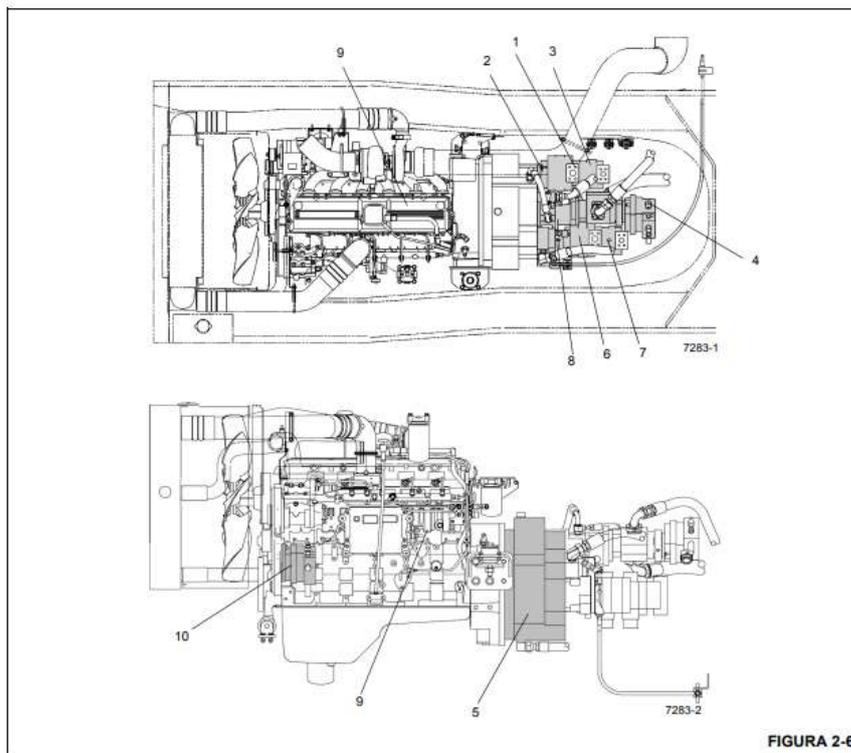


Figura 19 Identificación del sistema hidráulico

Fuente: Manual de mantenimiento MANITOWOC

Donde:

1 Bomba hidráulica N° 1; 2 Sección N° 1 (bomba N° 1); 3 Sección N° 2 (bomba N° 1),
4 Bomba hidráulica N° 2, 5 Convertidor de par; 6 Bomba hidráulica N° 3; 7 Sección
N°2 (bomba N° 3); 8 Sección N° 1 (bomba N° 3); 9 Motor; 10 Bomba N° 4.

A partir de dicho análisis e identificación ha sido posible establecer un lineamiento básico para el mantenimiento del sistema hidráulico, para lo cual se ha empleado los diagramas de operación del proceso y su respectivo análisis del tiempo.

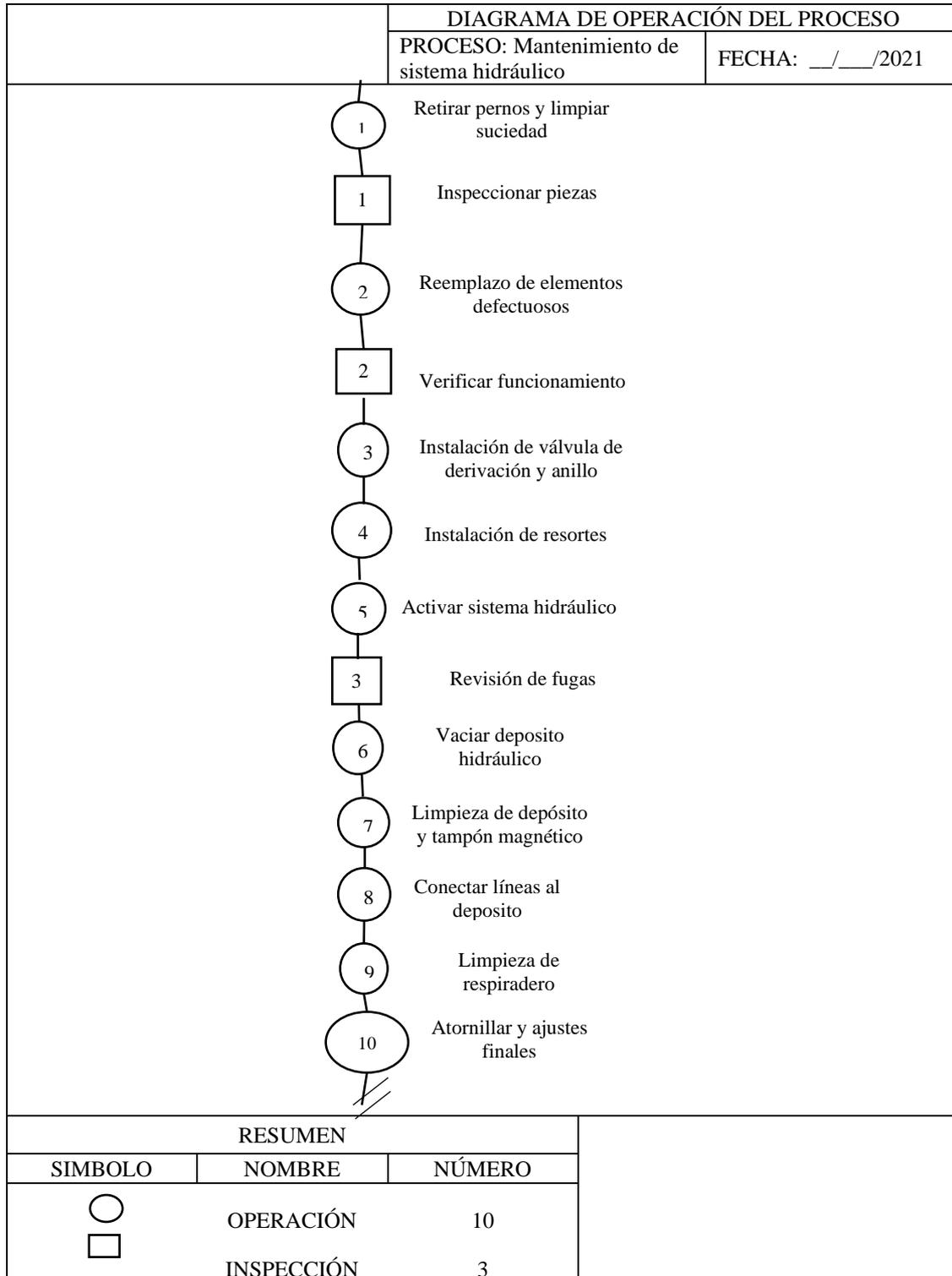


Figura 20 Diagrama de operaciones del proceso para mantenimiento hidráulico

Fuente: Elaboración propia

Tabla 24

Diagrama de análisis del proceso para mantenimiento hidráulico

Diagrama De Análisis del Proceso									
Diagrama Nro. __	Hoja __ de __	RESUMEN							
Grúas:		Actividad	Actual	Propuesta	Economía				
Proceso: Mantenimiento de sistema hidráulico		Operación ○	10						
		Transporte ⇨	-						
		Espera □	-						
	Método:	Actual/Propuesto	Inspección □	3					
Lugar:		Almacenamiento ▽	-						
Operario (s):		Distancia (m)							
Ficha núm.:		Tiempo (min)							
Descripción	Cantidad	Tiempo	Símbolo					Observaciones	
			○	□	⇨	▽			
Retirar pernos y limpiar suciedad	1	25	X						
Inspeccionar piezas	1	15		X					
Reemplazo de elementos defectuosos	1	30	X						
Verificar funcionamiento	1	10		X					
Instalación de válvula de derivación y anillo	1	20	X						
Instalación de resortes	1	10	X						
Activar sistema hidráulico	1	5	X						
Revisión de fugas	1	10		X					
Vaciar deposito hidráulico	1	25	X						
Limpieza de depósito y tampón magnético	1	30	X						
Conectar líneas al deposito	1	10	X						
Limpieza de respiradero	1	45	X						
Atornillar y ajustes finales	1	15	x						
Total	13	250	10	3					

Fuente: Elaboración propia

En la tabla mostrada se detalla el proceso de mantenimiento del sistema hidráulico mediante un diagrama de análisis del proceso; en el diagrama se resumen las actividades y los indicadores. En primer lugar, se realizará el retiro de pernos y la limpieza del sistema, durante un tiempo de 25 minutos; le sigue la inspección de piezas con un tiempo de 5 minutos y el reemplazo de elementos defectuosos que tomará 30 minutos adicionales. En el diagrama se muestran otras actividades como verificar el funcionamiento del sistema, instalar válvulas y resortes, activar el sistema, revisar las fugas, vaciar y limpiar deposito, conectar líneas, limpiar el respiradero y realizar otros ajustes finales; cada uno de ellos tiene designado un tiempo específico de duración y se indican si corresponden a actividades de operación o inspección. El detalle del mantenimiento de cada pieza se muestra en el Anexo X.

- Mantenimiento del sistema eléctrico

El sistema eléctrico es de 12 voltios con conexión negativa a tierra, con un sistema de arranque de 12 voltios, y consiste en un alternador y tres baterías de plomo-ácido de 12 voltios. El sistema es del tipo de alambre único con retorno a tierra y utiliza la estructura de la máquina como el punto de conexión a tierra. La alimentación eléctrica se transfiere entre el vehículo y la superestructura por vía del adaptador eléctrico giratorio. Para más información sobre el mecanismo de funcionamiento se presenta la siguiente figura.

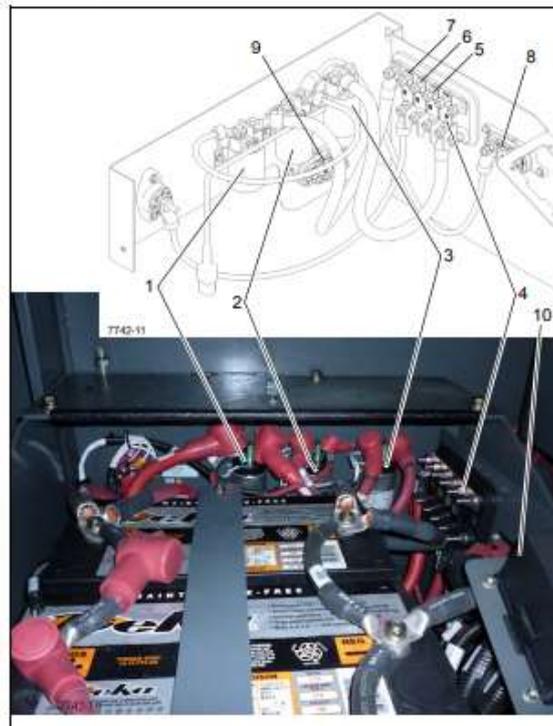


Figura 21 Identificación del sistema eléctrico

Fuente: Manual de mantenimiento MANITOWOC

Dónde:

1 Relé de alimentación (K301), 2 Relé del arranque (K303), 3 Relé de calentador de rejilla (K302), 4 Fusible de 250 A (F53), 5 Fusible de 100 A (F54), 6 Fusible de 100 A (F55), 7 Fusible de 100 A (F56), 8 Fusible de 100 A (F52), 9 Fusible de 250 A (F51), 10 Tablero de fusibles y relés.

A partir de dicho análisis e identificación ha sido posible establecer un lineamiento básico para el mantenimiento del sistema eléctrico, para lo cual se ha empleado los diagramas de operación del proceso y su respectivo análisis del tiempo.

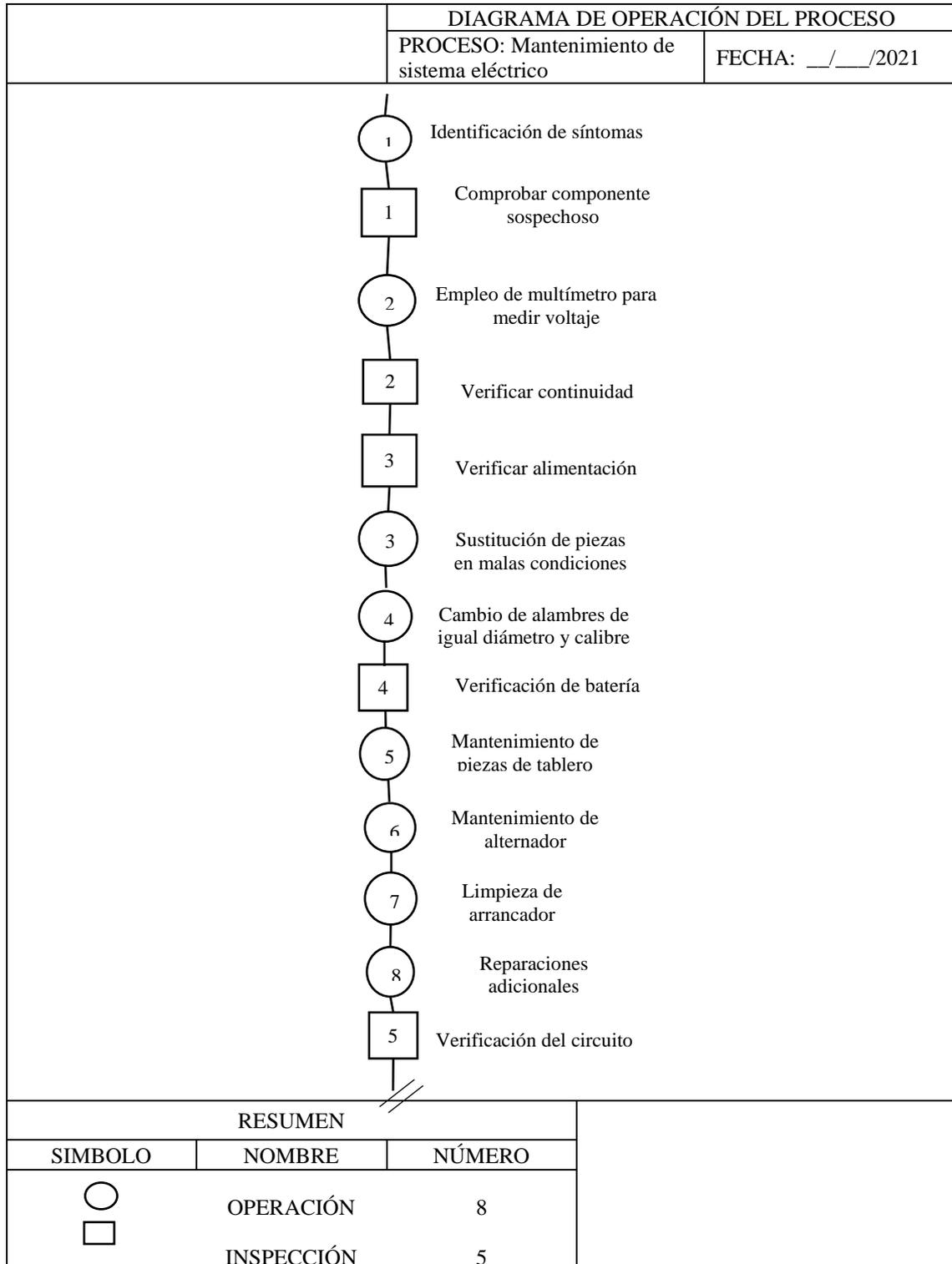


Figura 22 Diagrama de operaciones del proceso para mantenimiento eléctrico

Fuente: Elaboración propia

Tabla 25

Diagrama de análisis del proceso para mantenimiento eléctrico

Diagrama De Análisis del Proceso										
Diagrama Nro. __	Hoja __ de __	RESUMEN								
Grúas:	Proceso: Mantenimiento de sistema eléctrico	Actividad	Actual	Propuesta	Economía					
		Operación ○								
		Transporte ⇨								
		Espera □								
Método:	Actual/Propuesto	Inspección ▢								
Lugar:		Almacenamiento ▽								
Operario (s):		Distancia (m)								
Ficha núm.:		Tiempo (min)								
Descripción		Cantidad	Tiempo	Símbolo					Observaciones	
				○	□	▢	⇨	▽		
Identificación de síntomas		1	15	X						
Comprobar componente sospechoso		1	10		X					
Empleo del multímetro para medir voltaje		1	10	X						
Verificar continuidad		1	10		X					
Verificar alimentación		1	20		X					
Sustitución de piezas en malas condiciones		1	35	X						
Cambio de alambres de igual diámetro y calibre		1	25	X						
Verificación de batería		1	10		X					
Mantenimiento de piezas del tablero		1	45	X						
Mantenimiento de alternador		1	45	X						
Limpieza de arrancador		1	10	X						
Reparaciones adicionales		1	20	X						
Verificación del circuito		1	10		X					
Total		13	265	8	5					

Fuente: Elaboración propia

Se realiza la descripción del proceso de mantenimiento para el sistema eléctrico mediante un diagrama de análisis del proceso; en él se indican los datos de registro, el resumen de la ficha y la descripción de las actividades a realizar. Se detalla que se realizará la identificación de síntomas del sistema durante un tiempo de 5 minutos; seguidamente, se comprobarán los componentes sospechosos por otros 10 minutos; también, se utilizará el multímetro para medir el voltaje utilizando 10 minutos y se verificará la continuidad y la alimentación en un total de 30 minutos. Existen actividades como la sustitución de piezas en malas condiciones, el cambio de alambres con el mismo diámetro y calibre, la verificación de la batería, el mantenimiento de piezas del tablero, el mantenimiento de alternador, la limpieza del arrancador, otras reparaciones y la verificación del circuito; el tiempo designado para cada una de estas actividades también se incluyen en el DAP. El detalle del mantenimiento de cada pieza se muestra en el Anexo X.

- Mantenimiento de pluma

Una pluma está disponible en la grúa; una pluma de cinco secciones, completamente motorizada y sincronizada de 42 a 159.3 pies (12.8 a 48.5 m). El conjunto de la pluma utiliza un diseño de mega forma. La pluma de cinco secciones utiliza una secuencia de dos cilindros de telescopización para extender y retraer la pluma y sincronización de cables para la extensión y retracción de la sección de extremo. La elevación de la pluma se efectúa por medio de un solo cilindro de elevación, y la elevación varía de -3 grados a +78 grados.

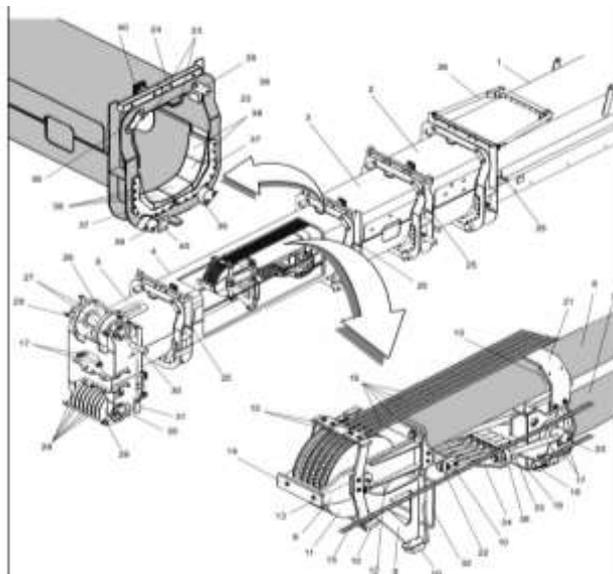


Figura 23 Identificación de la pluma

Fuente: Manual de mantenimiento MANITOWOC

Dónde

1 Sección de base, 2 Sección central interior, 3 Sección central, 4 Sección central exterior, 5 Sección de extremo, 6 Cilindro telescópico superior, 7 Cilindro telescópico inferior, 8 Conjunto de montaje de poleas de extensión, 9 Pata de soporte del cilindro superior, 10 Almohadillas de desgaste, 11 Conjunto de poleas de extensión, 12 Eje de polea de extensión con grasa, 13 Placa del eje de poleas de extensión, 14 Retenedor de cables, 15 Guía de cables, 16 Cables de extensión.

A partir de dicho análisis e identificación ha sido posible establecer un lineamiento básico para el mantenimiento de la pluma, para lo cual se ha empleado los diagramas de operación del proceso y su respectivo análisis del tiempo.

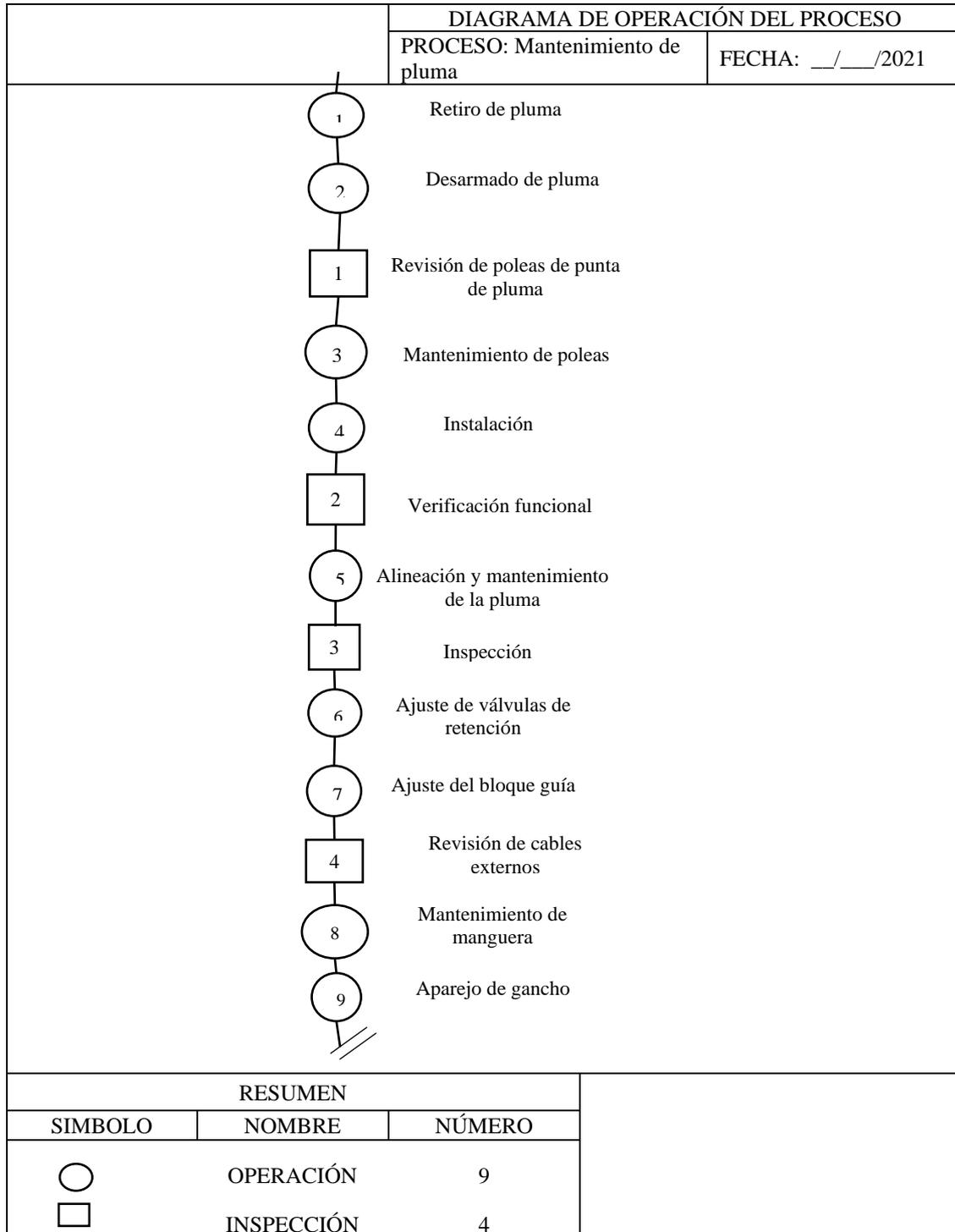


Figura 24 Diagrama de operaciones del proceso para mantenimiento de pluma

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26

Diagrama de análisis del proceso para mantenimiento de pluma

Diagrama De Análisis del Proceso									
Diagrama Nro. __	Hoja __ de __	RESUMEN							
Grúas:		Actividad	Actual	Propuesta	Economía				
Proceso: Mantenimiento de pluma	Método: Actual/Propuesto	Operación ○							
		Transporte ⇨							
		Espera □							
		Inspección ▽							
Lugar:		Almacenamiento ▽							
Operario (s):		Distancia (m)							
Ficha núm.:		Tiempo (min)							
Descripción		Cantidad	Tiempo	Símbolo					Observaciones
				○	□	⇨	▽		
Retiro de pluma		1	35	X					
Desarmado de pluma		1	25	X					
Revisión de poleas de punta de pluma		1	10		X				
Mantenimiento de poleas		1	20	X					
Instalación		1	30	X					
Verificación funcional		1	15		X				
Alineación y mantenimiento de pluma		1	25	X					
Inspección		1	10		X				
Ajuste de válvula de retención		1	25	X					
Ajuste de bloque guía		1	25	X					
Revisión de cables externos		1	10		X				
Mantenimiento de manguera		1	30	X					
Aparejo de gancho		1	15	X					
Total		13	275	9	4				

Fuente: Elaboración propia

En la tabla mostrada se tiene el diagrama de análisis del proceso del mantenimiento de pluma, donde se incluye la información general útil para el registro, así como los datos de resumen y la descripción de todas las actividades a realizarse. En primer lugar, se realizará el retiro de pluma durante un periodo de 35 minutos, seguidos del desarmado de pluma por otros 25 minutos y de la revisión de poleas durante 20 minutos; seguidamente, se realiza el mantenimiento de poleas, la instalación, la verificación funcional, la alineación, inspección, ajuste de válvula de retención, ajuste de bloque guía, revisión de cables, mantenimiento de manguera y aparejo de gancho, cada uno con sus tiempos de duración. El detalle del mantenimiento de cada pieza se muestra en el Anexo X.

- Mantenimiento de sistema de giro

El sistema de giro sirve para girar la superestructura de la grúa sobre el chasis del vehículo. El sistema de giro de la superestructura proporciona 360 grados de rotación en ambos sentidos y ofrece capacidades de giro libre. El término giro libre significa que, con el interruptor del freno de giro en la posición de freno suelto, la superestructura girará libremente después de que se suelte la palanca de control de giro hasta que se detenga por sí sola o que se pise el pedal del freno de giro. El giro se activa usando la palanca del control en la cabina. Cuando se acciona la palanca de giro, la presión hidráulica se dirige a los motores de giro para impulsar los mecanismos de giro en el sentido apropiado.

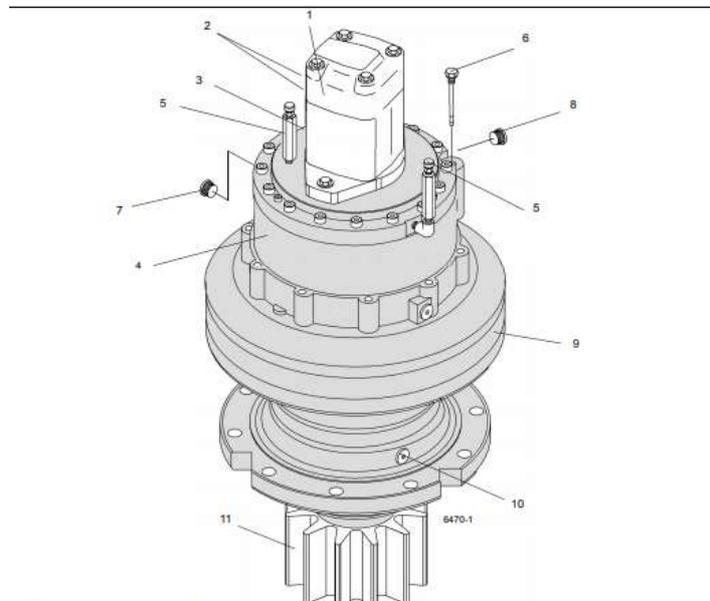


Figura 25 Identificación del sistema de giro

Fuente: Manual de mantenimiento MANITOWOC

Dónde:

1 Motor de giro, 2 Lumbreras del motor de giro, 3 Tapón de vaciado del motor de giro, 4 Conjunto del freno de giro, 5 Tapones con respiradero, 6 Tapón de llenado/indicador de nivel, 7 Lumbrera del freno de aplicación hidráulica, 8 Lumbrera del freno de liberación hidráulica, 9 Mecanismo de giro, 10 Tapón de vaciado y 11 Piñón

A partir de dicho análisis e identificación ha sido posible establecer un lineamiento básico para el mantenimiento del sistema de giro, para lo cual se ha empleado los diagramas de operación del proceso y su respectivo análisis del tiempo.

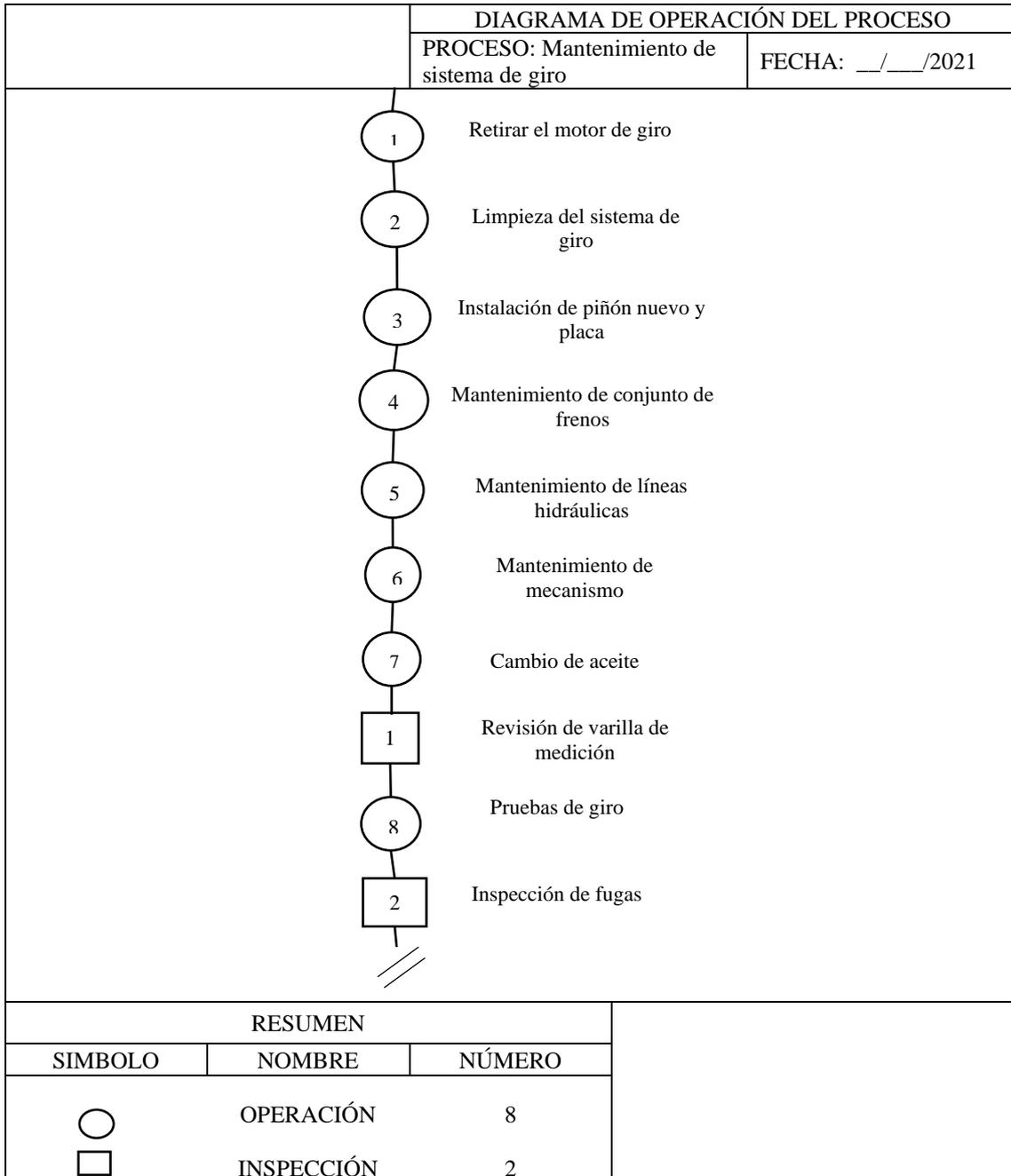


Figura 26 Diagrama de operaciones del proceso para mantenimiento de giro

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27

Diagrama de análisis del proceso para mantenimiento de sistema de giro

Diagrama De Análisis del Proceso									
Diagrama Nro. __	Hoja __ de __	RESUMEN							
Grúas:		Actividad	Actual	Propuesta	Economía				
Proceso: Mantenimiento de sistema de giro		Operación ○	8						
		Transporte ⇨	-						
		Espera □	-						
		Inspección □	2						
Método:	Actual/Propuesto	Almacenamiento ▽	-						
Lugar:		Distancia (m)							
Operario (s):		Tiempo (min)							
Ficha núm.:									
Descripción	Cantidad	Tiempo	Símbolo					Observaciones	
			○	□	⇨	▽			
Retirar el motor de giro	1	30	X						
Limpieza del sistema de giro	1	15	X						
Instalación de piñón nuevo y placa	1	25	X						
Mantenimiento de conjunto de frenos	1	15	X						
Mantenimiento de líneas hidráulicas	1	25	X						
Mantenimiento de mecanismo	1	25	X						
Cambio de aceite	1	15	X						
Revisión de varillas de medición	1	30		X					
Pruebas de giro	1	15	X						
Inspección de fugas	1	10		X					
Total	10	205	8	2					

Fuente: Elaboración propia

También, para el proceso de mantenimiento de sistema de giro se utiliza el diagrama de análisis del proceso, donde se especifican los datos de registro, los tipos de actividades, sus datos de resumen y la descripción de las actividades a realizar. Inicialmente, se retira el motor de giro durante un periodo de 30 minutos y se limpia el sistema de giro utilizando otros 15 minutos; seguidamente se realiza la instalación de piñón nuevo y placa, así como el mantenimiento de conjunto de frenos y líneas hidráulicas, para ello se utiliza un total de 65 minutos. También se realiza el mantenimiento de mecanismo, el cambio de aceite, la revisión de varillas de medición, pruebas de giro e inspección de fugas. El detalle del mantenimiento de cada pieza se muestra en el Anexo X

Evaluación del nivel de prioridad de riesgo

Por otro lado, para realizar la evaluación del nivel prioridad de riesgo se presentan las siguientes tablas y gráficos:

Tabla 28

Nivel de prioridad de riesgo (pre)

Análisis AMEF (Previo)	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Total
Sist. Eléctrico	120	100	140	120	400	300	1180
Sist. Hidráulico	360	360	360	180	72	72	1404
Pluma	140	175	140	120	100	175	850
Sist. De giro	120	60	0	60	60	180	480
Malacate	30	0	30	42	6	36	144
Tren de mando	0	0	2	2	14	4	22
Tren de rodaje	0	15	15	15	15	40	100
Lubricación	0	10	0	10	10	0	30
Válvulas	2	2	2	0	0	0	6

Fuente: Elaboración propia

En la tabla anterior se observa que el nivel de prioridad de riesgo pre, tomando los valores del análisis AMEF, coloca al sistema eléctrico como primera prioridad, debido a que arroja valores críticos mensuales entre 100 y 400, sumando un total de 1180 en el análisis previo; análogamente, el sistema hidráulico presenta valores AMEF entre 72 y 360, sumando un total de 1404. Asimismo, la pluma obtiene valores mensuales entre 100 y 175, contabilizando un total de 850; también, se señala al sistema de giro como otro componente crítico, pues sus valores AMEF van desde 60 hasta 120, sumando un total de 480. Adicionalmente se muestran los componentes que no poseen un nivel de prioridad alto; estos son, el malacate, el tren de mando, el tren de rodaje, la lubricación y las válvulas. Todo ello determina que los problemas más graves a solucionar fueron el mantenimiento del sistema eléctrico, hidráulico, la pluma y el sistema de giro.

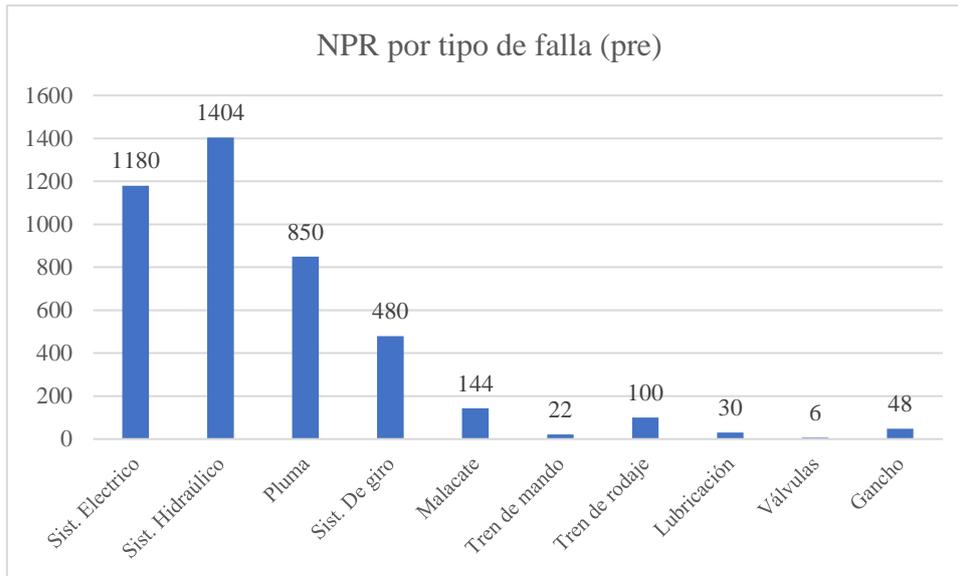


Figura 27 Nivel de prioridad de riesgo del escenario previo

Fuente: Elaboración propia

Complementariamente, se muestra el gráfico anterior, donde se evidencia gráficamente los niveles de prioridad altos para el sistema eléctrico, el sistema hidráulico, la pluma y el sistema de giro, teniendo valores considerablemente mayores a los componentes de bajo nivel de prioridad como las válvulas o el gancho. Por lo tanto, el análisis AMEF fue certero para determinar las acciones a seguir en búsqueda de la mejora de la disponibilidad de las grúas; como muestra de ello se presentan los valores en el escenario posterior a los cambios.

Tabla 29

Nivel de prioridad de riesgo (post)

Análisis AMEF (Posterior)	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Total
Sist. Eléctrico	36	24	24	10	16	8	118
Sist. Hidráulico	120	80	32	64	32	32	360
Pluma	70	105	70	35	35	0	315
Sist. De giro	72	60	0	18	18	0	168
Malacate	30	0	30	15	15	20	110
Tren de mando	2	0	0	2	0	2	6
Tren de rodaje	15	12	9	0	0	0	36
Lubricación	10	0	10	0	0	0	20
Válvulas	0	2	2	0	0	0	4
Gancho	0	16	0	0	0	0	16

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, en la tabla mostrada se detallan los valores críticos AMEF de los componentes en la etapa posterior, donde se observa una reducción considerable de los valores, de manera que el sistema eléctrico registra valores entre 8 y 36, sumando un total de 118; le sigue el sistema hidráulico con valores mensuales entre 32 y 120, acumulando un total de 360; también, la pluma y el sistema de giro registran valores acumulados de 315 y 168, respectivamente. A su vez, los demás componentes, tales como el malacate, tren de mando, tren de rodaje, lubricación, válvulas y gancho también sufrieron cambios en sus valores aún sin pertenecer a un nivel de prioridad alto.

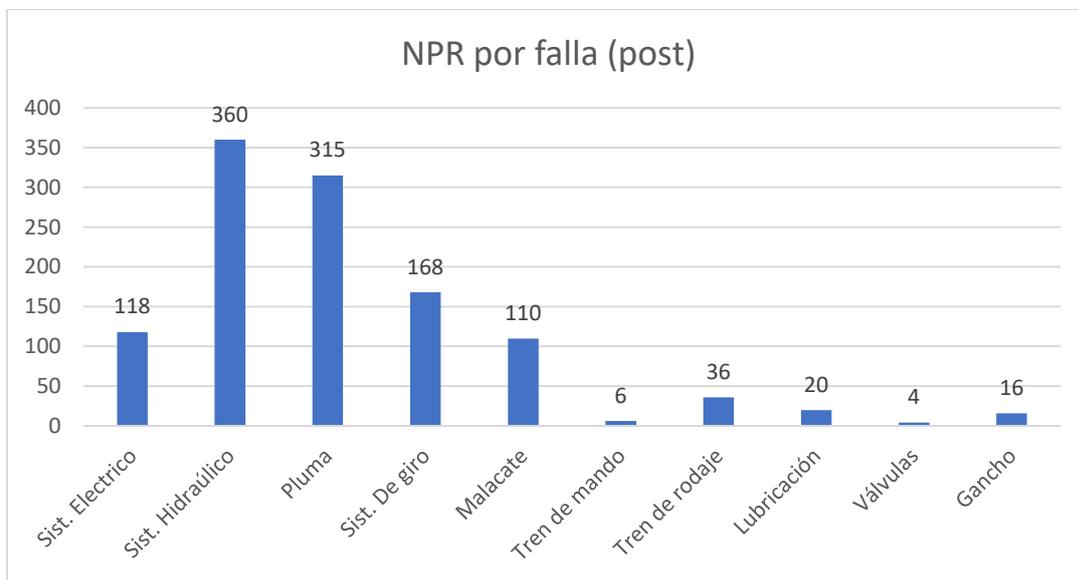


Figura 28 Diagrama de operaciones del proceso para mantenimiento de giro

Fuente: Elaboración propia

Complementario a la tabla anterior, se muestra el grafico de NPR por falla en la etapa posterior, donde se tiene que el sistema eléctrico ahora posee un valor critico de 118, mientras que el sistema hidráulico posee un valor de 360, la pluma de 315 y el sistema de giro de 168. A su vez, el malacate presenta un valor de 110, el tren de mando de 6, el tren de rodaje con 36, la lubricación con 20, las válvulas con 4 y el gancho de 16.

4.4. Escenario posterior

Variable: Metodología FMEA

Tabla 30

Análisis de FMEA (total)

Escenario	Periodo	Acciones preventivas		Nivel de prioridad de riesgo		
		N° Acciones preventivas	Gravedad	Frecuencia	Detección	NPR
Pre-test	Mes 1	14	60	20	39	796
	Mes 2	16	60	19	39	722
	Mes 3	15	60	20	39	689
	Mes 4	13	60	18	39	549
	Mes 5	14	60	19	39	701
	Mes 6	12	60	23	39	807
Post-test	Mes 7	20	48	14	39	355
	Mes 8	23	43	12	39	299
	Mes 9	24	42	9	39	177
	Mes 10	25	38	7	39	144
	Mes 11	28	36	6	39	116
	Mes 12	30	40	4	39	62

Fuente: Elaboración propia

En la tabla expuesta se evidencia que hubo una variación considerable con relación al pre-test y el post-test, teniendo que la frecuencia de ocurrencias paso de un rango de 18-23 a un rango de 4-14. A su vez, se observa que el número de acciones preventivas fue en crecimiento y la gravedad de los incidentes se redujo en buena proporción.

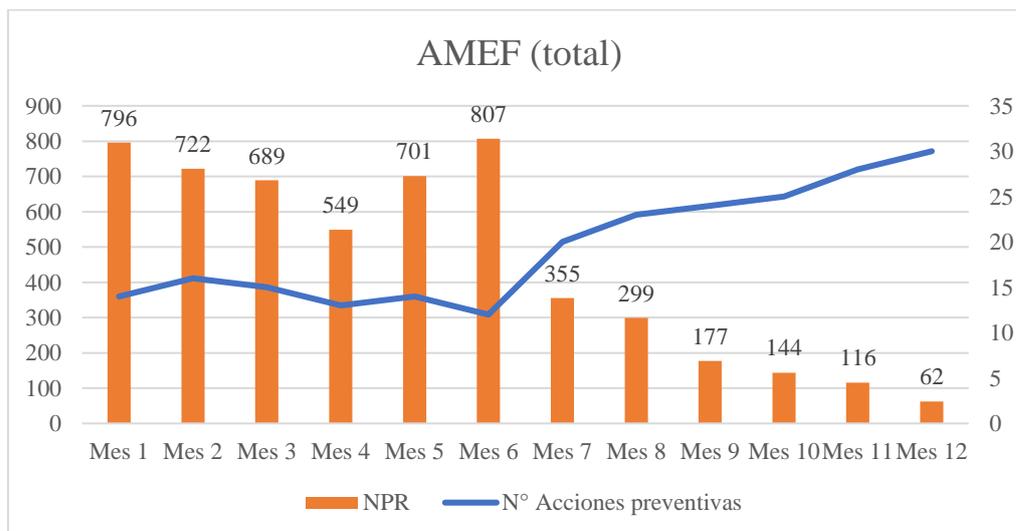


Figura 29 Análisis de AMEF (total)

Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente, en el gráfico anterior se muestra los valores NPR obtenidos de manera mensual, donde se observa que el mes 6 registró el mayor valor con 807, seguido del mes 1 con 796, le siguen el mes 2 y el mes 5, con 722 y 701, respectivamente. Asimismo, se observa un crecimiento de las acciones preventivas mensuales, siendo que, a más acciones preventivas menor el valor NPR mensual.

Variable: Disponibilidad

El cálculo de la disponibilidad fue posible a través de los indicadores de tiempo medio entre fallas y tiempo medio para las reparaciones, en tanto que la suma de ambos muestra el tiempo total del equipo; en este sentido, se procede a mostrar los niveles de evolución de ambas dimensiones a continuación.

Dimensión: Tiempo medio entre fallas

Tabla 31

Análisis del tiempo medio entre fallas (total)

Tiempo medio entre fallas				
Escenario	Periodo	Horas de operación	N° Fallas	MTBF
Pre-test	Mes 1	674.5	20	33.73
	Mes 2	677.0	19	35.63
	Mes 3	673.0	20	33.65
	Mes 4	682.3	18	37.90
	Mes 5	675.5	19	35.55
	Mes 6	647.5	23	28.15
Post-test	Mes 7	720.25	14	51.45
	Mes 8	730.5	12	60.88
	Mes 9	746.25	9	82.92
	Mes 10	748.75	7	106.96
	Mes 11	754	6	125.67
	Mes 12	758.25	4	189.56

Fuente: Elaboración propia

El gráfico expuesto muestra el análisis del tiempo medio entre fallas, teniendo que en la etapa pre, el MTBF oscila entre 28.15 y 37.90, mientras que en la etapa post, el MTBF oscila entre 51.45 y 189.56. En consecuencia, el número de fallas se redujo

considerablemente, pasando de 20 a 14 comparando el primer mes de ambas etapas, de 19 a 12 en el segundo mes, de 20 a 9 en el tercero, etc.

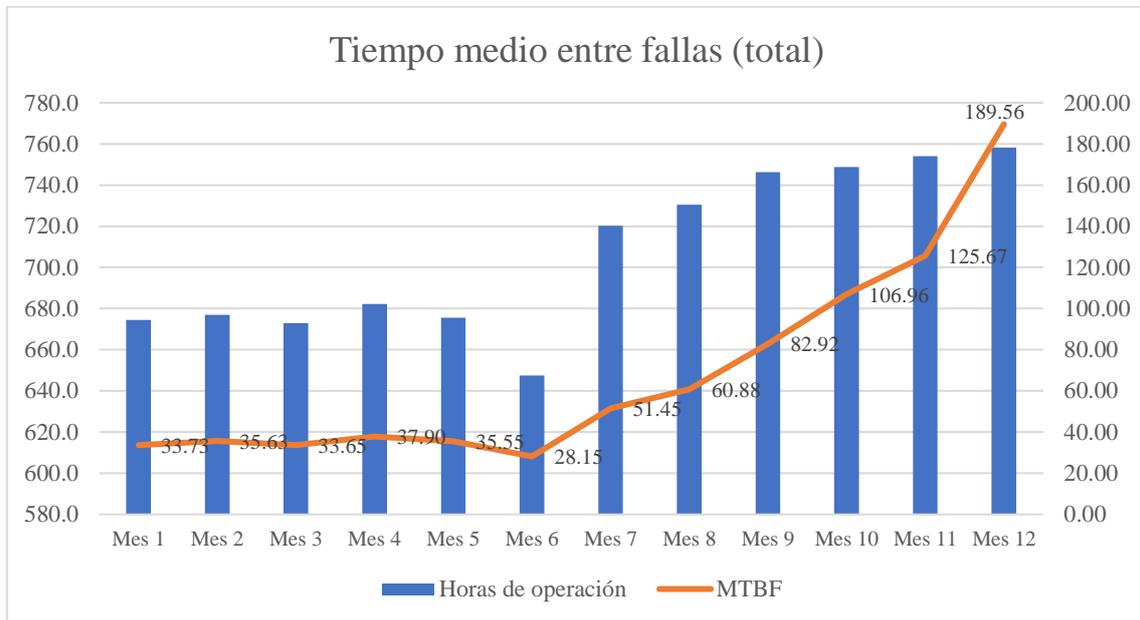


Figura 30 Análisis de MTBF (total)

Fuente: Elaboración propia

Complementariamente, se muestra el anterior gráfico de barras, donde se evidencia la mejora del MTBF; es decir, los componentes registraban un tiempo medio entre fallas mayor luego de aplicar los procesos de mantenimiento mencionados. Se observa que, a medida que aumentó el MTBF, también se incrementaron las horas de operación, debido a que existían menos detenciones de los componentes.

Dimensión: Tiempo medio para reparaciones

Tabla 32

Análisis del tiempo medio para reparaciones (total)

Escenario	Periodo	Tiempo medio para reparaciones		
		Horas de mantt.	Nº Fallas	MTTR
Pre-test	Mes 1	93.5	20	4.68
	Mes 2	91	19	4.79
	Mes 3	95	20	4.75
	Mes 4	85.75	18	4.76
	Mes 5	92.5	19	4.87
	Mes 6	120.5	23	5.24
	Mes 7	47.75	14	3.41
	Mes 8	37.5	12	3.13
Post-test	Mes 9	21.75	9	2.42
	Mes 10	19.25	7	2.75
	Mes 11	14	6	2.33
	Mes 12	9.75	4	2.44

Fuente: Elaboración propia

A su vez, en la tabla anterior se expone el análisis del tiempo medio para reparaciones durante la etapa pre y post, teniendo que el tiempo medio para reparaciones se redujo en la etapa post respecto a la etapa pre, siendo que el valor MTTR para el primer mes de la etapa pre fue de 4.68, mientras que en el primer mes de la etapa post se calculó un valor de 3.41; análogamente, en el mes 2 de la etapa pre se registró un valor de 4.79, mientras que en el mes 2 de la etapa post el valor fue de 3.13. También, se observa que el número de falla fue en descenso inmediatamente después de iniciado el proceso de mantenimiento, registrando valores que oscilan entre 4 y 14 a comparación de la etapa pre, donde el número de fallas oscilaron entre 18 y 23.

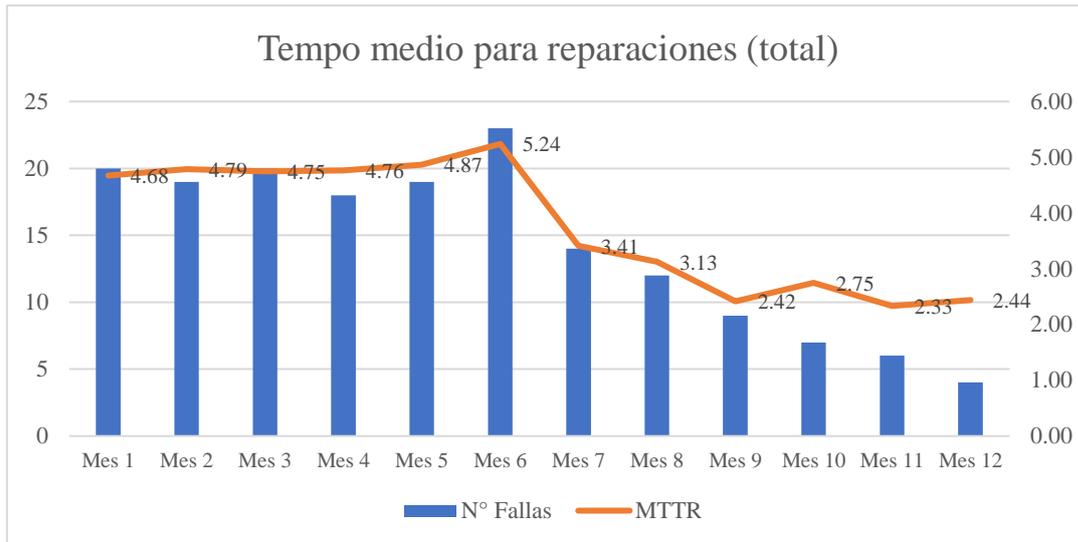


Figura 31 Análisis de MTTR (total)

Fuente: Elaboración propia

De forma complementaria, se expone el gráfico anterior donde se observa que existe una correlación positiva entre el número de fallas y el MTTR, puesto que a medida que disminuye el número de fallas se reduce el MTTR.

Tabla 33

Análisis de la disponibilidad (total)

Escenario	Periodo	MTBF	MTTR	Disponibilidad
Pre-test	Mes 1	33.73	4.68	87.8%
	Mes 2	35.63	4.79	88.2%
	Mes 3	33.65	4.75	87.6%
	Mes 4	37.90	4.76	88.8%
	Mes 5	35.55	4.87	88.0%
	Mes 6	28.15	5.24	84.3%
Post-test	Mes 7	51.45	3.41	93.8%
	Mes 8	60.88	3.13	95.1%
	Mes 9	82.92	2.42	97.2%
	Mes 10	106.96	2.75	97.5%
	Mes 11	125.67	2.33	98.2%
	Mes 12	189.56	2.44	98.7%

Fuente: Elaboración propia

A su vez, en la tabla anterior se exponen los detalles del análisis de disponibilidad, donde se muestran los resultados del pre test y el post test demostrando que la ratio del MTBF y MTTR aumentó luego de iniciado el proceso de mantenimiento a los factores críticos. Se evidencia que durante el primer mes de la etapa pre, la disponibilidad se contabiliza en 87.8% a comparación del 93.8% en el primer mes de la etapa post; tales diferencias se aprecian en todos los meses analizados.

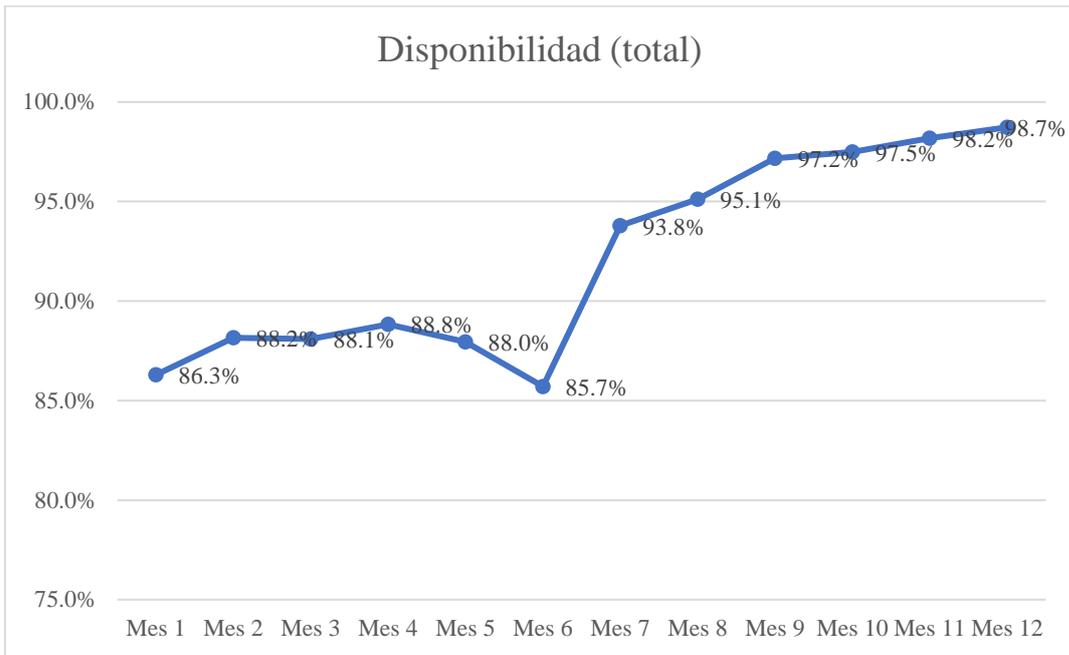


Figura 32 Análisis de la disponibilidad (total)

Fuente: Elaboración propia

A modo de complemento, se expone el grafico anterior, donde se observa que existió un crecimiento considerable de la disponibilidad de los equipos, puesto que la disponibilidad pasó de un valor mínimo d 85.7% a un valor máximo de 98.7%

4.5. Comparación de escenarios

Variable: Metodología FMEA

A continuación, se realiza la comparación de escenarios referentes a las acciones preventivas y el nivel de prioridad de riesgo para la variable metodología FMEA:

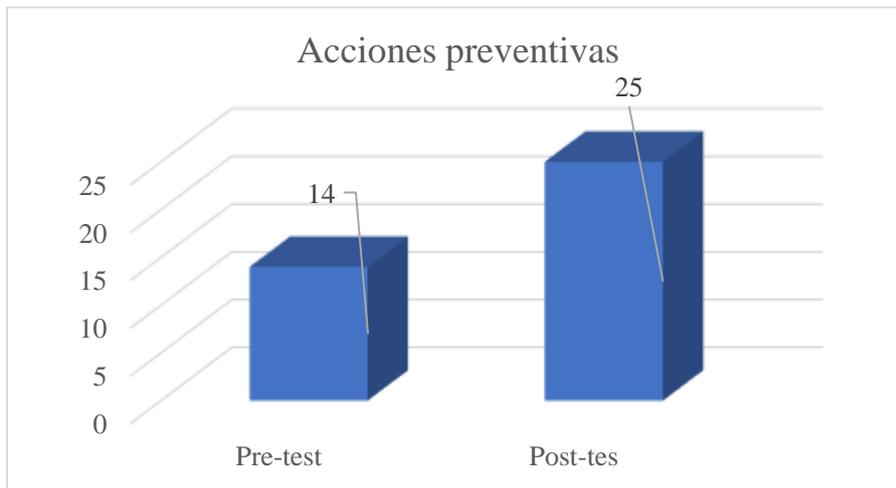


Figura 33 Comparación de escenarios de las acciones preventivas

Fuente: Elaboración propia

En la figura mostrada, se observa que existe una notable diferencia entre las acciones preventivas ejecutadas en la etapa previa comprada con la etapa post, el numero de acciones preventivas pasó de 14 a 25. Asimismo, se expone el nivel de prioridad de riesgo

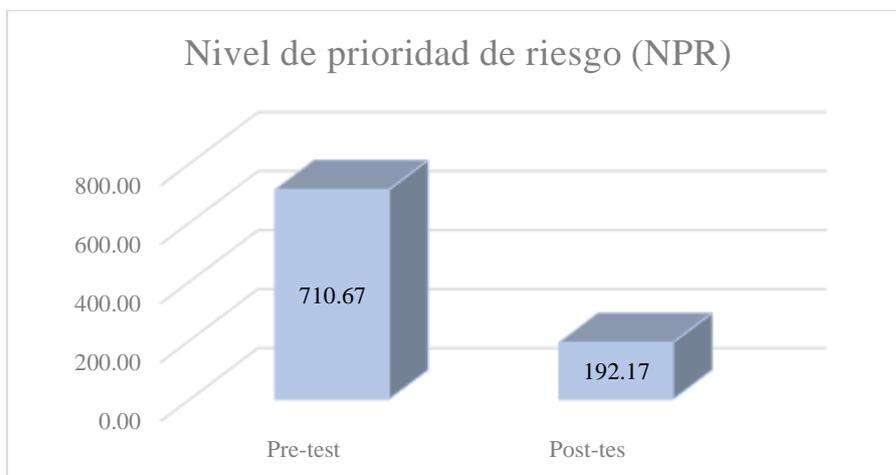


Figura 34 Comparación de escenarios del NPR

Fuente: Elaboración propia

En la figura se muestra que en la etapa pre test, los niveles de prioridad de riesgo acumularon un NPR total de 710,67, mientras que en la etapa post test dichos niveles de riesgo sumaron un total de 192,17, considerablemente menor a la etapa pre. Por tanto, se conoce que los factores críticos han reducido su nivel de prioridad de riesgo.

Variable: Disponibilidad

A su vez, para analizar los resultados referentes a la variable disponibilidad se muestran los siguientes elementos:

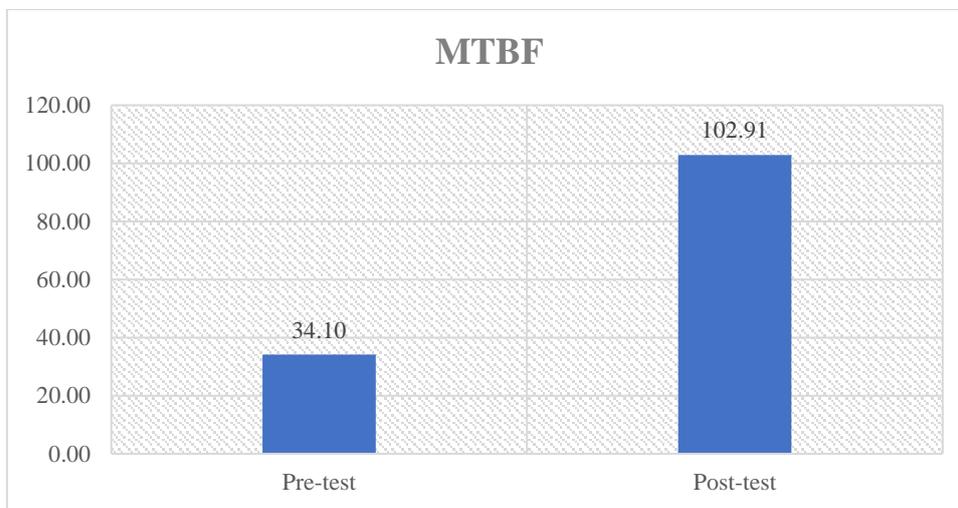


Figura 35 Comparación de escenarios del tiempo medio entre fallas

Fuente: Elaboración propia

La figura anterior pone en evidencia que el tiempo medio entre fallas se triplicó; es decir, las maquinas presentaron errores con un mayor tiempo entre cada error. Los valores MTBF promedio pasaron de 34,10 minutos a 102,92 minutos. Adicionalmente, se muestra la comparación del indicador MTTR:

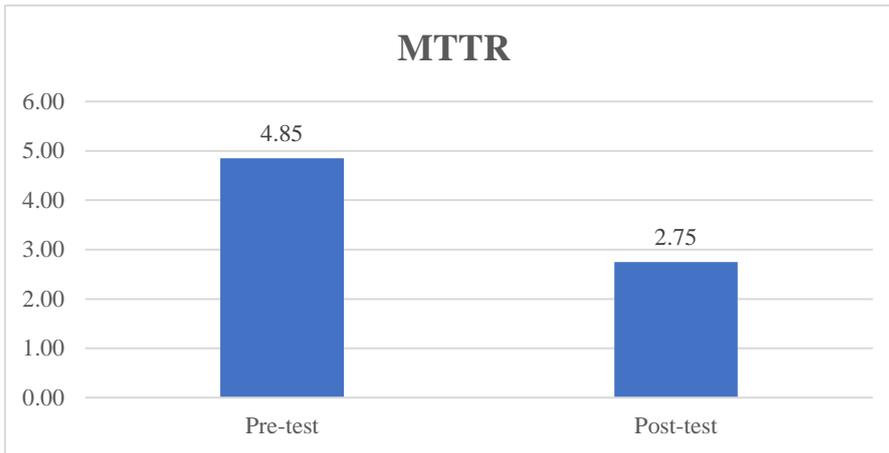


Figura 36 Comparación de escenarios del tiempo medio para reparaciones

Fuente: Elaboración propia

La figura expuesta muestra que el tiempo medio para reparaciones se redujo de un valor promedio de 4,85 a 2,75 como resultado de la implementación del proceso de mejora descrito. Por último, se exponen los resultados promedio sobre la disponibilidad de los equipos, los detalles se encuentran en el grafico mostrado a continuación:

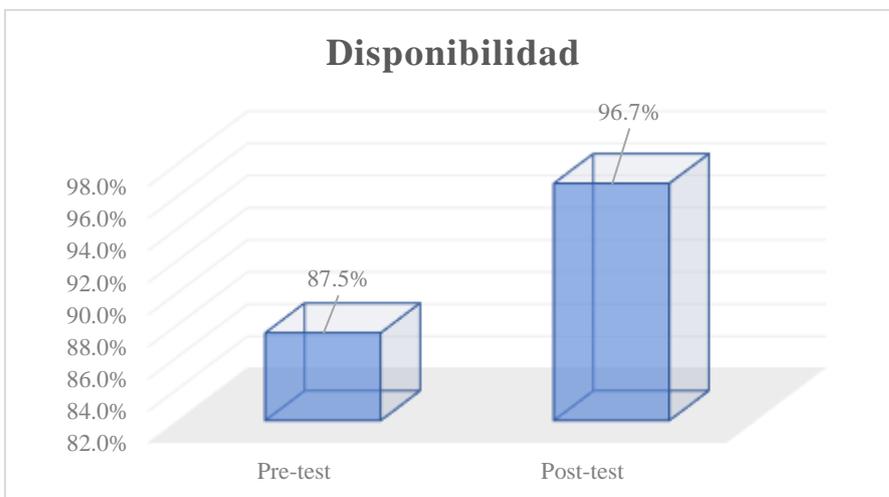


Figura 37 Comparación de escenarios de la disponibilidad

Fuente: Elaboración propia

Se tiene que la disponibilidad en el periodo de pretest se contabilizó en 87.5%, mientras que en la etapa post test dicho indicador fue de 96.7%, lo que se interpreta como una respuesta positiva ante el proceso de mantenimiento implementado.

4.6. Análisis económico

En la presente sección, para el análisis de la viabilidad de la propuesta, es necesario evaluar los ingresos por ahorros del mantenimiento correctivo respecto a los costos en los cuales se incurre para la mejora en base a la implementación de la metodología FMEA. En este sentido, se muestra un detalle de los costos a continuación.

Tabla 34

Costos de implementación

Descripción del artículo	Cantidad	U. medida	Precio	Total	(%)
Señalética	35	Unidades	4.5	157.5	0.06%
Mural de publicaciones	2	Unidades	550	1,100	0.43%
Manuales de reparación	20	Unidades	175	3,500	1.38%
Equipo de asesoría temática	6	Meses	4800	28,800	11.34%
Herramientas varias	20	Unidades	850	17,000	6.69%
Capacitación externa	15	Unidades	650	9,750	3.84%
Diseño de diagramas de operaciones	20	Unidades	750	15,000	5.91%
Lubricantes para motor	15	Galón	1250	18,750	7.38%
Aceite de motor	15	Galón	1450	21,750	8.56%
Filtros de aire	10	Unidades	790	7,900	3.11%
Filtros de aceite	20	Unidades	850	17,000	6.69%
Filtros de combustible	10	Unidades	745	7,450	2.93%
Aceite hidráulico	5	Galón	980	4,900	1.93%
Aceite de transmisión de válvula	5	Galón	490	2,450	0.96%
Grasa asfáltica	3	Galón	780	2,340	0.92%
Grasa multipropósito	3	Galón	950	2,850	1.12%
Cables de acero 9/16	50	Metros	190	9,500	3.74%
Rodamientos 6208-2RS	50	Unidades	150	7,500	2.95%
Repuesto de cable de extensión	45	Metros	225	10,125	3.99%
Neumáticos	4	Unidades	7762	31,050	12.23%
Repuestos para carrete de manguera	25	Unidades	210	5,250	2.07%
Repuestos para cilindros	30	Unidades	275	8,250	3.25%
Cadenas de máquina	30	Metros	315	9,450	3.72%
Repuestos de rodajes	30	Unidades	155	4,650	1.83%
Bujes de bronce	12	Unidades	350	4,200	1.65%
Brocas	20	Unidades	145	2,900	1.14%
Desengrasante	2	Galón	105	210	0.08%
Aceite de corte	1	Galón	95	95	0.04%
Pintura	1	Galón	75	75	0.03%
Total				253,952	

Elaboración propia

Como se observa en la tabla anterior se observa el listado de los elementos necesarios para la implementación de cambios en el sistema de mantenimiento preventivo así como los recursos que se requieren de forma mensual para continuar con la adecuada gestión

de las labores. En este sentido, se indica que los artículos relacionados solo con la implementación refieren la compra de señalética, el mural de publicaciones, los manuales de reparación, el equipo de asesoría temática y la compra de herramientas para el trabajo de mantenimiento. De forma similar, respecto a los insumos necesarios existen elementos de gran valor como los neumáticos (12.23 % del presupuesto), dado que esta fue una de las principales fallas encontradas, luego se menciona la necesidad de compra de filtros, aceites, repuestos, cables, entre otros. La suma total del presupuesto para el mantenimiento de grúas asciende a S/ 253,952 soles para los 6 meses de análisis.

Por otro lado, es necesario el cálculo de los ingresos provenientes por la implementación, los cuales se aproximan de acuerdo con la diferencia de fallas entre el escenario pre-test y el post-test, es decir, los equipos presentan menores fallas por lo que ya no se requiere del mantenimiento correctivo. Dicho cálculo se presenta a través de la siguiente tabla.

Tabla 35

Ingresos por implementación

	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
Ingresos						
Fallas Pre-test	20	19	20	18	19	23
Fallas Post-test	14	12	9	7	6	4
Diferencia	6	7	11	11	13	19
Costo de reparación	12,473	12,439	12,406	12,372	12,339	12,305
Ahorro Total	74,838	87,075	136,463	136,094	160,404	233,804

Elaboración propia

En el escenario inicial se observaron aproximadamente entre 18 y 23 fallas de manera mensual, en tanto que en el escenario post-test estos valores se reducen a solo 14 o 4 fallas. Asimismo, el costo de reparación de cada falla se ha aproximado en un valor único puesto que es la tarifa de la aseguradora que brinda el trabajo de mantenimiento correctivo, a saber, S/ 12,473 soles, lo cual varía de mes a mes por tratarse de precios constantes, tomando una inflación de 3.25% anual según la información del BCRP; de dicha manera de forma mensual es posible obtener un ahorro por la implementación de la metodología FMEA. Para el análisis del flujo y los indicadores económicos donde se resume la información anterior, se muestra la siguiente tabla.

Tabla 36

Flujo económico (expresado en soles a precios constantes)

	Mes 0	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
Ingresos							
Fallas Pre-test		20	19	20	18	19	23
Fallas Post-test		14	12	9	7	6	4
Diferencia		6	7	11	11	13	19
Costo de reparación		12,473	12,439	12,406	12,372	12,339	12,305
Ahorro Total		74,838	87,075	136,463	136,094	160,404	233,804
Costos							
Costo de implementación	-253,952						
Costo de mantenimiento		178,645	178,162	177,681	177,201	176,723	176,245
Total	-253,952						
Flujo	-253,952	74,838	87,075	136,463	136,094	160,404	233,804
Flujo acumulado		-179,114	-92,039	44,424	180,518	340,922	574,726

Valor actual neto	S/195,942.09
WACC	15%
TIR	38.23%
B-C	2.263

Elaboración propia

En la tabla anterior, se observa el flujo económico por la implementación de cambios en el sistema de mantenimiento, en donde se obtiene un valor actual neto de S/ 195,942 soles; adicionalmente, se alcanza una tasa TIR de 38.23% y al ser superior a la tasa WACC (15%) refiere un escenario viable; por otro lado, se alcanza un ratio de beneficio – costo de 2.263 Todos los indicadores evidencian que la implementación es positiva desde el análisis económico, por lo que su viabilidad queda demostrada.

DISCUSIÓN

En esta sección se mostrará la discusión de resultados a fin de comparar los hallazgos de la presente investigación con los resultados de los trabajos previos sobre el tema. Esta sección es importante puesto que permite conocer si se cumple la tendencia sobre los alcances o cambios en la disponibilidad y determinar la forma en cómo se ha empleado la metodología FMEA; este apartado inicia enunciando en primer lugar las limitaciones que formaron parte de la investigación, a saber:

- Falta de accesibilidad de la información inicial por parte de la compañía específica sobre el tema de investigación, lo que llevó a solicitar autorización al gerente operaciones o representante hasta la obtención del permiso para investigar el tema de interés.
- Contar con toda la flota de grúas del total de clientes para un análisis integral, motivo por el cual se escogió a un solo cliente de mayor relevancia en la cartera de clientes de la empresa, por lo que se tuvo que tomar una muestra de grúas.
- Reducido tiempo para ejecutar la investigación, por exceso en la carga de trabajo operativo diario por parte del investigador, que implicó realizar horas adicionales fuera del horario laboral establecido para la recolección de datos sobre disponibilidad.

Se superaron estas limitaciones, recolectando todo el material de fuentes primarias y secundarias, tales como: fuentes bibliográficas, tesis, artículos indexados, revistas y libros especializados sobre la materia de estudio y la persistencia por parte del investigador.

En este apartado, se discuten los resultados con relación al comportamiento de la disponibilidad operativa de grúas telescópicas modelo RT 9130-2 de un periodo histórico del 2019, previo a la implementación, presentó un bajo nivel, en tanto que en promedio solo alcanza una disponibilidad del 87.5%, ello se basa en gran presencia de fallas (entre 18 y 23), lo cual redujo el tiempo medio entre fallas (34.10 horas) e incrementó el tiempo medio para las reparaciones (4.85 horas). Siendo similar a otros casos, donde la disponibilidad se encuentra en un nivel deficiente, esto se observa en la investigación realizada por Estupiñán y Cordero (2019) dado que en el escenario inicial el tiempo medio

entre fallas (MTBF) fue de 250 horas y el tiempo medio para la reparación (MTTR) fue de 6.8 horas; ello determina una disponibilidad del 83.25%, inferior a la obtenida con respecto a la presente investigación. De forma análoga, en Wannawiset y Tangjitsitcharoen (2019) se obtuvo una baja disponibilidad inicial (88.95%), lo cual se debe a un bajo tiempo medio entre fallas de 21 horas. A nivel nacional, se observa un resultado similar en Barrientos (2017) donde la disponibilidad fue de 92.9% dado que el tiempo medio entre fallas fue de 116 horas y el tiempo medio para la reparación fue de 12.4 horas.

Por otra parte, en cuanto al diagnóstico de fallas de grúas modelo RT9130-2 en el área de mantenimiento empleando la metodología FMEA permitió establecer soluciones viables en base al análisis de las fallas; en este sentido, se mencionó que las fallas más recurrentes fueron en el sistema eléctrico (33 fallas en 6 meses), el sistema hidráulico (29 fallas en 6 meses) y la pluma (25 fallas). Un análisis similar fue realizado a nivel nacional, donde se observó en el estudio realizado por Álvarez (2017) que las fallas más frecuente fueron los problemas de embrague y caja de cambios con 38 ocurrencias; luego fueron las fallas en el eje posterior con 20 ocurrencias y el motor con 18 ocurrencias. A partir de ello se presentaron soluciones viables en base a un análisis de prioridad de riesgo por cada grúa. Análogamente, en Kolte y Dabade (2017) los resultados mostraron en el análisis de criticidad FMEA que las fallas más frecuentes corresponden al sensor de rotación del husillo con una ocurrencia de 12 veces con un tiempo perdido de 1160 minutos, la falla de bombeo de retorno con 44 ocurrencias y 520 minutos perdidos y los problemas de la alarma de inundación del filtro KF con 46 ocurrencias y una detención de 492 minutos.

Para esta investigación, dada la influencia de la metodología FMEA fue posible incrementar la disponibilidad de grúas telescópicas modelo RT9130-2 de la empresa Cosmos S.A, siendo útil para la gerencia de mantenimiento y empresa en general, esto gracias al uso de diversas acciones de mejora como uso de formatos de mantenimiento, inspecciones planificadas, compra de insumos, repuestos y accesorios o componentes críticos de las grúas telescópicas, como capacitación dirigida al personal de mantenimiento, todo ello, generando implicancias o consecuencias prácticas logrando así el incremento de la disponibilidad operativa de los equipos. En tanto que, la implicancia metodológica de esta investigación fue emplear la metodología AMFE como se ha

realizado en otras investigaciones para obtener un cambio notable en la gestión del mantenimiento de estos equipos. La situación inicial presentó una disponibilidad de 87.5% en promedio pre-test, la cual se incrementó a 96.7% en promedio post-test; de igual forma, se observaron cambios positivos en el tiempo medio entre fallas (de 34.10 a 102.91 horas) y el tiempo medio para reparaciones (4.85 a 2.75 horas) en promedio de ambos escenarios. Un alcance similar se observa en Estupiñán y Cordero (2019) se determina que la disponibilidad ha pasado de 83.25% en el escenario previo a 87.28% en el posterior. Asimismo, en Kolte y Dabade (2017) se menciona un cambio en el promedio de la disponibilidad de los equipos que paso de 82.25% a 85.09%, esto se basa en el cambio del tiempo medio entre fallas (MTBF) que paso de 73.6 a 114.2 minutos y el tiempo medio para la reparación (MTTR) experimentó un cambio de 22.6 a 19.1 minutos. En otro caso similar, Wannawiset y Tangjitsitcharoen (2019) mencionaron que la disponibilidad pasó de 88.95% a 89.41% en el promedio de los escenarios previo y posterior, respectivamente; por otro lado, el tiempo medio entre fallas (MTBF) también experimentó un cambio positivo, pasando de 21 horas en promedio en el escenario previo a la mejora a 31 horas en el posterior.

En el ámbito nacional, también se observaron resultados favorables, de acuerdo con Chávez (2018) se obtuvo un cambio significativo en la disponibilidad, la cual paso de 84.23% en el escenario previo a 95.3% en el posterior; por otro lado, la confiabilidad experimentó un cambio de 84.72% a 95.32% y finalmente, la mantenibilidad disminuyó de 37.3% a 26.03%. De forma similar, de acuerdo con Euscategui (2018) la disponibilidad pasó de 89.24% en el escenario previo a 96.1% en el posterior; por otro lado, la confiabilidad experimentó un cambio de 78.62 % a 88.73 % y finalmente, la mantenibilidad aumentó 83.3 % a 94.6 %.

Asimismo, en Álvarez (2017) en el análisis de la disponibilidad se pasó de 77% en el escenario previo a 96% en el posterior; ello se basa en el cambio del tiempo medio entre fallas o confiabilidad de 86% a 98% y se mantuvo la mantenibilidad o tiempo medio para reparaciones en 4%. Por otro lado, en Guerra (2017) disponibilidad pasó de 66.29% a 88.71% y finalmente, en Barrientos (2017) la disponibilidad obtuvo un cambio de 92.9% a 97.2% en un año, dado que el tiempo medio entre fallas (MTBF) paso de 116 a 147 horas en los escenarios previo y posterior, respectivamente y el tiempo medio para reparaciones (MTTR) tuvo un cambio de 14.4 a 12.4 horas durante un año.

Con relación al nivel técnico y económico de una mejora basada en la metodología FMEA se evidenció que fue viable y ésta permite incrementar la disponibilidad de grúas telescópicas modelo R 9130-2 de la empresa Cosmos S.A, 2019, dado que en el escenario final la disponibilidad fue de 98.7% con valores del tiempo medio entre fallas de 189.56 horas y el tiempo medio para reparaciones de 2.44 horas. Adicionalmente, en la perspectiva económica se obtiene un resultado positivo, en tanto que el VAN de S/195,942, TIR de 38.23% y el ratio de beneficio – costo de 2.263 reflejaron la viabilidad de la propuesta. De forma similar, en Estupiñán y Cordero (2019), se determina que la disponibilidad ha pasado de 83.25% en el escenario previo a 87.28% en el posterior. Y desde la perspectiva económica se ha logrado un ahorro de USD 17,089 dólares. A nivel nacional, se observan casos de éxito similares, como lo señala Chávez (2018), quien mencionó que la mejora basada en FMEA generó un cambio significativo en la disponibilidad, la cual paso de 84.23% en el escenario previo a 95.3% en el posterior y la inversión puede ser recuperada en 5 meses, generando un ahorro de S/ 330,880 soles. Asimismo, de acuerdo con Euscategui (2018) la disponibilidad, la cual paso hasta 96.1% en el escenario posterior y en el análisis económico se muestra la implementación disminuye en 47 % los costos de mantenimiento, es decir un ahorro de S/ 17,080 soles.

CONCLUSIONES

Se presentan las conclusiones con respecto a los objetivos generales y específicos planteados en esta investigación, mostrados a continuación:

Conclusión General

En términos generales, se concluye que la metodología FMEA incrementó la disponibilidad de grúas telescópicas modelo RT 9130-2 de la empresa Cosmos S.A, en tanto que se pasa de un valor de disponibilidad de 87.5% en promedio pre-test a 96.7% en promedio Post-test; de igual forma, se observaron cambios positivos en el tiempo medio entre fallas (de 34.10 a 102.91 horas) y el tiempo medio para reparaciones (4.85 a 2.75 horas) en promedio de ambos escenarios.

Conclusión específica n° 1

En primer lugar se concluye que el comportamiento de la disponibilidad operativa de grúas telescópicas modelo RT 9130-2 de un periodo histórico del 2019, previo a la implementación de cambios fue deficiente, en tanto que en promedio solo alcanzó una disponibilidad del 87.5%, ello se basa en gran presencia de fallas (entre 18 y 23), lo cual reduce el tiempo medio entre fallas (34.10 horas) e incrementa el tiempo medio para las reparaciones (4.85 horas)

Conclusión específica n° 2

En segundo lugar, se concluye que se efectuó el diagnóstico de fallas de grúas modelo RT9130-2 en el área de mantenimiento mediante la metodología FMEA, donde se identificó que las fallas más recurrentes son en el sistema eléctrico (33 fallas en 6 meses), el sistema hidráulico (29 fallas en 6 meses) y la pluma (25 fallas). A partir de ello se presentaron soluciones viables en base a un análisis de prioridad de riesgo por cada grúa.

Conclusión específica n° 3

En tercer lugar, se concluye que tanto a nivel técnica y económicamente se analizó la mejora basada en la metodología FMEA y la disponibilidad de grúas telescópicas modelo RT 9130-2 de la empresa Cosmos S.A, 2019, dado que en el escenario final la disponibilidad fue de 98.7% con valores del tiempo medio entre fallas de 189.56 horas y

el tiempo medio para reparaciones de 2.44 horas. Adicionalmente, en la perspectiva económica se obtiene un resultado positivo, en tanto que el VAN de S/195,942, TIR de 38.23% y el ratio de beneficio – costo de 2.263 reflejan la viabilidad de la propuesta.

RECOMENDACIONES

En esta última sección se muestran las sugerencias para la mejora continua a modo de recomendaciones, en tanto que se desea seguir con cambios positivos en la empresa de estudio y por lo tanto, se menciona lo siguiente.

Se recomienda actualizar de forma constante el análisis de fallas de equipos, puesto que se debe evaluar la presencia de otras deficiencias ocultas o aquellas que surgen por las operaciones; a partir de ello, se podrá tener una actualización de las necesidades de mantenimiento y corrección de fallas.

Se recomienda efectuar un estudio de tiempos a fin de profundizar en la labor del mantenimiento y obtener un mejor desempeño para dicho trabajo, lo cual incluye una reducción del tiempo y el incremento de actividades que agregan valor

Se recomienda evaluar otras propuestas sobre proveedores de insumos, repuestos o servicio de reparaciones a fin de obtener la relación precio – calidad más competitiva del mercado, en tanto que muchos de los elementos cuentan con precios se encuentran en divisas de alto tránsito.

Finalmente, se recomienda extender el análisis FMEA a otros equipos en la compañía que presenten gran cantidad de fallas para mejorar el nivel de desempeño de las operaciones y brindar soluciones desde la perspectiva de la Ingeniería Industrial

REFERENCIAS

- Aguirre, V. (2019). *Metodología FMEA en la identificación de pérdidas de energía eléctrica en la red de distribución de baja tensión en El Bajo Cauca*. Bogotá, Colombia: XXI Congreso Internacional de Mantenimiento y Gestión de Activos.
- Alavedra, C., Gastelu, Y., Méndez, G., Minaya, C., Pineda, B., Prieto, K., . . . Moreno, C. (2016). Gestión de mantenimiento preventivo y su relación con la disponibilidad de la flota de camiones 730e Komatsu-2013. *Ingeniería Industrial* N° 34; , ISSN 1025-9929, 11-26.
- Alvarez, L. (2017). *El AMEF para aumentar la disponibilidad de la flota vehicular de la empresa EMTRAFESA SAC*. Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo.
- Arabsheybani, A., Mahdi, M., & Sattar, A. (2018). An integrated fuzzy MOORA method and FMEA technique for sustainable supplier selection considering quantity discounts and supplier's risk. *Journal of Cleaner Production* Vol 190, 577-591.
- Baena, G. (2014). *Metodología de la investigación*. México, D.F.: Grupo Editorial Patria.
- Barrientos, G. (2017). *Mejora de la gestión de mantenimiento de maquinaria pesada con la metodología AMEF*. Lima: Universidad San Ignacio de Loyola.
- Caballero, C., & Clavero, J. (2016). *UF1466 - Sistemas de almacenamiento*. Ediciones Paraninfo.
- Chávez, J. (2018). *Gestión del mantenimiento basado en el análisis de modo de fallas (AMEF) para incrementar la disponibilidad de los equipos Jumbo en el Consorcio Minero Horizonte S.A*. Trujillo: Universidad Cesar Vallejo.
- Chen, L. (2016). *FMEA Using Uncertainty Theories and MCDM Methods*. Singapore: Springer.
- Consuegra, O. (2015). Metodología AMFE como herramienta de gestión de riesgo en un hospital universitario. *Cuadernos Latinoamericanos de Administración*, 37-49.

- Cuzcano, V. (2014). *Metodología de evaluación para definir el modelo de Grúa Torre/telescopia óptima para una edificación multifamiliar en Lima*. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Estupiñan, E., & Cordero, O. (2019). Uso de la metodología FMECA -RCM, para la optimización De la estrategia de mantenimiento en una planta de tostación de cobre. *Revista Bistua Vol 17 N°1*, 196-204.
- Euscategui, K. (2018). *Implementación de un sistema de gestión en mantenimiento usando la técnica de AMEF en el área de maestranza para mejorar la disponibilidad de los equipos de la empresa BONA Logistic E.I.R.L.* Trujillo: Universidad Cesar Vallejo.
- Galeano, E., & Pérez, H. (2017). *Análisis de modo y efecto de falla en el proceso de extrusión- soplado en placa S.A.* Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- García, I. (2016). *Anatomía de sistemas: Su análisis y su apoyo*. Díaz de Santos.
- Guerra, C. (2017). *Análisis de modos y efectos de falla en los Scooptrams de la empresa minera Antacocha*. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Gupta, P., & Sri, A. (2014). *Seis Sigma sin Estadística: Enfoque en la búsqueda de las mejoras inmediatas*. Porto, Portugal: Accelper Consulting.
- Hernández , R., & Mendoza , C. (2018). *Metodología de la investigación:Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Mexico: Mc Graw Hill.
- Idrogo , W. (2016). Estudio de un sistema de mantenimiento centrado en la con abilidad para aumentar la disponibilidad de los motores asíncronos trifásicos de la empresa Cogorno S. A. - Trujillo. *Tecnología & Desarrollo Vol 14 N° 1*, 83-96.
- Kolte, T., & Dabade, U. (2017). Machine Operational Availability Improvement by Implementing Effective Preventive Maintenance Strategies - A Review and Case

- Study. *International Journal of Engineering Research and Technology Vol 10 N° 1*, 700-708.
- Kudláč, Š., Štefancová, V., & Majerčák, J. (2017). Using the Saaty Method and the FMEA Method for Evaluation of Constraints in Logistics Chain. *Procedia Engineering Vol 187*, 749 – 755 .
- Li, Z., & Chen, L. (2019). A novel evidential FMEA method by integrating fuzzy belief structure and grey relational projection method. *Engineering Applications of Artificial Intelligence Vol 77*, 136-147.
- Loong, C., Chyan, S., Sheng, K., & Wei, S. (2017). Prioritising Redundant Network Component for HOWBAN Survivability Using FMEA. *Wireless Communications and Mobile Computing Vol 2017 Article ID 6250893*, 1-13.
- Martín, A. (2017). *Brújula del líder de sistemas: Directrices prácticas para los profesionales en sistemas*. Ciudad de México: Avance Impresiones S.A. de C.V.
- McDermott, R., Mikulak, R., & Beauregard, M. (2017). *The Basics of FMEA*. Nueva York, Estados Unidos: CRC Press.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2019). *Anuario Estadístico 2018*. Lima, Perú: Oficina de Estadística del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Montalban, E., Arenas, E., Talavera, M., & Magaña, R. (2015). Herramienta de mejora AMEF (Análisis del Modo y Efecto de la Falla Potencial) como documento vivo en un área operativa. Experiencia de aplicación en empresa proveedora para Industria Automotriz. *Revista de Aplicaciones de la Ingeniería Vol 2 N° 5*, 230-240.
- Ñaupas, H., Valdivia, M., Palacios, J., & Romero, E. (2018). *Metodología de la investigación cuantitativa - cualitativa y redacción de tesis*. Bogotá, Colombia : Ediciones de la U.

- Piechnicki, F., Loures, E., & Santos, E. (2017). A conceptual framework of knowledge conciliation to decision making support in RCM deployment . *Procedia Manufacturing Vol 11*, 1135-1144.
- Silva, I., Rodríguez, M., Acosta, R., & Gómez, P. (2019). Diseño de plan de mantenimiento preventivo para los talleres del centro CIES Sena Regional Norte de Santander utilizando metodología AMEF. *Mundo Fesc Vol 9 N° 17*, 36-46.
- Silvestre, I., & Huamán , C. (2019). *Pasos para elaborar la investigación y redacción de la tesis universitaria*. Lima, Perú: San Marcos .
- Socconini, L. (2018). *Lean Six Sigma Yellow Belt. Manual de certificación*. Barcelona: Marge Books.
- Socconini, L. (2019). *Lean Company. Más allá de la manufactura*. Barcelona, España: Marge Books.
- Socconini, L. (2019). *Lean Manufacturing: paso a paso*. Barcelona: Marge Books.
- Stamatis, D. (2018). *Risk Management Using Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*. Wisconsin, Estados Unidos: ASQ Quality Press.
- Tazi, N., Châtelet, E., & Bouzidi, Y. (2017). Using a Hybrid Cost-FMEA Analysis for Wind Turbine Reliability Analysis. *Energies Vol 10 N° 276*, 1-20.
- Valderrama, S. (2019). *Pasos para Elaborar Proyectos de investigación Científica*. Lima: Editorial San Marcos.
- Wannawiset, S., & Tangjitsitcharoen, S. (2019). Paper Machine Breakdown Reduction by FMEA and Preventive Maintenance Improvement: A Case Study. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering Vol 530*, 1-9; doi:10.1088/1757-899X/530/1/012051.

Ypanaqué , S., Chucuya , R., & Esquivel, L. (2017). Mantenimiento preventivo para
incrementar la disponibilidad y confiabilidad de una grúa de 50 toneladas.

INGnosis Vol 3 N° 2, 309-322.

Zarcovich, P. (2005). *Metodología de investigación*. México: McGraw-Hill.

Zegarra, M. (2016). *Indicadores para la gestión del mantenimiento de equipos pesados*.

Cinecia y Desarrollo. Universidad Alas Peruanas, 25-37.

ANEXOS

ANEXO n.º 1. Ficha de recolección MTBF

Ficha de recolección MTBF			
Nombre de grua		Hoja	
Operación		Termino	
		Final	
		Tiempo transcurrido	
		Operario	
Comentarios		Ficha numero	
		Observado por	
		Fecha	
	Horas de operación	Número de fallas	OBS
Dia 1			
Dia 2			
Dia 3			
Dia 4			
Dia 5			
Dia 6			
Dia 7			
Dia 8			
Dia 9			
Dia 10			
Dia 11			
Dia 12			
Dia 13			
Dia 14			
Dia 15			
Dia 16			
Dia 17			
Dia 18			
Dia 19			
Dia 20			
Dia 21			
Dia 22			
Dia 23			
Dia 24			
Dia 25			
Dia 26			
Dia 27			
Dia 28			
Dia 29			
Dia 30			
NRO	MECÁNICOS / ELÉCTRICISTAS	SUPERVISOR	
1		 <p>COSMOS SERVICIOS DE MANTENIMIENTO BELARDO VASQUEZ CALDAS Supervisor de Mantenimiento - OLI</p>	
2			
3			

ANEXO n.º 2. Ficha de recolección de fallas AMEF

Ficha de recolección de fallas AMEF										
Nombre de grúa							Hoja			
Operación							Termino			
							Final			
							Tiempo transcurrido			
							Operario			
Comentarios							Ficha numero			
							Observado por			
							Fecha			
	Sist. Electrico	Sist. Hidráulico	Pluma	Sist. De giro	Malacate	Tren de mando	Tren de rodaje	Lubricación	Válvulas	Gancho
Día 1										
Día 2										
Día 3										
Día 4										
Día 5										
Día 6										
Día 7										
Día 8										
Día 9										
Día 10										
Día 11										
Día 12										
Día 13										
Día 14										
Día 15										
Día 16										
Día 17										
Día 18										
Día 19										
Día 20										
Día 21										
Día 22										
Día 23										
Día 24										
Día 25										
Día 26										
Día 27										
Día 28										
Día 29										
Día 30										
NRO	MECÁNICOS / ELÉCTRICISTAS					SUPERVISOR				
1						 BELARDO VÁSQUEZ CALDAS Supervisor de Mantenimiento - OLI				
2										
3										
4										
5										

ANEXO n.º 3. Ficha de recolección de MTTR

Ficha de recolección MTTR			
Nombre de grua		Hoja	
Operación		Termino	
		Final	
		Tiempo transcurrido	
		Operario	
Comentarios		Ficha numero	
		Observado por	
		Fecha	
	Horas de mantenimiento	Numero de Fallas	OBS
Dia 1			
Dia 2			
Dia 3			
Dia 4			
Dia 5			
Dia 6			
Dia 7			
Dia 8			
Dia 9			
Dia 10			
Dia 11			
Dia 12			
Dia 13			
Dia 14			
Dia 15			
Dia 16			
Dia 17			
Dia 18			
Dia 19			
Dia 20			
Dia 21			
Dia 22			
Dia 23			
Dia 24			
Dia 25			
Dia 26			
Dia 27			
Dia 28			
Dia 29			
Dia 30			
NRO	MECÁNICOS / ELÉCTRICISTAS	SUPERVISOR	
1		 COSMOS BELARDO VASQUEZ CALDAS Supervisor de Mantenimiento - OLI	
2			
3			
4			
5			

ANEXO n.º 4. Cartilla de mantenimiento integral

		CARTILLA DE MANTENIMIENTO		
TIPO DE MANTENIMIENTO: MPI		HORÓMETRO:		
CÓDIGO DEL EQUIPO: G1,G2,G3,G4.		OPERADOR:		
MARCA / MODELO DE UNIDAD / AÑO : GROVE / RT9130E-2 / 2015		Nro de OT :		
FECHA/ HORA INICIAL:		INGRESÓ A LAVADERO : <input checked="" type="radio"/> SI <input type="radio"/> NO		
FECHA/ HORA FINAL:		MOTOR: CUMMINS QSC 8.3 N° SERIE :		
Nº	TAREAS GENERALES	✓	X	OBSERVACIONES
1	Sistema Eléctrico	Inspección de baterías, bornes, arnes eléctrico y terminales.		
2		Verificar funcionamiento de luces, alarmas y componentes eléctricos		
3		Verificar funcionamiento de tablero de instrumentos.		
4		Verificar funcionamiento del LMI, RCL; indicadores de estabilizadores.		
5		Verificar funcionamiento de sistemas de protección y bloqueo.		
6		Verificar arranque de la unidad		
7		Verificar carga de alternador		
8	Mangueras Hidráulicas	Inspección de mangueras y componentes hidráulicos		
9	Pluma (Boom)	Lubricar a través de los 8 puntos de engrase (pluma extendida)		
10	Pluma (Gancho)	Lubricar a través de los puntos de engrase del aparejo, poleas y bola.		
11	Pluma (Componentes de punta de boom)	Lubricar poleas, ejes, pivotes, rodillos y pasadores		
12	Maquina Completa	Revise niveles de fluidos de la unidad y motor		
13		Revise daños estructurales y fugas hidráulicas		
14	Estabilizadores	Lubricar vigas estabilizadores en la parte inferior y lateral		
15		Lubricar cilindro de las gatas de los estabilizadores		
16	Motor	Limpie válvula de descarga de filtro de aire		
17		Drene agua del filtro separador de agua - petróleo		
				0
TRABAJOS ADICIONALES REALIZADOS				

NRO	REPUESTOS Y CONSUMIBLES UTILIZADOS	UND	CANTIDAD	CODIGO	OBSERVACIÓN
1	TRAPO INDUSTRIAL	KG			
2	MOBILGREASE SPECIAL	KG			
3	ACEITE MOBIL DELVAC MX 15W40	GL			
4	MOBIL MINING COOLANT	GL			
5	MOBIL 80W 90	GL			
6	MOBILFLUID 424	GL			
7	MOBILGEAR 600XP 150	GL			
8	FILTRO DE ACEITE FLEETGUARD LF9009/LF9548/ DONALDSON P553000	UND			
9	FILTRO DE COMBUSTIBLE FLEETGUARD FF5580 / DONALDSON P550774	UND			
10	FILTRO SEPARADOR DE AGUA FLEETGUARD FS19732/ FS 1003	UND			
11	FILTRO DE AIRE PRIMARIO FLEETGUARD AF261224/ HIFI SA16547	UND			
12	FILTRO DE AIRE SECUNDARIO FLEETGUARD AF26125/ HIFI SA16548	UND			
13	FILTRO DE A/A 90018864	UND			
14	FILTRO DE REFRIGERANTE FLEETGUARD WF2074/ DONALDSON P552074	UND			
15	FILTRO DE TRANSMISIÓN FLEETGUARD HF6586/ DONALDSON P165705	UND			
16	FILTRO DE TANQUE HIDÁULICO 9437100849	UND			
17	FILTRO DE AIREACIÓN DE TANQUE HIDRÁULICO NP 9258100173	UND			
18					
NRO	MECÁNICOS / ELÉCTRICISTAS	SUPERVISOR DE MANTENIMIENTO			
1		 <p>COSMOS <i>Belardo Vasquez Caldas</i> BELARDO VASQUEZ CALDAS Supervisor de Mantenimiento - OLI</p>			
2					
3					
4					
5					

ANEXO n.º 5. Cartilla de mantenimiento

 CARTILLA DE MANTENIMIENTO				
TIPO DE MANTENIMIENTO: MP 250,500,1000,2000	HORÓMETRO:			
CÓDIGO DEL EQUIPO: G1,G2,G3,G4.	OPERADOR:			
MARCA / MODELO DE UNIDAD / AÑO : GROVE / RT9130E-2 / 2015	Nro de OT :			
FECHA/ HORA INICIAL:	INGRESÓ A LAVADERO : <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO			
FECHA/ HORA FINAL:	MOTOR: CUMMINS QSC 8.3 N° SERIE :			
Nº	TAREAS GENERALES	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	OBSERVACIONES
	Inspección de baterías, bornes, arnes eléctrico y terminales.			
	Verificar funcionamiento de luces, alarmas y componentes eléctricos			
	Verificar funcionamiento de tablero de instrumentos.			
	Verificar funcionamiento del LMI, RCL; indicadores de estabilizadores.			
Sistema Eléctrico	Verificar funcionamiento de sistemas de protección y bloqueo.			
	Verificar arranque de la unidad			
	Verificar carga de alternador			
	Inspeccionar conjunto de anillos y colector de swivel electrico			
	Escaneo general del equipo			
Mangueras Hidráulicas	Inspección de mangueras y componentes hidráulicos			
Malacate	Aplique grasa sobre guiador de cable			
Cable	Inspeccione cable, winche y poleas guías			
	lubricar la parte exterior e interior de pluma			
	Verificar desgaste de almohadillas laterales e inferiores			
Pluma (Boom)	Verificar holgura de almohadillas y cuerpos del boom			
	Lubricar a través de los 8 puntos de engrase (pluma extendida)			
Pluma (Gancho)	Lubricar a través de las puntos de engrase del aparejo, poleas y bola.			
Pluma (Componentes de punta de boom)	Lubricar poleas, ejes, pivotes, rodillos y pasadores			
	Revise niveles de fluidos de la unidad y motor			
Maquina Completa	Revise daños estructurales y fugas hidráulicas			
	Verificar presiones hidráulicas			
	Extraer muestra de aceite			
Deposito Hidráulico	Cambiar filtro de aireación de tanque hidráulico			
	Cambie el filtro hidráulico			
	lubricar todos los dientes del piñon impulsor y tornamesa			
	lubricar cojinete de tornamesa hasta que salga (en movimiento)			
Plataforma de Giro	lubricar rodillos de manguera hasta que salga			
	Verificar apriete de pernos de tornamesa			
	Cambie aceite de motor de giro			
Sistema de Frenos	Verificar Funcionamiento			
Calipers	Inspeccionar estado y funcionamiento			

Diferencial	Revise nivel			
Cubos planetarios y cojinetes de rueda	Revise nivel			
Transmisión, convertidor de par	Cambiar filtro de transmisión			
	Cambiar aceite			
Cardán - crucetas	Aplique grasa hasta que salga			
Dirección y suspensión	Engrasar pivote superior e inferior de cilindros de dirección			
	Engrasar pivote de quinta rueda			
	Engrasar pasadores de pivote de bloqueo			
	Engrasar pasadores de barra de acoplamiento			
Inclinación de cabina	Engrasar pasadores de pivote de inclinación y al bloque amortiguador			
Sistema Hidráulico	Aplique grasa por la junta giratoria de carrete de mangueras			
Deposito de combustible	Limpia respiradero			
	Lavar anualmente			
Neumáticos	Verificar estado y presión (85psi)			
Sistema de A/A	Verificar funcionalidad, limpiar. Cambiar filtro de ser necesario			
Malacate principal	Cambie aceite de malacate (Mobilgear 600XP 150)			
Malacate auxiliar	Cambie aceite de malacate (Mobilgear 600XP 150)			
Estabilizadores	Lubricar vigas estabilizadores en la parte inferior y lateral			
	Lubricar cilindro de las gatas de los estabilizadores			
Motor	Limpie válvula de descarga de filtro de aire			
	Revisar ductos del sistema de admisión			
	Revisar estado del ventilador			
	Cambio de faja de ventilador			
	Revisar la restricción del filtro de aire			
	Revisar conductos y tuberías del post enfriador de aire			
	Inspeccionar sistema de enfriamiento (fugas)			
	Revisar concentración de refrigerante de motor			
	Limpia colador de refrigerante			
	Revisar tapa de radiador			
	Revisar concentrador y mando de ventilar			
	Revisar templadores de fajas			
	Toma de muestras de aceite de motor			
	Cambiar aceite de motor 15W-40			
	Cambio de filtro de aceite			
	Cambio de filtro de petróleo			
	Cambiar filtro separador de agua-petróleo			
	Revisar filtro de aire primario, cambiar de ser necesario			
	Revisar filtro de aire secundario, cambiar de ser necesario			
	Bomba de inyección - Revisar flujo de retorno de combustible			
	Inyectores y conectores - Revisar flujo de retorno			
	Válvula relief - Revisar flujo de retorno			
	Revisar estado de tensor de faja de bomba de agua			
	Inspección de los soportes del motor			
	Inspección del alternador			
	Inspección de arrancador			
	Inspección de polea de motor (Damper)			
	Limpieza de conector eléctricos			
	Inspección de componentes eléctricos (conectores y actuadores)			
	Turbo alimentador (Verificación de juego axial y radial)			
	Revisar el montaje de la bomba de inyección			
	Calibración de válvulas (Reglaje)			

TRABAJOS ADICIONALES REALIZADOS					
NRO	REPUESTOS Y CONSUMIBLES UTILIZADOS	UND	CANTIDAD	CODIGO	OBSERVACIÓN
1	TRAPO INDUSTRIAL	KG			
2	MOBILGREASE SPECIAL	KG			
3	ACEITE MOBIL DELVAC MX 15W40	GL			
4	MOBIL MINING COOLANT	GL			
5	MOBIL 80W 90	GL			
6	MOBILFLUID 424	GL			
7	MOBILGEAR 600XP 150	GL			
8	FILTRO DE ACEITE FLEETGUARD LF9009/LF9548/ DONALDSON P553000	UND			
9	FILTRO DE COMBUSTIBLE FLEETGUARD FF5580 / DONALDSON P550774	UND			
10	FILTRO SEPARADOR DE AGUA FLEETGUARD FS19732/ FS 1003	UND			
11	FILTRO DE AIRE PRIMARIO FLEETGUARD AF261224/ HIFI SA16547	UND			
12	FILTRO DE AIRE SECUNDARIO FLEETGUARD AF26125/ HIFI SA16548	UND			
13	FILTRO DE A/A 90018864	UND			
14	FILTRO DE REFRIGERANTE FLEETGUARD WF2074/ DONALDSON P552074	UND			
15	FILTRO DE TRANSMISIÓN FLEETGUARD HF6586/ DONALDSON P165705	UND			
16	FILTRO DE TANQUE HIDÁULICO 9437100849	UND			
17	FILTRO DE AIREACIÓN DE TANQUE HIDRÁULICO NP 9258100173	UND			
18					
NRO	MECÁNICOS / ELÉCTRICISTAS	SUPERVISOR DE MANTENIMIENTO			
1		 <p>COSMOS AGENCIA MARITIMA S.A.S. BELARDO VASQUEZ CALDAS Supervisor de Mantenimiento - OLI</p>			
2					
3					
4					
5					

ANEXO n.º 6. Programa semanal de mantenimiento

COSMOS		PROGRAMA SEMANAL DE MANTENIMIENTO												
AGENCIA MARITIMA S.A.C.		Versión: 01					Página: 1 de 1							
AREA:		PROYECTO: OLI - MALVINAS					SEMANA:							
#	EQUIPO	MANTTO PREVENTIVO	MANTTO CORRECTIVO	FECHA	L	M	M	J	V	S	D	OT/SE	Descripcion:	Tiempo Aproximado:
1	G4			Prog.										
				Reali.										
2	G3			Prog.										
				Reali.										
3	G2			Prog.										
				Reali.										
4	G1			Prog.										
				Reali.										

MPI	MANTENIMIENTO PREVENTIVO INTEGRAL	Inspeccion, limpieza, lubricacion componentes, lev. Observac.
PM	MANTENIMIENTO PREVENTIVO - HORARIO	MP horario, ejecutado con frecuencia cada 250 hrs.
IN	INSPECCIÓN	Revision general del equipo.
MC	MANTENIMIENTO CORRECTIVO	Correcciones de anomalías presentadas en el equipo.

 BELARDO VASQUEZ CALDAS Supervisor de Mantenimiento - OLI SUPERVISOR DE MANTENIMIENTO OLI - COSMOS	
---	--

ANEXO n.º 7. Programación mantenimiento

 PROGRAMACION DE MANTENIMIENTO												
ITEM	EQUIPO	CODIGO	ULTIMO SERVICIO			PROXIMO SERVICIO ESTIMADO					DATOS ACTUALES	
			FECHA	KM/HRS	TIPO	FECHA	KM/HR/MILL	TIPO	ESTADO		FECHA	KM/HRS
17	GRUART9130	G-1	04/06/19	4504	PM2	04-09-21	4,754	PM3	Le faltan	24	17-06-21	4,730
18	GRUART9130	G-2	07/07/19	4753	PM2	22-09-23	5,003	PM3	Le faltan	134,5	17-06-21	4,869
19	GRUART9130	G-3	10/08/19	4999	PM4	04-10-22	5,249	PM5	Le faltan	103	17-06-21	5,146
20	GRUART9130	G-4	14/08/2019	4,508	PM8	27-08-21	4,758	PM1	Le faltan	24	17-06-21	4,734

ANEXO n.º 8. Programación de engrase

		PROYECCION DE ENGRASE - EQUIPOS OLI						
EQUIPO	CODIGO	ULTIMO ENGRASE		PROXIMO ENGRASE		HRS/KMS ACTUALES	HORAS o KM PARA EL ENGRASE	
		FECHA	HORAS	FECHA APROX	HORAS APROX	17-6		
18	GRUA RT 9130	G-1	24/06/19	4690	08/07/19	4740	4,730	10
19	GRUA RT 9130	G-2	02/07/19	4847	14/07/19	4897	4,869	29
20	GRUA RT 9130	G-3	29/07/19	5099	10/08/19	5149	5,146	3
21	GRUA RT 9130	G-4	30/07/19	4,716	11/08/19	4766	4,734	32

ANEXO n.º 9. Extensión del cable auxiliar



ANEXO n.º 10. Engrase los cajones de pluma de la grúa

