

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Industrial

"PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA REDUCIR LOS COSTOS DE OPERACIÓN DE EQUIPOS PESADOS EN UNA EMPRESA CONSTRUCTORA DE LA REGIÓN LA LIBERTAD, 2019"

Tesis para optar el título profesional de

Ingeniero Industrial

Autor:

Richard Guillermo López Rodríguez

Asesor:

Ing. Jorge Luis Alfaro Rosas

DEDICATORIA

A Dios por estar conmigo en cada paso que
doy, por fortalecer mi corazón e iluminar
mi mente para llegar hasta este momento
tan importante de mi formación
profesional.

A mi familia por el
apoyo que me brinda.

AGRADECIMIENTO

A mi tío Julio César López Asmat, por todos sus consejos y enseñanzas impartidas.

¡Gracias Tío, bendiciones para usted y su familia!

A mi amigo Carlos Mantilla por apoyarme en realizar este trabajo. Y especialmente a mis amigos Luis Moya y Rossana Escobar por brindarme sus ánimos en todo momento.

¡Gracias amigos!

A los docentes de la carrera de Ingeniería Industrial de la universidad que contribuyeron en mi formación profesional. Especialmente a mi asesor, Ing. Jorge Luis Alfaro Rosas, por todo el apoyo brindado durante la elaboración de este trabajo.

PRESENTACIÓN

Señores Miembros del Jurado:

De conformidad y cumpliendo lo estipulado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada del Norte, para Optar el Título Profesional de Ingeniero Industrial, pongo a vuestra consideración la presente investigación titulada:

**“PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA REDUCIR LOS
COSTOS DE OPERACIÓN DE EQUIPOS PESADOS EN UNA EMPRESA CONSTRUCTORA DE
LA REGIÓN
LA LIBERTAD, 2019”**

El presente trabajo ha sido desarrollado durante los meses de junio a octubre del 2020, y esperamos que el contenido de este estudio sirva de referencia para otros Proyectos o Investigaciones.



Bach. Richard G. López Rodríguez

LISTA DE MIEMBROS DE EVALUACIÓN DE LA TESIS

Jurado 1

Ing. Oscar Alberto Goicochea Ramírez

Jurado 2

Ing. Miguel Alcalá Adrianzén

Jurado 3

Ing. Julio César Cubas Rodríguez

Jurado 4

Ing. Danny Stephan Zelada Mosquera

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
PRESENTACIÓN	4
LISTA DE MIEMBROS DE EVALUACIÓN DE LA TESIS	5
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FÍGURAS	9
ÍNDICE DE ECUACIONES	11
RESUMEN	12
ABSTRACT	13
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	14
1.1. Realidad Problemática	14
1.2. Antecedentes de la investigación	16
1.3. Bases teóricas	20
<i>¿Qué es Mantenimiento?</i>	20
<i>Gestión del Mantenimiento</i>	20
<i>Importancia del Mantenimiento</i>	23
<i>Tipos de Mantenimiento</i>	23
<i>Índices de Clase Mundial</i>	26
<i>Costes de operación</i>	28
1.4. Formulación del problema	33
1.5. Objetivos	33
1.6. Hipótesis	34
1.7. Operacionalización de las variables	35
CAPÍTULO II. MÉTODO	36
2.1. Tipo de investigación	36
2.2. Población y muestra	37
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos	41
2.4. Fases para el desarrollo del trabajo de investigación	48
CAPÍTULO III. RESULTADOS	52
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	153
REFERENCIAS	162
ANEXOS	170

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Resumen de costo de operación de 6 equipos pesados en una empresa constructora de la región La Libertad 2018</i>	16
Tabla 2 <i>Operacionalización de las variables</i>	35
Tabla 3 <i>Inventario de la flota de equipos pesados en una empresa constructora de la región La Libertad 2018</i>	38
Tabla 4 <i>N° de fallas por equipo pesado en el 2018</i>	39
Tabla 5 <i>Técnicas e instrumentos de recolección de datos</i>	41
Tabla 6 <i>Causas raíces que generan costos de operación elevados de equipos pesados en una empresa constructora de la región La Libertad 2018</i>	60
Tabla 7 <i>Indicadores de las causas raíces de los problemas</i>	62
Tabla 8 <i>Matriz resumen de indicadores de variables</i>	64
Tabla 9 <i>Fallas según tipo de componente</i>	67
Tabla 10 <i>Incidencia de las fallas en equipos pesados según tipo de componente</i>	69
Tabla 11 <i>Tiempo medio entre falla actual por equipo pesado</i>	71
Tabla 12 <i>Tiempo medio para reparación actual de equipos pesados</i>	75
Tabla 13 <i>Cálculo de horas de reparación actuales de equipos pesados</i>	77
Tabla 14 <i>Costo actual de mano de obra de operadores</i>	78
Tabla 15 <i>Costo actual de mano de obra de mecánicos</i>	78
Tabla 16 <i>Costo actual de mano de obra de sobretiempo</i>	79
Tabla 17 <i>Costo actual de materiales de operación</i>	80
Tabla 18 <i>Costo actual de materiales de mantenimiento</i>	81
Tabla 19 <i>Costo actual de depreciación</i>	81
Tabla 20 <i>Costo actual de servicios prestados por terceros</i>	81
Tabla 21 <i>Costo total actual de elementos que intervienen en mantenimientos</i>	82
Tabla 22 <i>Horas totales actuales de operación de equipos pesados</i>	83
Tabla 23 <i>Determinación del costo total de operación actual por reparación de 6 equipos pesados en una empresa constructora de la región La Libertad 2018</i>	83
Tabla 24 <i>Disponibilidad actual por equipo pesado</i>	83
Tabla 25 <i>Clasificación ABC de repuestos</i>	90
Tabla 26 <i>Repuestos clasificación "A"</i>	92
Tabla 27 <i>Número de servicios de mantenimiento para tractores de cadenas</i>	92
Tabla 28 <i>Plan Maestro de Servicios Mensual</i>	93
Tabla 29 <i>Plan Maestro de Servicios Semanal</i>	94
Tabla 30 <i>Programa de Pedidos Planeados: repuestos para servicios de mantenimiento</i>	96
Tabla 31 <i>Temario de capacitación al personal</i>	117
Tabla 32 <i>Tiempo medio entre falla mejorado por equipo pesado</i>	121
Tabla 33 <i>Tiempo medio para reparación mejorado de equipos pesados</i>	128
Tabla 34 <i>Cálculo de horas de reparación mejoradas de equipos pesados</i>	130
Tabla 35 <i>Costo mejorado de mano de obra de operadores</i>	133
Tabla 36 <i>Costo mejorado de mano de obra de mecánicos</i>	133
Tabla 37 <i>Costo mejorado de mano de obra de sobretiempo</i>	134
Tabla 38 <i>Costo mejorado de materiales de operación</i>	135
Tabla 39 <i>Costo mejorado de materiales de mantenimiento</i>	135
Tabla 40 <i>Costo mejorado de depreciación</i>	136
Tabla 41 <i>Costo mejorado de servicios prestados por terceros</i>	136
Tabla 42 <i>Costo total mejorado de elementos que intervienen en mantenimientos</i>	137
Tabla 43 <i>Horas totales mejoradas de operación de equipos pesados</i>	137
Tabla 44 <i>Determinación del costo total de operación mejorado por reparación de 6 equipos pesados en una empresa constructora de la región La Libertad 2019</i>	141
Tabla 45 <i>Disponibilidad mejorada por equipo pesado</i>	141

Tabla 46 <i>Beneficio de la propuesta del plan de mantenimiento preventivo para equipos pesados</i>	144
Tabla 47 <i>Diferencia de muestras pareadas entre el costo de operación antes y el costo de operación después de cada equipo pesado</i>	146
Tabla 48 <i>Prueba de normalidad de los costos de operación de equipos pesados con contraste de Shapiro Wilk</i>	147
Tabla 49 <i>Cálculo de ingresos de operación actuales por alquiler de equipos pesados</i>	149
Tabla 50 <i>Cálculo de ingresos de operación mejorados por alquiler de equipos pesados</i>	150

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Modelo del proceso de gestión de mantenimiento.....	22
Figura 2. Tiempo medio entre fallas.....	27
Figura 3. Tiempo medio para reparación.	27
Figura 4. Disponibilidad de equipos sometidos a reparación de fallas.	28
Figura 5. Consumos energéticos.	29
Figura 6. Consumos secundarios.	30
Figura 7. Consumos secundarios.	30
Figura 8. Diagrama de Pareto del número de fallas por equipo pesado.	40
Figura 9. Cronograma del proyecto.....	50
Figura 10. Ubicación de la empresa en estudio, región La Libertad, Perú.	53
Figura 11. Servicio brindado por la empresa.	54
Figura 12. Obras de ingeniería desarrolladas por la empresa.	54
Figura 13. Obras de construcción desarrolladas por la empresa.	55
Figura 14. Mejoramiento de accesos desarrollados por la empresa.....	56
Figura 15. Clientes de la empresa.	56
Figura 16. Organigrama de la empresa en estudio.	57
Figura 17. Diagrama de Ishikawa para resolver problemas.....	59
Figura 18. Diagrama de Pareto ABC de causas raíces.	61
Figura 19. Fallas en tractores de cadenas según tipo de componente.	68
Figura 20. Porcentaje de fallas en tractores de cadenas según tipo de componente.	70
Figura 21. Tiempo medio entre falla actual.....	72
Figura 22. Tasa de falla actual.....	73
Figura 23. Flujograma de mantenimiento actual.....	74
Figura 24. Tiempo medio para reparación actual.....	76
Figura 25. Disponibilidad actual.....	84
Figura 26. Programa de mantenimiento para tractores de cadenas.....	86
Figura 27. Mantenimiento de lubricación en tractores de cadenas.....	87
Figura 28. Mantenimiento mecánico en tractores de cadenas.....	88
Figura 29. Mantenimiento eléctrico en tractores de cadenas.....	89
Figura 30. Clasificación ABC de repuestos en tractores de cadenas.....	91
Figura 31. Descomposición del servicio de mantenimiento en tractores de cadenas.....	95
Figura 32. Mantenimiento de lubricación a 250 horas en tractores de cadenas.....	97
Figura 33. Mantenimiento de lubricación a 500 horas en tractores de cadenas.....	98
Figura 34. Mantenimiento de lubricación a 1000 horas en tractores de cadenas.....	98
Figura 35. Mantenimiento de lubricación a 2000 horas en tractores de cadenas.....	99
Figura 36. Filtros a utilizar en mantenimiento de lubricación.....	100
Figura 37. Mantenimiento mecánico tractores de cadenas.....	101
Figura 38. Mantenimiento eléctrico tractores de cadenas.....	102
Figura 39. Diagrama de actividades del mantenimiento preventivo.....	104
Figura 40. Planner de mantenimiento de equipos pesados.....	105
Figura 41. Formato de reporte de fallas.....	107
Figura 42. Orden de trabajo de mantenimiento.....	108
Figura 43. Formato de check list de mantenimiento lubricación.....	110
Figura 44. Formato de check list de mantenimiento mecánico.....	112
Figura 45. Formato de check list de mantenimiento eléctrico.....	112
Figura 46. Formato de historial de mantenimientos.....	113
Figura 47. Formato de control de combustible.....	114
Figura 48. Hoja de mantenimiento diaria a cargo del operador.....	116

Figura 49. Plan de capacitación en mantenimiento de maquinaria pesada.	118
Figura 50. Plan de capacitación en formación y operación de tractor de cadenas.	119
Figura 51. Plan de capacitación en mantenimiento autónomo.	120
Figura 52. Tiempo medio entre falla mejorado.	122
Figura 53. Tasa de falla mejorada.	123
Figura 54. Comparación de tiempo medio entre falla.	124
Figura 55. Comparación de tasa de falla.	125
Figura 56. Flujograma de abastecimiento de repuestos.	126
Figura 57. Flujograma de mantenimiento mejorado.	127
Figura 58. Tiempo medio para reparación mejorado.	129
Figura 59. Comparación de tiempo medio para reparación.	130
Figura 60. Comparación de horas de reparación.	132
Figura 61. Comparación costo total de operación.	138
Figura 62. Comparación del costo horario.	139
Figura 63. Comparación de horas de operación de equipos pesados.	140
<i>Figura 64.</i> Disponibilidad mejorada.	142
Figura 65. Comparación de disponibilidad.	143
Figura 66. Relación de costos después de mejora vs. antes de mejora.	145
Figura 67. Prueba de normalidad de costos de operación de equipos pesados.	148
Figura 68. Estado de resultados actual.	150
Figura 69. Estado de resultados mejorado.	151
Figura 70. Comparación de utilidad bruta.	152
Figura 71. Comparación horas de reparación y costos horarios.	156
Figura 72. Comparación de costos de operación por reparación.	157
Figura 73. Comparación de cantidad de fallas.	157

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Esquema de experimentos y variables.....	36
Ecuación 2. Estudio de caso con una sola medición.....	37

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo principal reducir los costos de operación de equipos pesados en una empresa constructora de la región La Libertad mediante la propuesta de un plan de mantenimiento preventivo. En primer lugar, se hizo un diagnóstico de la situación actual del área de mantenimiento de la empresa en estudio, el cual permitió identificar las principales causas raíces que tienen mayor impacto en los costos de operación de equipos pesados. Luego de identificar las causas se diseñó y aplicó dentro de la propuesta, herramientas de mejora como: Programa de Mantenimiento, Plan de Requerimiento de Materiales, Hoja de Ruta de Mantenimiento, Diagrama de Operaciones, Contratación de un Planner de Mantenimiento, Confección de Formatos de Control y Plan de Capacitación; las cuales ayudaron a reducir los costos de operación de la empresa en un 62.26%, generando un beneficio de S/ 605,234.46 soles. Posteriormente, se evaluó la viabilidad económica del proyecto, obteniendo un aumento de utilidad bruta de S/ 51,820.36 soles anuales. De esta manera se concluye que la propuesta es viable para una empresa constructora de la región La Libertad.

Palabras clave: Mantenimiento Preventivo, Costos de Operación.

ABSTRACT

The present of this work has as a main objective to reduce the operating costs of heavy equipment in a construction company in La Libertad region by the proposal of a preventive maintenance plan. In the first place, a diagnosis was made of the current situation of the maintenance area of the company in study, which allowed to identify the main causes that have greater impact on the operating costs of heavy equipment. After identifying these causes, improvement tools were designed and applied within the proposal, such as: Maintenance Program, Material Requirement Plan, Maintenance Roadmap, Operations Diagram, Hiring of a Maintenance Planner, Preparation of Formats of Control and Training Plan; which helped reduce the company's operating costs by 62.26%, generating a profit of S/ 605,234.46 soles.

Subsequently, the economic viability of the project was evaluated, obtaining an increase in gross profit of S/ 51,820.36 soles per year.

In this way, it is concluded that the proposal is viable for a construction company in La Libertad region.

Keywords: Preventive Maintenance, Operating Costs.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad Problemática

Con el transcurrir del tiempo las obras de construcción se han vuelto más estrictas y difíciles debido al avance de la sociedad. Ante ello, la ingeniería mecánica ha inventado equipos sofisticados llamados "Maquinarias Pesadas" con la finalidad de apoyar en las actividades de este sector y así cumplir con las exigencias de la población. Entre las actividades que se efectúan con estas máquinas tenemos: construcción de edificaciones, vías, e incluso proyectos que desafían la capacidad de los profesionales de esta rama, como, por ejemplo: túneles, puentes y presas. Por tanto, sin el apoyo de estas unidades, los proyectos de construcción de hoy no se desarrollarían (Castañeda, 2018, párr.2). "Utilizar adecuadamente esta maquinaria es importante tanto para la realización de las obras de construcción, así como para determinar los costos y tiempos que dura la obra. Ya que representan la mayor parte del capital de una empresa constructora" (Castañeda, 2018, párr.6).

El último análisis internacional al sector construcción pronostica que la producción mundial aumentaría en un 85% hasta el 2030, creciendo US\$8,000 millones para alcanzar US\$15,500 millones; impulsado principalmente por el crecimiento de China, India y Estados Unidos, el cual representa el 57%. Esto a su vez está atrayendo la demanda de plantas y maquinaria nuevas y usadas en estos tres mercados, que son seguidos de cerca por Indonesia, Reino Unido, México, Canadá y Nigeria. El pronóstico también dice que para el año 2025 Reino Unido será el mercado más grande de Europa, impulsado principalmente por mega proyectos de infraestructura a medio y largo plazo, superando a Alemania y convirtiéndose en el sexto mercado de construcción más grande del mundo. (Pedrosa, 2016, párr.2)

"En el Perú, hubo un aumento de 5.6% en el Producto Bruto Interno del sector construcción desde enero hasta noviembre del 2018" (Cámara Peruana de la Construcción, 2019, párr.1). Asimismo, se prevé que los segmentos con mayor actividad para el año 2019 serán la construcción de infraestructuras e inmobiliario con un 6.4% y 5.4% respectivamente. No obstante; habrá menor ejecución de obras públicas a causa de la poca inversión por parte del Estado. (Cámara Peruana de la Construcción, 2019, párr.5)

El Diario El comercio (2018) afirma lo siguiente "en una entrevista concedida a los ejecutivos de Ferreyros y Komatsu Mitsui se comunica que después de un tiempo de crisis, el mercado de equipos pesados ha comenzado a recuperarse gracias al resurgimiento económico de la minería y construcción" (párr.1). "Es así que Ferreyros está vendiendo camiones CAT 797F o 980E para minería superficial" (Diario El Comercio, 2018, párr.2).

"En tanto que, en minería subterránea se están necesitando cargadores de bajo perfil debido a que utilizan poco combustible y generan más producción" (Diario El Comercio, 2018, párr.3). "Por otro lado, gracias a la reactivación del sector construcción se están solicitando en Komatsu diversas máquinas como tractores de orugas, excavadoras, cargadores frontales, rodillos compactadores y motoniveladoras" (Diario El Comercio, 2018, párr.4).

En el 2019 se registró en La Libertad una recuperación del sector construcción luego de cinco años de desaceleración. El crecimiento fue de 20.9% respecto al año anterior sostuvo la oficina de información empresarial de la Cámara de Comercio de La Libertad (CCLL) (Diario La República, 2020, párr.1).

Ello, debido a la ejecución de proyectos inmobiliarios principalmente en las urbanizaciones de California, El Galeno y El Golf; obras públicas vinculadas a la rehabilitación y recuperación de la transitabilidad, obras de transporte y servicios básicos como luz, agua potable y alcantarillado (Diario La República, 2020, párr. 2). Felipe Carrión, presidente del

Comité Gremial de Industria de la Construcción y empresas de la CCLL, manifestó que si bien La Libertad destaca por su potencial agrícola es necesario resaltar también los avances de la construcción y su aporte al desarrollo de la región (Diario La República, 2020, párr. 6). "La Libertad tiene la particularidad de que el sector agrícola y sus exportaciones han contribuido con el crecimiento del Producto Bruto Interno regional y, por lo tanto, también conlleva a una importante inversión en el sector construcción año a año, a través de obras civiles como canales, almacenes, reservorios, oficinas, etc.", expresó. (Diario La República, 2020, párr. 7)

Una empresa constructora de la región La Libertad dedicada al alquiler de equipos pesados, tiene costos de operación elevados que ascienden a S/ 1,603,744.75 soles; debido a la falta de un plan de mantenimiento preventivo para sus tractores de cadenas que les posibilite reducir las fallas, así como desarrollar actividades de mantenimiento programadas que ayuden a incrementar las horas operadas en las obras de construcción que desarrollan.

Tabla 1
Resumen de costo de operación de 6 equipos pesados en una empresa constructora de la región La Libertad 2018

Costo de operación de 6 equipos pesados
S/ 1,603,744.75

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 1 se aprecia que una empresa constructora de la región La Libertad tiene un costo de operación por un valor de S/ 1,603,744.75 soles; el cual se considera que es elevado debido a que sus tractores de cadenas no cuentan con un plan de mantenimiento preventivo.

1.2. Antecedentes de la investigación

Antecedentes Internacionales

“Diseño del plan de mantenimiento preventivo para maquinaria pesada del gobierno autónomo descentralizado del Cantón Baños de Agua Santa”. Olivo J. (2018). Universidad Tecnológica Indoamérica, Ecuador.

En este trabajo se realizó un estudio a las maquinarias pesadas del gobierno autónomo descentralizado del Cantón Baños de Agua Santa, concluyendo que el mantenimiento que practicaban en las mismas era por experiencia, causando diversas paradas imprevistas en jornadas de trabajo y sobrecostos de reparación. También se comprobó que las máquinas tenían una disponibilidad media de 69.16% y costos de reparación por US\$9,409.00 dólares. En tal sentido, se propuso planificar el mantenimiento teniendo en consideración Normas COVENIN 2500-93 y NTP 679, las cuales plantean usar diversas actividades relacionadas al mantenimiento. Como resultado, se optimizó la disponibilidad media en 72.17%, y se redujo los costos de reparación a US\$7,448.00 dólares.

“Propuesta de un plan de mantenimiento para maquinaria pesada de la empresa minera Dynasty Mining del cantón Portovelo”. Maldonado H. y Sigüenza L. (2012). Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, Ecuador.

Esta investigación tiene como propósito reducir los costos de parada por reparación de la maquinaria de la compañía Dynasty Mining. Por tal motivo, se elaboró un plan de mantenimiento planificado para las máquinas que incluya una adecuada organización del lugar donde se efectúan las reparaciones, un control de stock de repuestos en bodega y reducción de tiempos de para. Al final, se cotejó los resultados que se consiguieron en la máquina Scoot JCI 250M. Siendo en un período mensual 15 horas de para a un valor de US\$900.00 dólares por hora con el sistema real de la compañía, mientras que con el plan 5 horas de para a valor de US\$251.30 dólares por hora. Logrando de esa manera reducir 10 horas de parada por reparación y costos por hora por valor de US\$648.70 dólares al mes.

Antecedentes Nacionales

“Plan de mejora en la gestión de mantenimiento para reducción de costos y optimización de períodos de cambio y requerimientos de filtros y aceites para los equipos pesados de la empresa Johe S.A”. Apolinario P. (2017). Universidad Tecnológica del Perú, Lima.

En esta tesis se puede ver que las actividades mantenimiento de la compañía Johe S.A eran muy desordenadas y no contaba con personal supervisor, provocando que sus cargadores frontales y volquetes tengan paradas innecesarias para reparación y origen elevados costos de operación. Para solucionar esto, se diseñó un plan de mantenimiento preventivo en las unidades que consistió en poner en marcha el uso de un programa en Excel que controle cada unidad y los materiales que se utilizan en las actividades de mantenimiento; además se contrató un asistente que supervise las tareas de cuidado y capacite al personal del área. Al final, se comparó los costos de operación en las unidades siendo antes de llevar a cabo el plan US\$555,812.86 dólares y luego US\$459,305.67 dólares. Consiguiendo un beneficio de US\$96,507.19 dólares y menos paradas innecesarias.

“Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo planificado de máquinas y equipos, para incrementar la rentabilidad en Consorcio A&A S.R.L”. Añazco J. y Salazar L. (2016). Universidad Privada del Norte, Cajamarca.

En esta investigación se pudo ver que las labores de mantenimiento en las unidades de esta empresa se realizaban sin planificación, ocasionando reducción de sus desempeños y baja productividad, así como aumento en costos operacionales de mantenimiento. Por esa razón se sugirió un plan de mantenimiento preventivo que planifique las labores de

mantenimiento, contar con disposición de materiales para atender averías y capacitar a los colaboradores de esa área. Finalmente, se comparó los resultados obtenidos en el cargador frontal 966H CAT, siendo su costo operacional de mantenimiento antes del plan S/ 36,166.56 soles al año. Mientras que con el plan S/ 32,299.80 soles anuales. Generando ahorros de S/ 3,866.76 soles al año, así como reducción de los tiempos para atender averías e incremento de productividad.

Antecedentes Locales

"Plan de mantenimiento preventivo para reducir los costos de operación en los equipos Trackle Scoop LH203 de la compañía minera Poderosa S.A". Vergaray W. (2018). Universidad Nacional de Trujillo.

En este estudio se propone mejorar el mantenimiento a la flota de equipos Trackless (Dumpers, Jumbos y Scooptrams) de compañía minera Poderosa S.A; y así reducir sus costos operativos afectados por fallas de desgaste. Por esta razón se implementó un plan de mantenimiento para aminorar las fallas haciendo uso de una matriz de criticidad y detección de fallas; y de una programación y control de las actividades de mantenimiento. De esa manera se logró reducir las fallas y los costos operativos. Siendo los mismos sin implementación de US\$241,800.00 dólares; y con implementación US\$50,371.20. Generando un beneficio de US\$191,428.80 dólares anuales.

"Diseño de un programa de mantenimiento preventivo basado en el riesgo para aumentar la disponibilidad y reducir los costos de operación del pool de maquinaria pesada de la municipalidad de Rioja". Paz E. (2015). Universidad César Vallejo, Trujillo.

En este estudio se elaboró un mantenimiento preventivo basado en el riesgo para mejorar la disponibilidad y disminuir costos operacionales en 13 equipos pesados de la municipalidad de Rioja. Inicialmente se evaluó el estado de los mismos descubriéndose que

tenían 146 fallas mecánicas que ocasionaban pérdidas de 895 horas de operación a un costo de S/ 210,050.00 soles al año. Es así que con el planteamiento de un mantenimiento preventivo basado en el riesgo que se apoya en el AMEF; se redujo las fallas en un 50% (73 fallas), así como las horas de operaciones perdidas en 447.50 y su costo a S/ 105,025.00 soles. De esa manera mejoró la disponibilidad y se generó un beneficio económico de S/ 105,025.00 soles anuales.

1.3. Bases teóricas

¿Qué es Mantenimiento?

“Definimos habitualmente mantenimiento como el conjunto de técnicas destinado a conservar equipos e instalaciones en servicio durante el mayor tiempo posible (buscando la más alta disponibilidad) y con el máximo rendimiento” (García, 2003, p.1).

Gestión del Mantenimiento

Heyel (1984) señala que:

Para lograr unos costes óptimos de conservación y reparación, la función de mantenimiento debe integrar cinco factores importantes. Estos factores son:

- Organización. Normalmente, el mantenimiento está dirigido por un director asistido por varios ingenieros y especialistas. Estos asistentes ayudan en la planificación del trabajo, programación de las tareas y estimación de los costes, y también proporcionan asesoramiento técnico y de ingeniería. El director está respaldado por una serie de supervisores, organizados generalmente por especialidades o departamentos. A su vez,

estos supervisores dirigen un equipo de empleados por horas con distintos niveles de especialización.

- Políticas. La calidad del mantenimiento depende en gran medida de la adecuación de su organización a los problemas técnicos que se presenten en la planta o fábrica. Al principio, por ejemplo, la dirección debe escoger entre un mantenimiento centralizado y uno descentralizado (o por tarea). El primero proporciona un mayor control, mientras que el segundo tiene la ventaja de la especialización y la velocidad.
- Herramientas y equipos. El grupo de mantenimiento debería estar bien equipado para su tarea como un departamento de producción. Por ejemplo, necesita: (1) servicio de almacenaje puesto al día para los suministros y las piezas de repuesto; (2) un taller equipado con máquinas, herramientas y equipos con soldadura y de corte de primera clase; (3) equipo para el desplazamiento del material compuesto por camiones, carretillas automotrices, grúas, etc.; (4) una amplia gama de herramientas de mano mecánicas y (5) equipo de comunicaciones eficaz, tal como sistemas portátiles de comunicación y similares.
- Procedimientos. El desarrollo de la gestión y los procedimientos de control del mantenimiento sigue el mismo camino que la producción. Un departamento de mantenimiento bien llevado deberá tener un sistema ordenado de demanda de servicios, emplear controles de material y mano de obra, así como conservar historiales de las reparaciones del equipo y de los costes de reparación. Trabjará con presupuestos y utilizará procedimientos de contabilidad de costes, comprobará la actividad mediante muestras del trabajo y medirá el rendimiento mediante datos de tiempos estándar, considerará la posible aplicación de incentivos, mejorará la eficacia y reducirá los costes a través del estudio de métodos, la simplificación del trabajo, estudios estadísticos y

similares. También atenderá la formación de nuevos especialistas y la puesta al día del personal antiguo.

- Valoración del rendimiento. El mantenimiento, como todas las operaciones, debe enfrentarse con una valoración regular y realista de los resultados. Esto significa (1) comparar las tendencias en el coste de mantenimiento por unidad producida; (2) registrar la historia de la utilización de la maquinaria; (3) examinar el estado de las demandas de servicios pendientes; y (4) realizar inspecciones del funcionamiento de la planta y de las condiciones en que se encuentran sus instalaciones. (pp. 688-689)

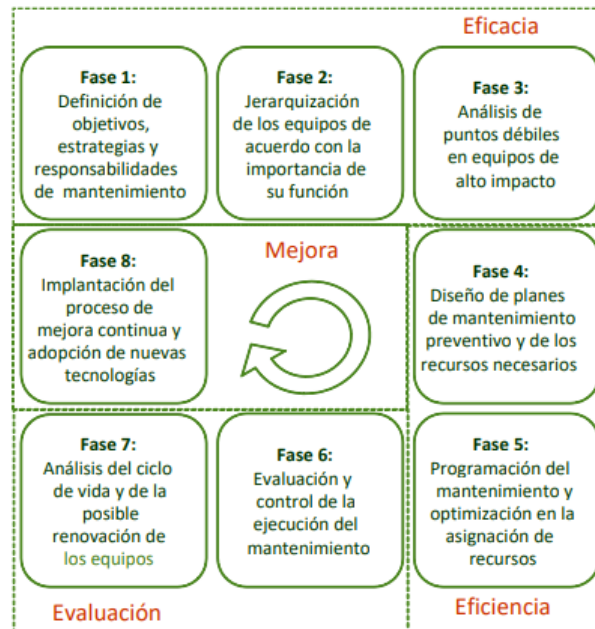


Figura 1. Modelo del proceso de gestión de mantenimiento.

Fuente: Crespo, 2007.

Importancia del Mantenimiento

García (2012) menciona que:

La importancia del mantenimiento, nació de observar que todo equipo sufre, por una gran diversidad de causas, deterioro o desgaste, que es fundamentalmente de tres tipos:

- Normal: debido a causas como la presión, movimiento o velocidad de operación, corrosión, fatiga, temperatura, vibraciones, etc.
- Anormal: debido a descuido, golpes, sobrecarga de trabajo o mala operación.
- Accidental: debido a múltiples causas, incontrolables, naturales o meteorológicas, u otras improgramables conocidas como accidentes. (p.19)

Tipos de Mantenimiento

Gómez (1998) afirma que:

Aunque podrían establecerse diferentes clasificaciones del mantenimiento, atendiendo a las posibles funciones que se le atribuyan a éste, así como a la forma de desempeñarlas, tradicionalmente se admite una clasificación basada más en un enfoque metodológico o filosofía de planteamientos, que, en una mera relación de particularidades funcionales asignadas, que como se ha visto depende de muy diversos factores. Desde esta perspectiva, pueden distinguirse los siguientes tipos de mantenimiento: (p.25)

Mantenimiento Correctivo

Este tipo de mantenimiento, también llamado mantenimiento "a rotura" (breakdown maintenance), sólo se interviene en los equipos cuando el fallo ya se ha producido. Se trata,

por tanto, de una actitud pasiva, frente a la evolución del estado de los equipos, a la espera de la avería o fallo. (Gómez, 1998, p.25)

Mantenimiento Preventivo

Gómez (1998) menciona lo siguiente:

Como ya se ha indicado, la finalidad última del mantenimiento industrial es asegurar la disponibilidad de los equipos e instalaciones industriales, para obtener un rendimiento óptimo sobre la inversión total, ya sea de los sistemas de producción, como de los equipos y recursos humanos destinados al mantenimiento de los mismos.

El mantenimiento preventivo supone un paso importante para este fin, ya que pretende disminuir o evitar en cierta medida la reparación mediante una rutina de inspecciones periódicas y la renovación de los elementos deteriorados, lo que se conoce como "las tres erres del mantenimiento". Si la segunda y la tercera no se realizan, la primera es inevitable.

En las inspecciones se procede al desmontaje total o parcial de la máquina con el fin de revisar el estado de sus elementos, reemplazando aquellos que se estime oportuno a la vista del examen realizado. Otros elementos son sustituidos sistemáticamente en cada inspección, tomando como referencia el número de operaciones realizadas o un determinado período de tiempo de funcionamiento.

El éxito de este tipo de mantenimiento depende de la correcta elección del período de inspección. Un período demasiado largo conlleva el peligro de la aparición de fallos entre dos inspecciones consecutivas, en tanto que un período demasiado corto puede encarecer considerablemente el proceso productivo.

El equilibrio se encuentra como solución de compromiso entre los costes procedentes de las inspecciones y los derivados de las averías imprevistas. Si bien los primeros pueden ser

suficientemente cuantificados, la evaluación de los segundos no es tarea fácil, por lo que la determinación del punto de equilibrio aludido es difícil y suele ajustarse en función de la propia experiencia.

Un tipo de mantenimiento que también puede considerarse preventivo es aquel, sin llegar al desmontaje de los equipos, se ocupa de forma periódica de realizar las tareas propias de lo que se suele llamar entretenimiento de los equipos, es decir, engrase y cambio de lubricantes, limpieza, sustitución periódica de ciertos elementos vitales del equipo, etc.
(p.27)

Mantenimiento Predictivo

El mantenimiento predictivo, también conocido como mantenimiento según estado o según condición, surge como respuesta a la necesidad de reducir los costes de los métodos tradicionales, correctivo y preventivo de mantenimiento. La idea básica de esta filosofía de mantenimiento parte del conocimiento del estado de los equipos. De esta manera es posible, por un lado, reemplazar los elementos cuando realmente no se encuentren en buenas condiciones operativas, suprimiendo las paradas por inspección innecesarias y, por otro lado, evitar las averías imprevistas, mediante la detección de cualquier anomalía funcional y el seguimiento de su posible evolución.

La aplicación del mantenimiento predictivo se apoya en dos pilares fundamentales:

- La existencia de parámetros funcionales indicadores del estado del equipo.
- La vigilancia continua de los equipos.

Sin embargo, una cosa es lo que predica la filosofía del mantenimiento predictivo y otra lo que realmente se puede esperar de su puesta en práctica. (Gómez, 1998. pp. 28-29)

Mantenimiento Productivo Total

Aunque esta denominación (Total Productive Maintenance, TPM) surge y se desarrolla en Japón con un enfoque cercano al análisis de calidad de la producción y de estudios de rendimiento, lo cierto es que su difusión ha ido alterando la idea original hasta el punto que no existe una definición universal precisa para este tipo de mantenimiento, tampoco existe, incluso, demasiado acuerdo sobre la designación más apropiada que debe tener. En cualquier caso, con el Mantenimiento Productivo Total (MPT) se intenta recoger y aplicar las tendencias más recientes en cuanto a la planificación participativa integral de todas las tareas del mantenimiento, incluyendo las técnicas utilizadas y su gestión, la administración del mantenimiento, el control de los distintos índices asociados al funcionamiento de los equipos y al conjunto de las instalaciones (fiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad), la calidad de la producción y, finalmente, su repercusión en la economía de la empresa. Por tanto, esta filosofía de mantenimiento implica a todos los estamentos y niveles de la producción, con una estructura de planificación jerárquica que, partiendo de los objetivos últimos de la explotación, vaya desglosándose en tareas concretas hasta llegar al operador y a las actuaciones específicas sobre cada máquina y componente de las instalaciones. (Gómez, 1998, pp. 29-30)

Índices de Clase Mundial

Tavares (2000) define que:

Son llamados "índices de clase mundial" aquellos que son utilizados según la misma expresión en todos los países. De los seis "índices de clase mundial", tres son los que se refieren al análisis de la gestión de equipos, de acuerdo con las siguientes relaciones: (p. 52)

Tiempo medio entre fallas. Relación entre el producto del número de ítems por sus tiempos de operación y el número total de fallas detectadas en esos ítems, en el período observado.

$$TMEF = \frac{NOIT.HROP}{\sum NTMC}$$

Figura 2. Tiempo medio entre fallas.

Fuente: Tavares, 2000.

Este índice debe ser usado para ítems que son reparados después de la ocurrencia de una falla. (Tavares, 2000, p. 53)

Tiempo medio para reparación. Relación entre el tiempo total de intervención correctiva en un conjunto de ítems con falla y el número total de fallas detectadas en esos ítems, en el período observado.

$$TMPR = \frac{\sum HTMC}{NTMC}$$

Figura 3. Tiempo medio para reparación.

Fuente: Tavares, 2000.

Este índice debe ser usado, para ítems en los cuales el tiempo de reparación es significativo con relación al tiempo de operación. (Tavares, 2000, p. 53)

Disponibilidad de equipos sometidos a reparación de fallas. Es la relación entre Tiempo Medio Entre Fallas (TMEF) y su suma con el Tiempo Medio para Reparación y los Tiempos

Ineficaces del Mantenimiento (tiempos de preparación para desconexión y nueva conexión y tiempos de espera que pueden estar contenidos en los tiempos promedios entre fallos y de reparación). (Tavares, 2000, pp. 54-55)

$$DISP = \frac{TMEF}{TMEF + TMPR} \times 100$$

Figura 4. Disponibilidad de equipos sometidos a reparación de fallas.

Fuente: Tavares, 2000.

Costes de operación

Yepes (2015) explica "los costos de operación son aquellos que tienen los propietarios por tener el equipo funcionando en el lugar de trabajo. Estos costos son generalmente más grandes que los de propiedad" (p.35).

Lubricantes y combustibles

Los consumos se dividen en principales y secundarios. Los principales corresponden a los carburantes y combustibles (gasoil, gasolina o energía eléctrica), y los secundarios son los lubricantes, aceites, filtros, grasa, algodones, etc. El gasto de combustible dependerá de su precio y consumo. El precio depende de factores como el importe del barril de petróleo, los impuestos, el transporte, etc. Los consumos dependen fuertemente del tipo y estado del equipo, las condiciones de trabajo, la altitud del emplazamiento de la obra, la temperatura, el clima, la actitud o temperamento del maquinista o el rendimiento horario de la máquina. (Yepes, 2015, p. 35)

En la figura 05 se recogen unos consumos estimados para condiciones normales en la máquina y en el trabajo que dependen de la potencia y del tipo energía empleado. Además, se deberían añadir los costes de colocación del combustible a pie de máquina, con su transporte y pérdidas correspondientes. (Yepes, 2015, p. 36)

Carburante o energía	Litros/kW h	kW h
Gasóleo	0,15 a 0,20	-
Gasolina	0,30 a 0,40	-
Energía eléctrica	-	0,80

Figura 5. Consumos energéticos.

Fuente: Yepes, 2015.

Como consumos secundarios se encuentran el aceite para cárter, las grasas, aceites para filtros de aire, aceites para transmisiones y mecanismos hidráulicos, etc. Su consumo depende del estado de la máquina y de su motor, del ambiente de trabajo y de la calidad de los lubricantes empleados. Normalmente existe una correspondencia entre los consumos primarios y secundarios, pues ambos están relacionados con la potencia del motor y entre los precios de estos productos derivados del petróleo. Para un cálculo rápido de los consumos secundarios pueden considerarse las cifras aportadas en la figura 06. (Yepes, 2015, p. 36)

Consumo principal	Consumo secundario
Gasoil	20% del consumo principal
Gasolina	10% del consumo principal
Energía eléctrica	5,5% del consumo principal

Figura 6. Consumos secundarios.

Fuente: Yepes, 2015.

Como se cita en Lezana (1992), "datos estadísticos permiten tomar como aproximados los datos que aparecen en la figura 07" (p. 36):

TIPO DE MÁQUINAS	COSTE HORARIO EN % SOBRE EL COSTE DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE
Pala de ruedas	14% hasta 400 CV. 20% más de 400 CV.
Pala de cadenas	10% hasta 100 CV. 15% entre 100 y 200 CV. 20% más de 200 CV.
Excavadoras hidráulicas	20%
Tractores de cadenas	10% hasta 100 CV. 15% entre 100 y 300 CV. 20% más de 300 CV.
Mototraillas	11%-15%
Dúmpers	13%

Figura 7. Consumos secundarios.

Fuente: Lezana, 1992.

Averías y reparaciones

Las averías y reparaciones constituyen la partida más importante de los costes de operación de la máquina. Este coste es muy variable y de gran importancia económica. Incluyen todos los repuestos, materiales y mano de obra necesaria. Son costes no uniformes, que se elevan gradualmente con el tiempo y uso de la máquina. Dependen de la máquina y dureza de su trabajo, de los cuidados que se prodiguen a diario (engrases, lubricantes,

limpieza, etc.), del buen uso y montaje de la máquina, así como de la oportunidad y calidad de las reparaciones en obra. La mano de obra supone un tercio del coste, y el resto corresponde a las piezas de repuestos y materiales.

La valoración de este coste suele ser proporcional a la amortización. Con una amortización lineal se adelantan fondos necesarios al final de la vida útil. Métodos no lineales, conducen a una estimación superior de los costes por reparaciones al principio de la vida de la máquina. Para las máquinas automotrices se consideran costos horarios entre el 60 y 100% del valor de la amortización horaria lineal. En las accionadas o remolcadas, éste valor se reduce del 40 al 60%.

También se pueden estimar los costes por reparaciones como una relación del coste de adquisición de la máquina. Para trabajos muy duros, el porcentaje oscila entre el 40 y 80%, en trabajos normales, del 30 al 65%, y en trabajos suaves del 25 al 35%. Sin embargo, estas cifras son meramente indicativas, puesto que en máquinas de movimiento de tierras y trabajos duros el porcentaje puede alcanzar el 150%. (Yepes, 2015, p. 37)

Costes de neumáticos

Los costes de los neumáticos pueden representar en las grades máquinas (tractores pesados, mototraíllas...) un tercio de su coste total. En algunos casos, los neumáticos se venden a parte ajustándose al tipo de trabajo realizado por el equipo. Las máquinas ruedas presentan un desgaste muy fuerte y se reponen, por término medio, entre las 2,500 a 4,000 horas de trabajo (de 30,000 a 50,000 km). En el caso de las mototraíllas o palas cargadoras en condiciones de gran dureza, la vida se reduce a unas 1,000 horas. Como la vida de los neumáticos es inferior a la de la máquina, los costes de propiedad y de operación de ambos se estudian por separado. Así, la amortización de este tipo de maquinaria se hará deduciendo

el coste de las cámaras y neumáticos del de adquisición de aquella. Su coste horario se calcula como la relación entre el coste de las cámaras y de los neumáticos y las horas de vida útil, considerando un 10% sobre el costo por reparaciones: recauchutados, pinchazos, etc. (Yepes, 2015, p. 38)

Costes de operador

Este coste se refiere al personal necesario para que la máquina funcione. Comprende al maquinista, y a veces un ayudante e incluso algún peón. La complejidad de algunos equipos y la incidencia de la maquinaria en los costos de producción, precisan de especialistas cuyos emolumentos son frecuentemente superiores a los jornales base y de convenio. Los salarios del personal de maquinaria deben estar en consonancia con el del resto de la empresa, con el del mercado de trabajo, con las aptitudes, características y categoría del puesto del trabajo y con las prestaciones que es posible obtener del mismo. La remuneración de este personal se divide en dos partes. Por un lado, el jornal base que le corresponde al operador durante la jornada laboral, trabaje o no la máquina. Por otra, una parte asociada normalmente al rendimiento de la máquina. Este coste se reparte sobre las horas de trabajo de la máquina, que normalmente son unas dos mil anuales.

El coste unitario de la mano de obra para el propietario de la máquina comprende varios conceptos:

- **Partes fijadas por convenio:** incluye el salario base fijado para cada categoría, el plus de asistencia y actividad, el plus de distancia, las vacaciones y las pagas extraordinarias.
- **Otras compensaciones:** las horas extras extraordinarias, los pluses de peligrosidad, las ayudas sociales y las primas sobre productividad o sobre horas de trabajo de la máquina.
- **Otras cargas:** incluye desplazamiento o gastos de formación.

- **Cargas sociales:** seguridad social, desempleo, formación profesional, fondo de garantía salarial, accidentes, etc. Estas cargas suponen entre el 30 y el 40% de lo que se le paga al operario. (Yepes, 2015, pp. 38-39)

1.4. Formulación del problema

¿En qué medida influye la propuesta de un plan de mantenimiento preventivo, sobre los costos de operación de equipos pesados en una empresa constructora de la región La Libertad, 2019?

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Determinar en qué medida influye la propuesta de un plan de mantenimiento preventivo, sobre los costos de operación de equipos pesados en una empresa constructora de la región La Libertad, 2019.

1.5.2. Objetivos específicos

- Realizar un diagnóstico de la situación actual del área de mantenimiento en una empresa constructora de la región La Libertad.

- Diseñar y aplicar dentro de la propuesta de un plan de mantenimiento preventivo, herramientas de mejora para reducir los costos de operación de equipos pesados en una empresa constructora de la región La Libertad.
- Comparar los costos de operación de equipos pesados en una empresa constructora de la región La Libertad, antes y después de proponer un plan de mantenimiento preventivo.
- Evaluar la viabilidad económica del proyecto.

1.6. Hipótesis

1.6.1. Hipótesis general

La propuesta de un plan de mantenimiento preventivo reduce los costos de operación de equipos pesados en una empresa constructora de la región La Libertad, 2019.

1.7. Operacionalización de las variables

Tabla 2
Operacionalización de las variables

Problema	Hipótesis	Variable	Área	Indicador	Fórmula
¿En qué medida influye la propuesta de un plan de mantenimiento preventivo, sobre los costos de operación de equipos pesados en una empresa constructora de la región La Libertad, 2019?	La propuesta de un plan de mantenimiento preventivo, reduce los costos de operación de equipos pesados en una empresa constructora de la región La Libertad, 2019.	VI: Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo	Mantenimiento	Tiempo medio entre falla	$\frac{\text{Horas de operación}}{\text{N}^\circ \text{ total de fallas detectadas}}$
				Tiempo medio para reparación	$\frac{\text{Tiempo total de intervención correctiva}}{\text{N}^\circ \text{ total de fallas detectadas}}$
		VD: Costos de operación de equipos pesados en una empresa constructora de la región La Libertad		Relación de costos después de mejora vs. antes de mejora	$\frac{\text{Costos de operación después mejora}}{\text{Costos de operación antes mejora}} \times 100 \%$

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO II. MÉTODO

2.1. Tipo de investigación

2.1.1. Según su finalidad

- **Aplicada:** "Busca mejorar la sociedad y resolver sus problemas (predecir y actuar)"

(Del Río, 2011, p. 26).

2.1.2. Según su naturaleza

- **Experimental:** "Se apoya en la observación de fenómenos provocados o manipulados en laboratorio o ambientes artificiales" (Del Río, 2011, p. 26).



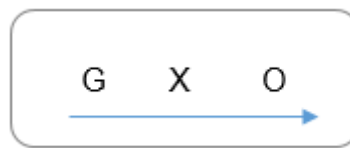
Ecuación 1 Esquema de experimentos y variables.

Fuente: Hernández, 2014.

Campbell y Stanley (2005) proponen que "los diseños experimentales se componen de tres grandes clases de experimentos: experimentos puros o verdaderos, cuasi experimentos y pre experimentos" (párr. 24). Los pre experimentos. "Se los conoce de esa forma porque su nivel de control es mínimo" (Hernández, Fernández y Baptista, 2014, p. 141).

Estudio de caso con una sola medición. Consiste en administrar un estímulo o tratamiento a un grupo y después aplicar una medición de una o más variables para observar cuál es el nivel del grupo en éstas. No hay manipulación de la variable independiente (niveles), o de los grupos de contraste (ni siquiera el mínimo de presencia o ausencia). (Hernández, Fernández y Baptista, 2014, p. 141)

Este diseño puede diagramarse de la siguiente manera:



Ecuación 2. Estudio de caso con una sola medición.

Fuente: Hernández, 2014.

Simbología:

G = Grupo de sujetos o casos (equipos pesados: tractores de cadenas).

X = Tratamiento, estímulo o condición experimental, presencia de algún nivel de la variable independiente (propuesta de un plan de mantenimiento preventivo).

O = Una medición a los sujetos de un grupo: una prueba, cuestionario, observación, tarea, etcétera (reducir los costos de operación de equipos pesados: tractores de cadenas).

2.2. Población y muestra

2.2.1. Población

La población elegida como estudio es una flota de equipos pesados conformada por

13 unidades en una empresa constructora de la región La Libertad:

Tabla 3

Inventario de la flota de equipos pesados en una empresa constructora de la región La Libertad 2018

Equipo	Marca	Modelo	Serie	Motor	Cantidad	Año fabricación	Años de uso
Tractor de cadenas	Komatsu	D155AX6-1	81301	SAA6D140E	1	2013	5
Tractor de cadenas	Komatsu	D155AX6-2	81303	SAA6D140E	1	2016	2
Tractor de cadenas	Komatsu	D155AX6-3	81512	SAA6D140E	1	2016	2
Tractor de cadenas	Komatsu	D155AX6-4	81513	SAA6D140E	1	2014	4
Tractor de cadenas	Komatsu	D155AX6-5	81516	SAA6D140E	1	2015	3
Tractor de cadenas	Komatsu	D155AX6-6	81613	SAA6D140E	1	2013	5
Tractor de cadenas	Komatsu	D65EX	70044	SAA6D114E-3	1	2014	4
Excavadora	Caterpillar	320D	A8F00659	C6.4	1	2016	2
Cargador frontal	Caterpillar	950H	M1G01671	C7	1	2015	3
Excavadora	Caterpillar	329D	TPM00234	C7	1	2016	2
Excavadora	Doosan	340LC-V	D11KHEL	DL08	1	2015	3
Motoniveladora	Caterpillar	135H	8WN00480	3116	1	2015	3
Retroexcavadora	Caterpillar	420E	DJL02392	C4.4	1	2016	2
Total					13		

Fuente: Elaboración propia.

2.2.2. Muestra

En primer lugar, se diseñó una tabla con el número de fallas que presenta cada equipo que conforma la flota durante el 2018. Esto permitirá determinar posteriormente

mediante un Diagrama de Pareto, que unidades presentan mayor número de fallas y así obtener la muestra de estudio:

Tabla 4
N° de fallas por equipo pesado en el 2018

Equipo pesado	N° fallas	% Impacto	% Acum.
Tractor D155AX6-6	83	15.20%	15.20%
Tractor D155AX6-1	81	14.84%	30.04%
Tractor D155AX6-4	68	12.45%	42.49%
Tractor D155AX6-5	63	11.54%	54.03%
Tractor D15AX6-3	53	9.71%	63.74%
Tractor D155AX6-2	52	9.52%	73.26%
Tractor D65EX	43	7.88%	81.14%
Retroexcavadora 420E	22	4.03%	85.16%
Excavadora 320D	19	3.48%	88.64%
Excavadora 329D	17	3.11%	91.76%
Excavadora 340LC	16	2.93%	94.69%
Cargador 950H	15	2.75%	97.44%
Motoniveladora 135H	14	2.56%	100.00%
Total	546	100%	

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 4 se observa el número de fallas que presenta cada equipo en el año 2018, siendo los equipos más críticos los tractores de cadenas modelo D155AX6 con 400 fallas, mientras que los menos críticos presentan 146 fallas. Entre estas unidades tenemos al tractor de cadenas D65EX, retroexcavadora 420E, Excavadoras 320D, 329D y 340LC, Cargador 950H y motoniveladora 135H.

A continuación, se elaboró el Diagrama de Pareto para identificar que equipos tienen mayor cantidad de fallas, para luego priorizarlos y así obtener la muestra de estudio:

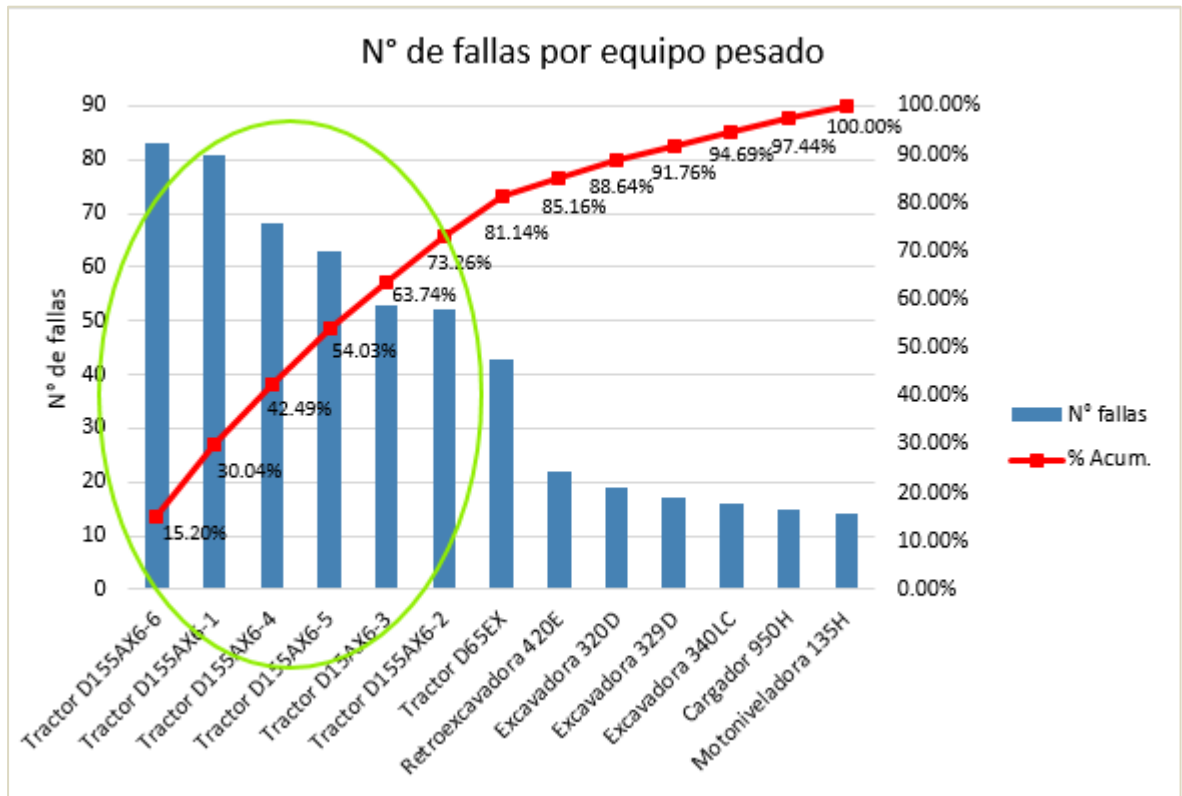


Figura 8. Diagrama de Pareto del número de fallas por equipo pesado.

Fuente: Elaboración propia.

La figura 8 considera que el 73.26% de fallas se producen en los 6 tractores de cadenas Komatsu, modelo D155AX6. Por tal motivo, estas unidades serán la muestra de estudio, debido a que presentan mayor número de fallas, tienen alta criticidad y generan gran impacto en los costos de operación.

Tractor de cadenas

Costes (1975) afirmó lo siguiente:

El tractor sobre orugas es especialmente usado en los trabajos de gran potencia o sobre terrenos de poca resistencia, a causa de la gran superficie de contacto de las orugas y de la adherencia al suelo de sus placas. De donde el empleo del tractor sobre orugas:

- Para trabajos duros.
- Sobre fuertes pendientes.
- En todos los casos donde el esfuerzo de tracción exige una fuerte adherencia al suelo.
- Sobre los terrenos de poca resistencia (fango, suelos disgregados o recientemente terraplenados, etc.).
- Para los trabajos con cortas distancias (< 300 m. de media). (p. 9)

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

Tabla 5
Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Objetivos específicos	Técnica	Instrumento
.Realizar un diagnóstico de la situación actual del área de mantenimiento en una empresa constructora de la región La Libertad.	La observación	Notas del trabajo de campo
	Encuesta	Cuestionario
.Diseñar y aplicar dentro de la propuesta de un plan de mantenimiento preventivo, herramientas de mejora para reducir los costos de operación de equipos pesados. .Comparar los costos de operación de equipos pesados, antes y después de proponer un plan de mantenimiento preventivo. .Evaluar la viabilidad económica del proyecto.	Análisis documental	Registro de datos

Fuente: Elaboración propia.

Técnicas de recolección de datos

Según Caro (s.f.) "son mecanismos e instrumentos que se utilizan para reunir y medir información de forma organizada y con un objetivo específico" (párr.1). Entre ellas tenemos:

- **La observación.** Fabbri (s.f.) señala que "es el método por el cual se establece una relación concreta e intensiva entre el investigador y el hecho social o los actores sociales, de los que se obtiene datos que luego se sintetizan para desarrollar la investigación" (p.2). Por esa razón, se realizará una visita de campo para observar la problemática de estudio.
- **Encuesta.** "Técnica de adquisición de información de interés sociológico, mediante un cuestionario previamente elaborado, a través del cual se puede conocer la opinión o valoración del sujeto seleccionado en una muestra sobre un asunto dado" (Ramos, 2008, p.21). Del mismo modo, en este trabajo se aplicarán encuestas acerca del tema de interés para obtener información sobre las causas que originan el problema.

- **Análisis documental.** "Consiste en examinar los datos presentes en documentos ya existentes, como base de datos, actas, informes, etc." (Caro, s.f. párr.30). Asimismo, se analizarán los datos que nos brinde el área de mantenimiento, referente a los tractores de cadenas (horas operadas y de reparación, clase de falla, indicadores de mantenimiento y costos de operación).

Instrumentos de recolección de datos

Hernández, Fernández y Baptista (2014) señalan que "un instrumento es un recurso que utiliza el investigador para registrar información o datos sobre las variables que tiene en mente" (p.199). Entre los instrumentos utilizados en esta investigación tenemos:

- **Notas del trabajo de campo.** "Son aquellas que tienen la función de registrar lo significativo entre lo observado" (Callejo, 2002, párr.21). En nuestro estudio se elaborarán notas para registrar información concerniente a la situación que atraviesa actualmente el área de mantenimiento, así como del estado en que se encuentran los tractores de cadenas.
- **Cuestionario.** "Conjunto de preguntas sobre los hechos o aspectos que interesan en una investigación y que son contestadas por los encuestados" (Torres y Salazar, s.f. p. 21). Por tal motivo, se encuestará al personal de la empresa constructora elegida como estudio, a modo de conversación y con preguntas cerradas.
- **Registro de datos.** "El registro de los datos obtenidos constituye un aspecto importante dentro del trabajo de campo, ya que de estos datos depende la construcción,

comprensión o interpretación de la situación en estudio" (Orellana y Cruz, 2006, p.217).

Por ello, se utilizarán fichas para registrar los datos proporcionados por el área de mantenimiento. Referente a horas operadas y de reparación de tractores de cadenas, clases de fallas que muestran, indicadores de mantenimiento y costos de operación.

Validez y confiabilidad de instrumentos

Validez

"La validez en términos generales, se refiere al grado en que un instrumento mide realmente la variable que pretende medir" (Hernández, Fernández y Baptista, 2014, p. 200).

En este estudio los instrumentos serán validados por juicio de expertos de la carrera profesional de Ingeniería Industrial de la Universidad Privada del Norte; los cuales conocen del tema de estudio, y cuyas opiniones y sugerencias serán de mucha utilidad.

- 1) Ing. Oscar Alberto Goicochea Ramírez
- 2) Ing. Miguel Alcalá Adrianzén
- 3) Ing. Julio César Cubas Rodríguez
- 4) Ing. Danny Stephan Zelada Mosquera

Confiabilidad

"La confiabilidad de un instrumento de medición se refiere al grado en que su aplicación repetida al mismo individuo u objeto produce resultados iguales" (Hernández, Fernández y Baptista, 2014, p. 200).

Para confirmar si los instrumentos aplicados en este estudio son confiables, utilizaremos la siguiente técnica estadística:

Alfa de Cronbach. "Sirve para determinar el coeficiente de fiabilidad de los instrumentos de medición" (Vara, 2012, p. 347). En esta investigación se midió la fiabilidad del cuestionario aplicado al personal de la empresa constructora mediante esta técnica estadística. La cual arrojó como resultado un rango de aceptación de 0.719.

Por lo tanto, se considera que este instrumento es confiable, ya que su rango de aceptación está entre 0.7 y 0.8.

Análisis de datos

Valderrama (2013), menciona que "luego de haber obtenido los datos, el siguiente paso es realizar el análisis para dar respuesta a la pregunta inicial y, si corresponde, poder aceptar o rechazar la hipótesis en estudio" (p.229).

Los datos que analizaremos en este estudio son:

- Número de fallas por equipo.
- Fallas según tipo de componente.
- Indicadores de mantenimiento.
- Flujogramas.
- Horas de operación.
- Horas de reparación.
- Costos de operación.

Procedimiento para el análisis de datos

Después de recopilar los datos con los instrumentos, se diagnosticó la situación actual del área de mantenimiento para indagar que causas generan el problema planteado. Por esta

razón, para lograr un mejor diagnóstico, se utilizó las siguientes herramientas para análisis de datos:

Hoja de cálculo Microsoft Excel. La universidad Nacional del Nordeste (s.f.), señala que “es una aplicación integrada en el entorno Windows cuya finalidad es la realización de cálculos sobre datos introducidos en la misma” (p.3).

En la presente investigación se utilizará Microsoft Excel 2016 para analizar los datos recolectados con las fichas de registro.

Diagrama de causa y efecto. “Representación de varios elementos (causas) de un sistema que pueden contribuir a un problema (efecto). Algunas veces es denominado Diagrama de Ishikawa o Diagrama de Espina de Pescado” (Federación Latinoamericana para la Calidad, s.f., párr. 83).

En este estudio se utilizó el Diagrama de Ishikawa para identificar las causas raíces que ocasionan los costos de operación elevados de equipos pesados.

Diagrama de Pareto. Es utilizado para separar gráficamente los aspectos significativos de un problema desde los triviales de manera que un equipo sepa dónde dirigir sus esfuerzos para mejorar. Reducir los problemas más significativos (las barras más largas en una Gráfica de Pareto) servirá más para una mejora general que reducir los más pequeños. (Federación Latinoamericana para la Calidad, s.f., párr. 122)

En esta investigación se empleó el Diagrama de Pareto para seleccionar aquellas causas raíces que representan al 80% de los costos de operación elevados de equipos pesados.

Matriz de Priorización. “Esta herramienta se utiliza para establecer prioridades en tareas, actividades o temas, en base a criterios de ponderación conocidos” (Vilar, 1997, p.10).

En este estudio se aplicó la Matriz de Priorización para dar importancia a aquellas causas raíces principales que fueron seleccionadas mediante el Diagrama de Pareto. Las cuales representan el 80% de los costos de operación elevados de equipos pesados.

Método de análisis de datos

Análisis estadístico inferencial. “El propósito de la investigación va más allá de describir las distribuciones de las variables: se pretende probar hipótesis y generalizar los resultados obtenidos en la muestra a la población o universo” (Hernández, Fernández y Baptista, 2014, p. 299).

En la presente investigación, se realizará un análisis estadístico inferencial utilizando el contraste de Shapiro Wilk para probar si la hipótesis planteada es coherente con los datos conseguidos en la muestra.

Contraste de Shapiro Wilk. Según Lévy y Varela (2006) mide el grado de ajuste a una recta de las observaciones de la muestra representadas en un gráfico de probabilidad normal, de forma que rechazará la hipótesis nula de normalidad. Este contraste es el más adecuado cuando el tamaño de muestra es pequeño (no superior a 50). (p. 32)

Se utilizará éste contraste para determinar si se acepta o se rechaza la hipótesis que se plantea en la presente investigación.

2.4. Fases para el desarrollo del trabajo de investigación

Este estudio fue desarrollado mediante las siguientes fases:

Fase I: Selección del tema

- Elección del tema de investigación.

Fase II: Selección de la empresa

- Búsqueda de una empresa que pueda brindar información relacionada al tema de investigación.

Fase III: Autorización para ejecución del trabajo

- Realización de una solicitud para acceder a la empresa elegida como estudio y recopilar los datos necesarios para la investigación.

Fase IV: Levantamiento de información

- Recopilación de datos brindados por el área de mantenimiento de la empresa, con respecto a los tractores de cadenas Komatsu D155AX6.

Fase V: Diagnóstico situacional

- Aplicación de técnicas e instrumentos de recolección de datos.
- Análisis de datos recolectados.

Fase VI: Propuesta del nuevo plan de mantenimiento

- Elección de la propuesta del plan de mantenimiento preventivo.

- Diseño y aplicación de herramientas de mejora de la propuesta.
- Elaboración de flujogramas: de actividades de mantenimiento y de abastecimiento de repuestos.

Fase VII: Análisis estadístico inferencial

- Prueba de hipótesis.

Fase VIII: Evaluación económica

- Evaluación de la viabilidad económica del proyecto.

2.5. Aspectos éticos

Esta investigación se realizó considerando el Código de Ética del Investigador Científico de la Universidad Privada del Norte, el cual menciona en su capítulo segundo "Deberes de los Investigadores" - artículo 3° que; es responsabilidad del investigador respetar el principio de la propiedad intelectual o propiedad de datos cuando la investigación se realice en colaboración con otros investigadores e instituciones. Considerando lo anterior, y como futuro profesional, presento este trabajo de investigación respetando todos los derechos y lineamientos de libros, revistas, tesis y otros materiales que se han utilizado para su desarrollo; el cual en ningún caso toma información o datos de otras investigaciones sin citar las fuentes previamente.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Descripción general de la empresa

3.1.1. Descripción de la empresa

La empresa seleccionada para este estudio es una organización responsable, que busca el beneficio de sus clientes y de la sociedad, para ello dispone de profesionales altamente capacitados y con una amplia variedad de maquinaria a su disposición.

3.1.2. Rubro

Construcción e ingeniería.

3.1.3. Actividad

Servicio de alquiler de maquinaria pesada para obras y proyectos de construcción e ingeniería a nivel nacional.

Ejecución de obras de ingeniería y construcción a nivel nacional.

3.1.4. Misión

Apoyar a nuestros clientes brindándoles soluciones en ingeniería y construcción que les permitan desarrollar sus obras de manera óptima y eficiente.

3.1.5. Visión

Ser reconocidos por nuestros clientes y por la sociedad como una empresa
confiable y altamente eficiente.

3.2. Ubicación



Figura 10. Ubicación de la empresa en estudio, región La Libertad, Perú.

Fuente: Wikipedia, s.f.

3.3. Principales productos o servicios

La empresa ofrece servicios para empresas públicas y privadas tales como:

Nombre del servicio:		ALQUILER DE EQUIPOS PESADOS
DESCRIPCION DEL SERVICIO		
	Variedades	Tractor de cadena, excavadora, cargador frontal, motoniveladora, retroexcavadora
	Descripción	Pool propio de maquinarias que garantizan ahorro de tiempo en el cumplimiento de nuestras metas.

Figura 11. Servicio brindado por la empresa.

Fuente: Elaboración propia.

Nombre del servicio:		OBRAS DE INGENIERÍA
DESCRIPCION DEL SERVICIO		
	Variedades	Arequipia, Ayacucho, Piura, Tacna, Ucayali
	Descripción	Instalación de puentes modulares provisionales en diversos departamentos del Perú.

Figura 12. Obras de ingeniería desarrolladas por la empresa.

Fuente: Elaboración propia.

Nombre del servicio:		OBRAS DE CONSTRUCCIÓN	
DESCRIPCION DEL SERVICIO			
		Variedades	Moquegua, Tumán, Arequipa, Amazonas
			Descripción

Figura 13. Obras de construcción desarrolladas por la empresa.

Fuente: Elaboración propia.

Nombre del servicio:		MEJORAMIENTO DE ACCESOS	
DESCRIPCION DEL SERVICIO			
		Variedades	La Libertad, Lima, Arequipa, Moquegua
			Descripción

Figura 14. Mejoramiento de accesos desarrollados por la empresa.

Fuente: Elaboración propia.

3.4. Principales clientes

Cartera de clientes		PRINCIPALES CLIENTES
DESCRIPCION DE CLIENTES		
		<p>Ciudades Amazonas, Arequipa, Ayacucho, Lima, Moquegua, Piura, Tacna, Ucayali, La Libertad.</p> <p>Descripción Dirección regional de transportes y comunicaciones, fondo metropolitano de inversiones, forsur, gerencia regional de Amazonas, gobierno regional de La Libertad, gobierno regional de Lima, gobierno regional de Piura, hospital María Auxiliadora, municipalidades de Maje, Mariscal Benavides, Omía, Sachaca, Tumán, Vitor; programa subsectorial de irrigaciones y provias descentralizado.</p>

Figura 15. Clientes de la empresa.

Fuente: Elaboración propia.

3.5. Principales proveedores

- Ferreyros CAT S.A.
- Komatsu-Mitsui Maquinarias Perú S.A.
- Distribuidora Cummins Perú S.A.C.
- Comreivic S.A.C.

3.6. Principales competidores

- El Árabe S.A.
- Posada Perú S.A.C.
- Transportes & Multiservicios Flobal S.A.C.
- Baeira S.A.C.

3.7. Organización de la empresa

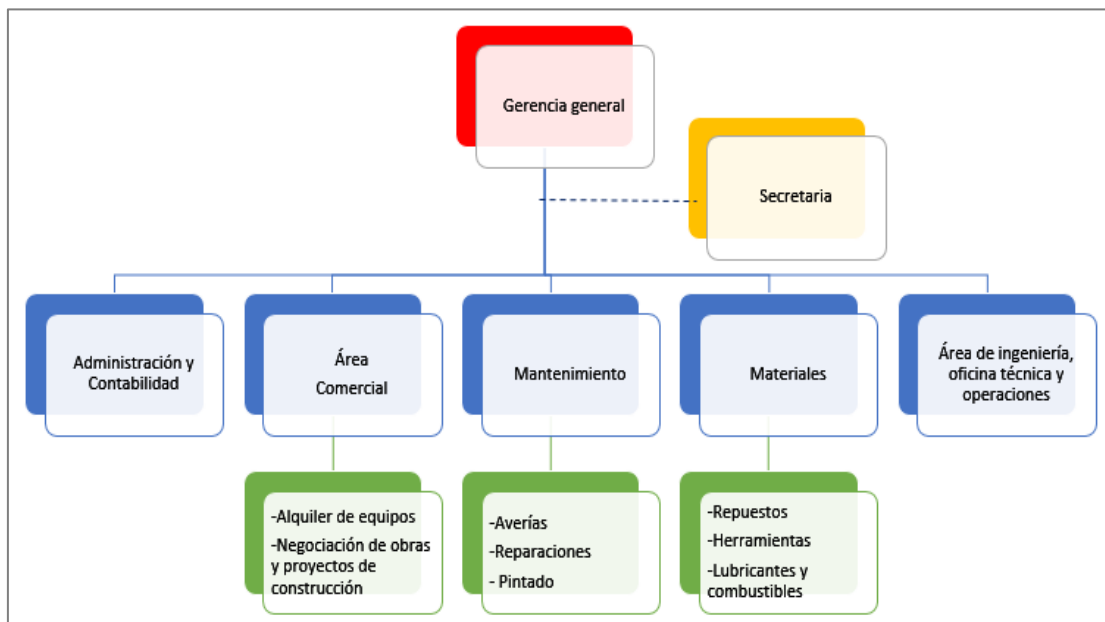


Figura 16. Organigrama de la empresa en estudio.

Fuente: Elaboración propia.

3.8. Descripción particular del área de la empresa objeto de estudio

3.8.1. Área de mantenimiento

El área de mantenimiento de la empresa constructora estudiada no dispone de un plan de mantenimiento preventivo que le permita reducir los costos de operación por reparación de tractores de cadenas; quienes se han visto afectados por continuas fallas que presentan. Trayendo como consecuencia que aumente el tiempo de reparación, así como el costo horario en cada una de ellas.

3.9. Análisis de causas que originan costos de operación elevados de equipos pesados

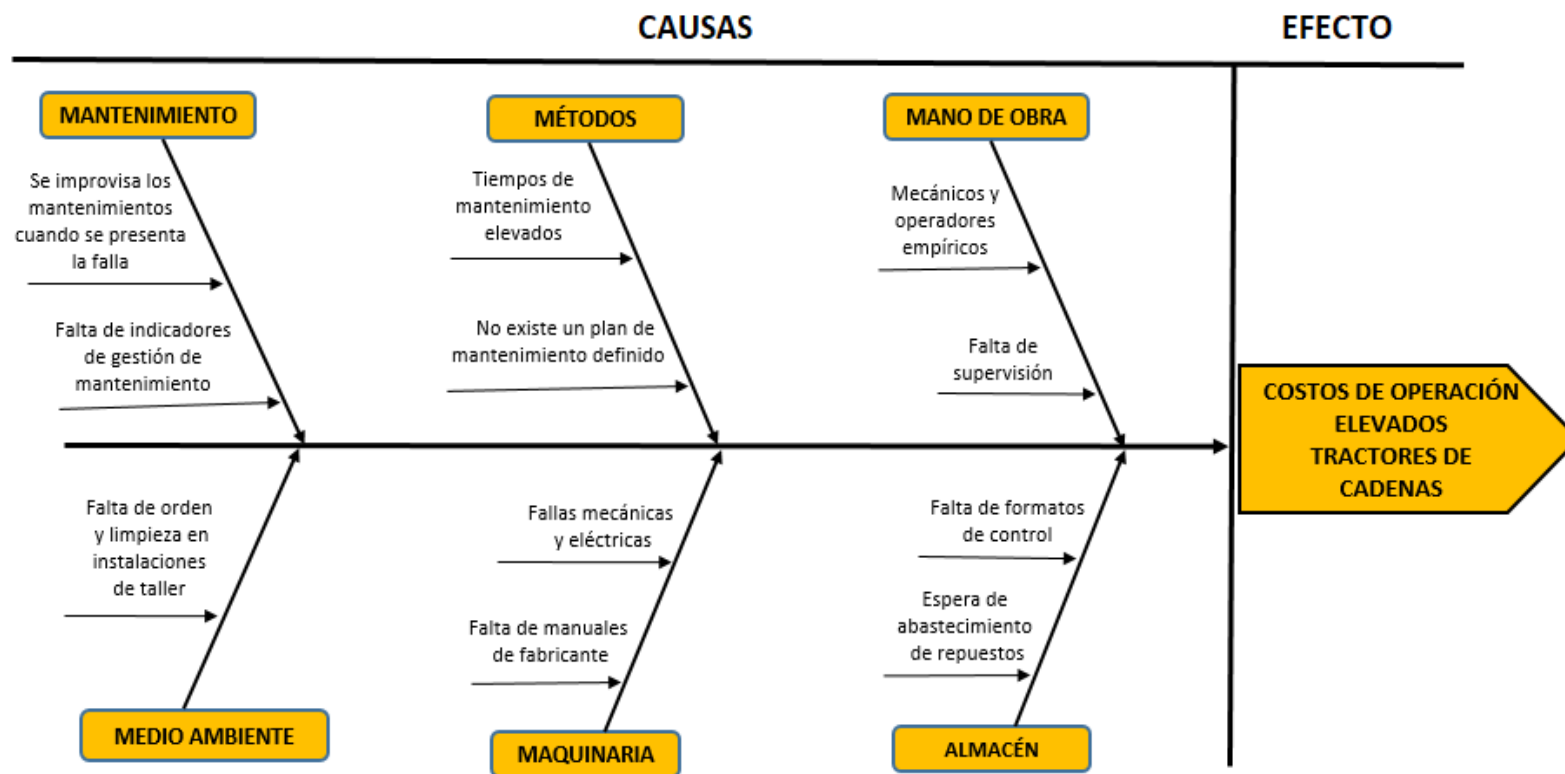


Figura 17. Diagrama de Ishikawa para resolver problemas.

Fuente: Elaboración propia.

3.10. Identificación de causas raíces generadas por falta de un plan de mantenimiento preventivo de equipos pesados en una empresa constructora de la región La Libertad 2018

Tabla 6
Causas raíces que generan costos de operación elevados de equipos pesados en una empresa constructora de la región La Libertad 2018

CR	Descripción de la causa raíz	Nº veces impacto	% Impacto	% Acum.
CR2	Se improvisa los mantenimientos cuando se presenta la falla	38	12.67%	12.67%
CR4	Fallas mecánicas y eléctricas	36	12.00%	24.67%
CR3	No existe un plan de mantenimiento definido	34	11.33%	36.00%
CR5	Tiempos de mantenimiento elevados	32	10.67%	46.67%
CR1	Espera de abastecimiento de repuestos	30	10.00%	56.67%
CR6	Falta de supervisión	28	9.33%	66.00%
CR7	Falta de formatos de control	26	8.67%	74.67%
CR11	Mecánicos y operadores empíricos	22	7.33%	82.00%
CR8	Falta de manuales de fabricante	20	6.67%	88.67%
CR9	Falta de indicadores de gestión de mantenimiento	18	6.00%	94.67%
CR10	Falta de orden y limpieza en instalaciones de taller	16	5.33%	100.00%
Total		300	100.00%	

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 6 se muestra las causas raíces que generan costos de operación elevados de equipos pesados en una empresa constructora de la región La Libertad. Entre ellas tenemos se improvisa los mantenimientos cuando se presenta la falla, fallas mecánicas y eléctricas, no existe un plan de mantenimiento definido, tiempos de mantenimiento elevados, espera de abastecimiento de repuestos, falta de supervisión, falta de formatos de control, mecánicos y operadores empíricos, falta de manuales de fabricante, falta de

indicadores de gestión de mantenimiento y falta de orden y limpieza en instalaciones de taller.

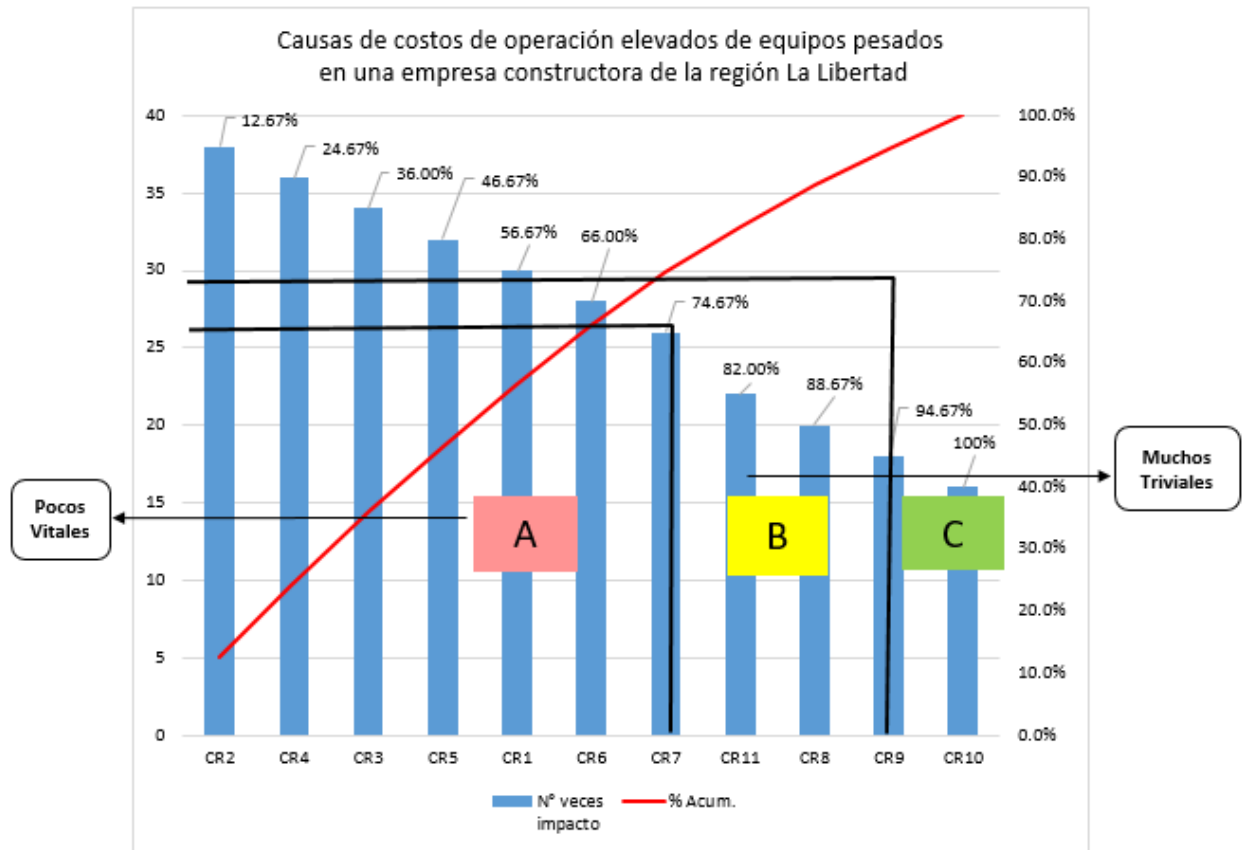


Figura 18. Diagrama de Pareto ABC de causas raíces.

Fuente: Elaboración propia.

La figura 18 indica que el 74.67% de causas que generan costos de operación elevados de tractores de cadenas en una empresa constructora de la región La Libertad ("Pocos Vitales") son porque se improvisa los mantenimientos cuando se presenta la falla (CR2), fallas mecánicas y eléctricas (CR4), no existe un plan de mantenimiento definido (CR3), tiempos de mantenimiento elevados (CR5), espera de abastecimiento de repuestos (CR1), falta de supervisión (CR6) y falta de formatos de control (CR7).

3.11. Identificación de los indicadores

En este apartado se evalúan las 7 causas raíces priorizadas mediante indicadores y así decidir que herramientas de mejora aplicar más adelante para cada una de ellas. Asimismo, se presenta el costo de operación por reparación de tractores de cadenas que actualmente generan estas causas raíces.

Tabla 7
Indicadores de las causas raíces de los problemas

CR	Descripción	Indicador	Fórmula	Valor actual	Costo de operación por reparación actual
CR2	Se improvisa los mantenimientos cuando se presenta la falla	Tiempo medio entre falla	$\frac{\text{Horas de operación}}{\text{N}^\circ \text{ total de fallas detectadas}}$	30.11 hrs.	S/ 1,603,744.75
CR3	No existe un plan de mantenimiento definido				
CR4	Fallas mecánicas y eléctricas				
CR5	Tiempos de mantenimiento elevados	Tiempo medio para reparación	$\frac{\text{Tiempos total de intervención correctiva}}{\text{N}^\circ \text{ total de fallas detectadas}}$	8.64 hrs.	
CR1	Espera de abastecimiento de repuestos				
CR6	Falta de supervisión				
CR7	Falta de formatos de control				

Fuente: Elaboración propia.

3.12. Herramientas de mejora

En este campo se elaboró la matriz de indicadores de variables considerando las 7 causas raíces priorizadas y medidas anteriormente. Así mismo, la tabla 8 añade el costo de operación por reparación de tractores de cadenas (mejorado) y el beneficio que se obtiene por la aplicación de herramientas de mejora, las cuales serán diseñadas y aplicadas dentro de la propuesta del plan de mantenimiento preventivo.

Tabla 8
Matriz resumen de indicadores de variables

CR	Descripción	Indicador	Fórmula	Valor actual	Costo de operación por reparación actual	Valor meta	Costo de operación por reparación mejorado	Beneficio	Herramienta de mejora
CR2	Se improvisa los mantenimientos cuando se presenta la falla	Tiempo medio entre falla	$\frac{\text{Horas de operación}}{\text{N}^\circ \text{ total de fallas detectadas}}$	30.11 hrs.	S/ 1,603,744.75	40.47 hrs.	S/ 998,510.29	S/ 605,234.46	Programa de mantenimiento
CR3	No existe un plan de mantenimiento definido								Hoja de ruta de mantenimiento / DOP
CR4	Fallas mecánicas y eléctricas								Plan de capacitación
CR5	Tiempos de mantenimiento elevados	Tiempo medio para reparación	$\frac{\text{Tiempo total de intervención correctiva}}{\text{N}^\circ \text{ total de fallas detectadas}}$	8.64 hrs.		7.97 hrs.			MRP
CR1	Espera de abastecimiento de repuestos								Contratación de un Planner de mantenimiento
CR6	Falta de supervisión								Confeción de formatos de control
CR7	Falta de formatos de control								

Fuente: Elaboración propia.

3.13. Gestión de mantenimiento

3.13.1. Descripción de causas raíces

CR2: Se improvisa los mantenimientos cuando se presenta la falla

CR3: No existe un plan de mantenimiento definido

La improvisación de los trabajos de mantenimiento ocasiona que se ejecuten intervenciones inadecuadas al reparar las averías en los tractores de cadenas. Debido a no planificar, programar y coordinar los trabajos de mantenimiento.

CR1: Espera de abastecimiento de repuestos

Almacén no cuenta con los repuestos requeridos para atender las averías imprevistas en los tractores de cadenas, y al solicitar el abastecimiento al proveedor en muchas ocasiones no cuenta con los repuestos que se necesitan. Ocasionando demoras para atender los mantenimientos de urgencia.

CR4: Fallas mecánicas y eléctricas

Las fallas mecánicas y eléctricas en los tractores de cadenas se clasifican en:

Iniciales. Se originan debido a baja calidad de los repuestos.

Adultas. Se generan por mantenimiento incorrecto ejecutado por mecánicos, mala operación de los tractores por parte de operadores, suciedad, polvo, accidentes fortuitos o condiciones inadecuadas.

Tardías. Se producen por desgaste natural en los componentes del tractor.

CR5: Tiempos de mantenimiento elevados

Los mantenimientos efectuados en plazos muy largos se generan por falta de capacitación al personal que interviene en los trabajos. De esa manera se incrementan las horas de reparación en los tractores de cadenas.

CR6: Falta de supervisión

La falta de supervisión conlleva que no se lleve un control de los mantenimientos que se realizan, ni se garantice que los tractores de cadenas funciones correctamente. Tampoco, no se podrá preparar los trabajos de mantenimiento próximos a ejecutarse; así como asegurar que las herramientas y repuestos necesarios sean definidos con anticipación a los trabajos a realizarse.

CR7: Falta de formatos de control

Al no contar con formatos de control que permitan monitorear constantemente a los tractores de cadenas, no se podrá realizar un análisis de las fallas para luego evitarlas.

3.13.2. Diagnóstico de costos de operación elevados por reparación de equipos, según causas

raíces mencionadas

A continuación, se calcula las horas de reparación que tuvieron los tractores de cadenas durante el 2018 (antes de la propuesta del plan de mantenimiento preventivo), para ello consideramos indicadores de mantenimiento que hemos elaborado, como son tiempo medio entre falla y tiempo medio para reparación; los cuales nos ayudaron a determinar las horas invertidas en reparación durante el año 2018:

Tabla 9
Fallas según tipo de componente

Repuesto	Tipo de componente	Nº de fallas
Filtro de aceite de motor	mecánico	90
Sensor de temperatura del aceite de transmisión	eléctrico	83
Manguera hidráulica	mecánico	70
Cuchilla central	mecánico	65
Relay	eléctrico	23
Conector	eléctrico	18
Pin	mecánico	15
Arné de cableado	eléctrico	15
Solenoides	eléctrico	13
Cable	eléctrico	8
Total		400

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 9 se muestra la cantidad de fallas que se presentan con reiteración en los componentes de los tractores de cadenas por falta de un plan de mantenimiento preventivo. El gráfico siguiente hace una comparación de los repuestos que tienen mayor número de fallas según el tipo de componente:

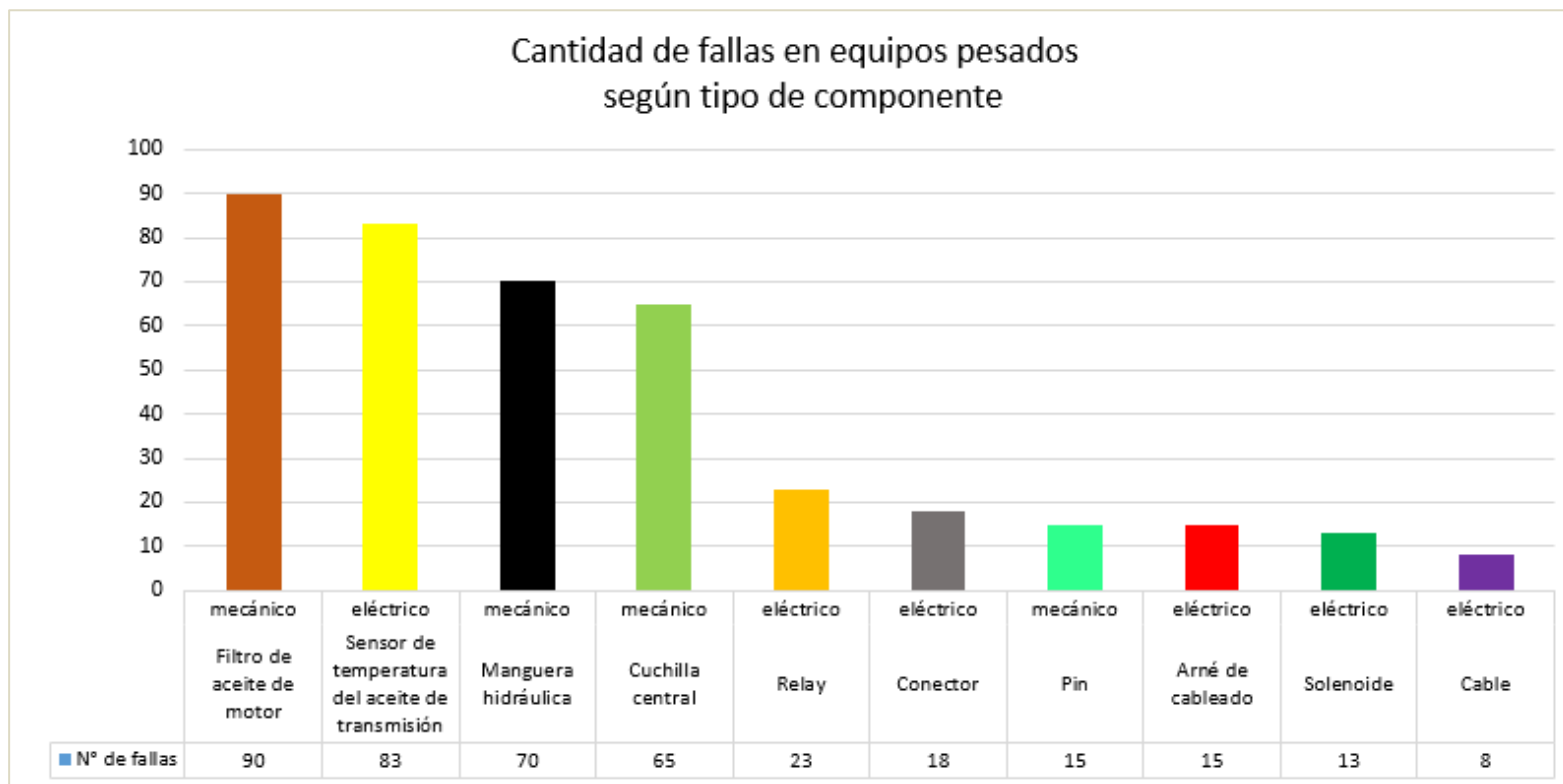


Figura 19. Fallas en tractores de cadenas según tipo de componente.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 19 se observa un total de 400 fallas que presentan los tractores de cadenas en componentes mecánicos y eléctricos. Siendo la mayor cantidad de fallas en filtro de aceite de motor, sensor de temperatura del aceite de transmisión, cuchilla central y manguera hidráulica.

- Las fallas en el filtro de aceite de motor, se generan:
 - Debido a su baja calidad, causando obstrucción.
 - Porque no se cambia cuando corresponde, ocasionando suciedad.

- Las fallas en el sensor de temperatura del aceite de transmisión, son:
 - Por variación de voltaje (exceso de corriente eléctrica), causando que se dañe.

- Las fallas en la cuchilla central, se producen:
 - Por su uso en terrenos duros, rocosos, con fango, etc. Causando desgaste.

- Las fallas en la manguera hidráulica, se originan por:
 - Sobrecalentamiento del ensamble. Lo que ocasiona que se resequen.
 - Abrasión, provocando que reviente el ensamble y produzca fugas.

De la misma forma, se presenta la incidencia que tienen las 400 fallas según el tipo de componente:

Tabla 10
Incidencia de las fallas en equipos pesados según tipo de componente

Tipo de componente	Nº de fallos	%
Mecánico	240	60%
Eléctrico	160	40%
Total	400	100%

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 10 se aprecia el número de fallas en los tractores de cadenas según el tipo de componente. Siendo en total 240 fallas para componentes mecánicos y 160 fallas para componentes eléctricos. En el gráfico siguiente se representa la participación que tienen las fallas según el tipo de componente:



Figura 20. Porcentaje de fallas en tractores de cadenas según tipo de componente.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 20 se detalla el porcentaje que representa la incidencia de fallas según el tipo de componente. Siendo la mayor incidencia de fallas en componentes mecánicos con un 60% y la menor incidencia en componentes eléctricos con un 40%.

Simultáneamente, se presenta los tiempos en que ocurren fallas en los equipos pesados:

Tabla 11
Tiempo medio entre falla actual por equipo pesado

Tractor D155AX6-1			
Horas operación	N° fallas	TMEF	Tasa de falla
1,886.47	86	21.83	4.58%
Tractor D155AX6-2			
Horas operación	N° fallas	TMEF	Tasa de falla
2,131.16	40	53.33	1.88%
Tractor D155AX6-3			
Horas operación	N° fallas	TMEF	Tasa de falla
2,124.93	48	44.27	2.26%
Tractor D155AX6-4			
Horas operación	N° fallas	TMEF	Tasa de falla
1,994.64	67	29.68	3.37%
Tractor D155AX6-5			
Horas operación	N° fallas	TMEF	Tasa de falla
2,043.03	57	35.99	2.78%
Tractor D155AX6-6			
Horas operación	N° fallas	TMEF	Tasa de falla
1,862.97	102	18.33	5.46%

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 11 señala el tiempo medio entre falla actual para cada equipo, siendo el tractor más crítico el D155AX6-6 con un tiempo medio entre falla cada 18.33 horas, mientras que el menos crítico es el tractor D155AX6-2 con tiempo medio entre falla cada 53.33 horas.

También se determinó el tiempo medio entre falla que en promedio tienen los 6 equipos; el cual es de 30.11 horas. La gráfica que sigue representa el tiempo medio entre falla actual:

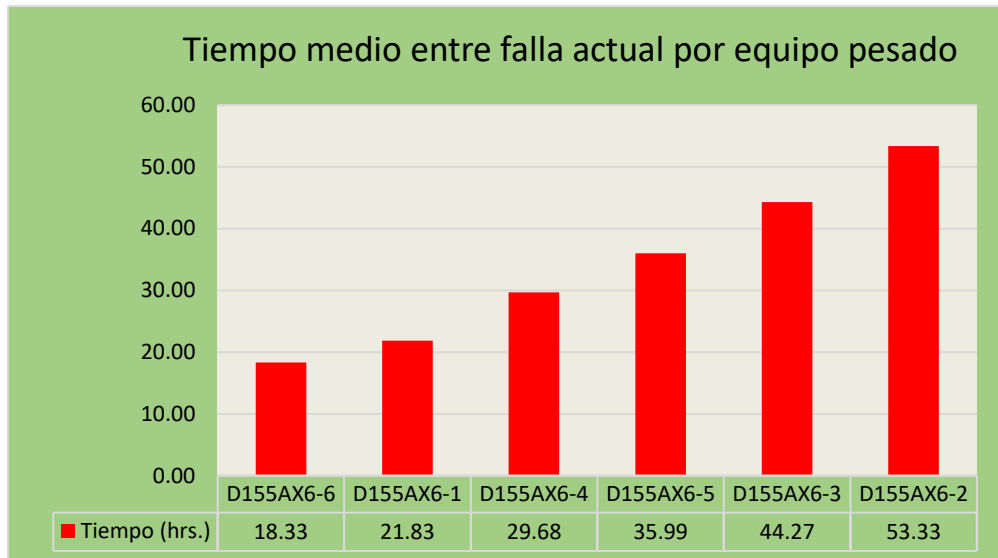


Figura 21. Tiempo medio entre falla actual.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 21 se indica el tiempo medio entre falla actual para cada equipo, siendo el tractor más crítico el D155AX6-6 y el tractor menos crítico D155AX6-2 respectivamente.

Estos resultados se demuestran en el siguiente gráfico:

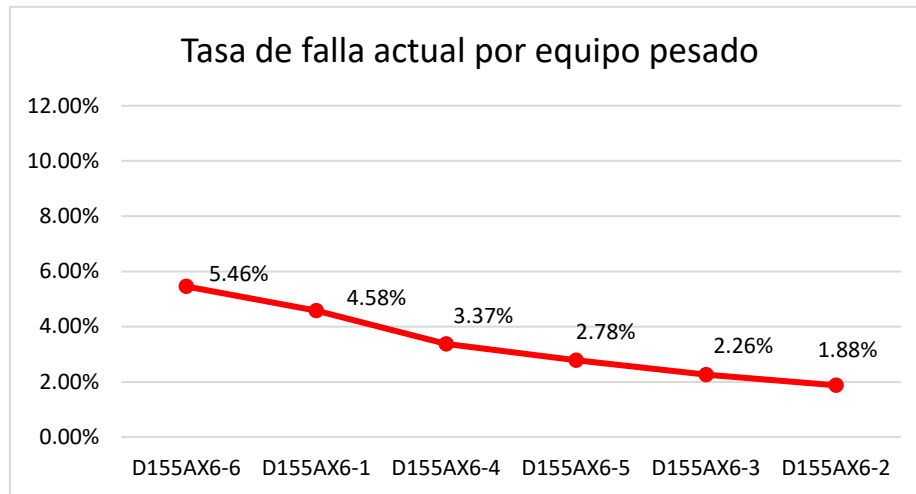


Figura 22. Tasa de falla actual.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 22 se observa que cada tractor de cadenas presenta una tasa de falla distinta, siendo el equipo más crítico el tractor D155AX6-6 con una tasa de falla de 5.46%, mientras que el menos crítico es el tractor D155AX6-2 con una tasa de falla de 1.88%. A continuación, se presenta el flujograma de mantenimiento actual para atender las fallas en equipos pesados:

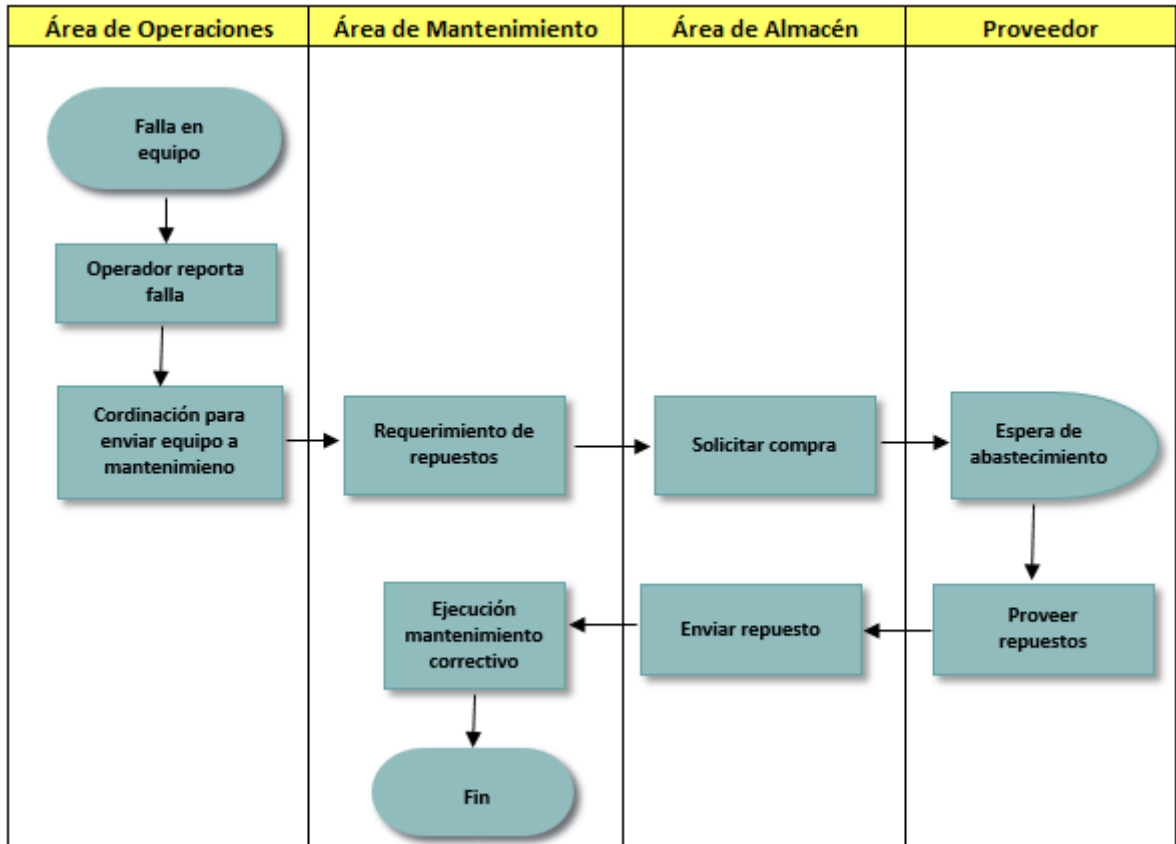


Figura 23. Flujograma de mantenimiento actual.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 23 se representa el flujograma de mantenimiento actual de los tractores, donde se aprecia que existen esperas para el abastecimiento de repuestos, ya que muchas veces se solicitan los repuestos a último momento (cuando ocurre la falla) y sin anticipación, ocasionando que en el instante que almacén pide los repuestos el proveedor no tenga el stock requerido. De esa manera aumentan los tiempos de mantenimiento. No obstante, estas horas de reparación también son elevadas debido a la falta de capacitación a los mecánicos, los cuales se basan en su propia experiencia para realizar los mantenimientos a

las unidades. La tabla subsiguiente indica los tiempos de reparación actuales de cada equipo:

Tabla 12
Tiempo medio para reparación actual de equipos pesados

D155AX6-1		
Tiempo total mant. correctivo	Nº fallas	TMPR
696.73	86	8.10
D155AX6-2		
Tiempo total mant. correctivo	Nº fallas	TMPR
452.04	40	11.30
D155AX6-3		
Tiempo total mant. correctivo	Nº fallas	TMPR
458.27	48	9.55
D155AX6-4		
Tiempo total mant. correctivo	Nº fallas	TMPR
588.56	67	8.78
D155AX6-5		
Tiempo total mant. correctivo	Nº fallas	TMPR
540.17	57	9.48
D155AX6-6		
Tiempo total mant. correctivo	Nº fallas	TMPR
720.23	102	7.06

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 12 se señala los tiempos que demora reparar actualmente cada equipo, siendo el equipo con más atención el tractor D155AX6-6 con 720.23 horas y tiempo medio para reparación de 7.06 horas. Mientras que el tractor con menos atención es el D155AX6-2 con 452.04 horas y un tiempo medio para reparación de 11.30 horas. Además, se determinó el tiempo para reparación que en promedio tienen los 6 equipos, el cual es de 8.64 horas. El gráfico que viene representa los tiempos medios para reparación que actualmente tiene cada unidad:

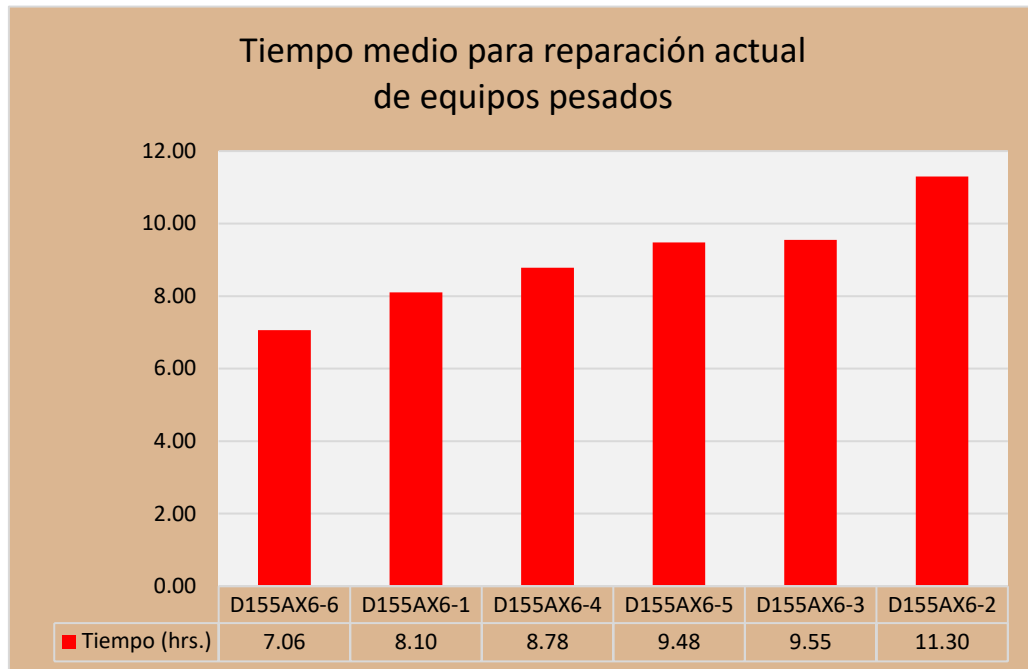


Figura 24. Tiempo medio para reparación actual.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 24 se observa que actualmente los tractores de cadenas tienen distintos tiempos medios para reparación, siendo el equipo con mayor tiempo el tractor D155AX6-2 con 11.30 horas, sin embargo, presenta menos horas de mantenimiento (452.04) y el de menor tiempo es el D155AX6-6 con 7.06 horas. No obstante, tiene más horas de mantenimiento (720.23). Analizando lo anterior, podemos agregar que, a menores horas de mantenimiento y cantidades de fallas en los equipos, el tiempo medio para reparación se eleva, mientras que, a mayores horas de mantenimiento y cantidades de fallas, el tiempo medio para reparación disminuye.

Habiendo determinado los tiempos de fallas y de reparación (sin mejora) de cada unidad, se presenta el cálculo de horas de reparación actuales que tienen los equipos pesados:

Tabla 13
Cálculo de horas de reparación actuales de equipos pesados

Detalle	Cantidad
Tiempo medio entre falla (en horas)	30.11
Tiempo medio para reparación (en horas)	8.64
Horas programadas mantenimiento	15,780.00
Servicios de mantenimiento	524.08
Total horas de reparación	4,528.05

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 13 se muestra el cálculo de horas de reparación actuales de los equipos; siendo el tiempo medio entre falla de 30.11 horas en promedio, el tiempo medio para reparación de 8.64 horas en promedio y las horas programadas según performances actuales de 15,780. Además, el número de servicios de mantenimiento es de 524; de los cuales 400 son por mantenimiento correctivo para atender reparaciones críticas por fallas, mientras que 124 son por reparaciones menores consideradas en mantenimiento rutinario. Finalmente, el total de horas de reparación en los 6 tractores de cadenas correspondientes al año 2018 es de 4,528.05; el cual se considera que es muy elevado debido a la falta de un plan de mantenimiento preventivo.

Posteriormente se calculó el costo total actual de todos los elementos que intervienen en los mantenimientos; así como el costo horario que genera la reparación de los equipos. Para llegar a ello, se tuvo que realizar previo un desglose del costo total y costo horario (por cada elemento) de manera que al final se pueda armar un consolidado para ambos costos. Además, se determinó las horas de operaciones normales en los tractores de cadenas correspondientes al año 2018:

Tabla 14
Costo actual de mano de obra de operadores

1. Mano de obra - operadores		Costo horario
Costo por hora	S/ 17.00	
Horas de trabajo	8	
Costo por día	S/ 136.00	
Días laborados	6	
Costo semanal	S/ 816.00	
Nº de semanas	4	
Costo mensual	S/ 3,264.00	
Nº de meses	12	
Costo al año	S/ 39,168.00	
Nº de operadores	6	
Costo total mano de obra - operadores	S/ 235,008.00	S/ 19.51

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 14 se observa el costo total y horario que actualmente generan los operadores debido a las labores que realizan con los tractores en las obras de construcción. Donde con la ayuda de un plan de mantenimiento preventivo se tratará reducir el costo horario de operadores, que actualmente es de S/ 19.51 soles.

Tabla 15
Costo actual de mano de obra de mecánicos

2. Mano de obra - mecánicos		Costo horario
Costo por hora	S/ 22.00	
Horas de trabajo	8	
Costo por día	S/ 176.00	
Días laborados	6	
Costo semanal	S/ 1,056.00	
N° de semanas	4	
Costo mensual	S/ 4,224.00	
N° de meses	12	
Costo al año	S/ 50,688.00	
N° personas que laboran en mantenimiento	2	
Costo total mano de obra - mecánicos	S/ 101,376.00	S/ 8.42

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 15 se detalla el costo total y horario que en la actualidad producen los mecánicos a causa de los trabajos de mantenimiento que realizan en los tractores como consecuencia de haber presentado alguna falla. Ante esto se tratará de reducir el costo horario actual de mecánicos de S/ 8.42 soles. Mediante un plan de mantenimiento preventivo.

Tabla 16
Costo actual de mano de obra de sobretiempo

3. Sobretiempo de mantenimiento - mecánicos		Costo horario
Horas de trabajo por día	8	
Días trabajados	6	
Horas semanales	48	
Número de semanas	4	
Horas mensuales	192	
Número de meses	12	
Horas al año	2,304	
Número de personas en mantenimiento	2	
Horas al año para 2 personas de mantenimiento	4,608	
Horas extras (20% del total de horas al año)	921.6	
Costo por hora (personal mantenimiento)	S/ 22.00	
Costo total sobretiempo - mecánicos	S/ 20,275.20	S/ 1.68

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 16 se aprecia el costo total y horario que antes de la propuesta generaban los mecánicos debido a los trabajos con sobretiempo que realizan al reparar los tractores. Por ello, mediante un plan de mantenimiento preventivo se tratará de reducir el costo total de sobretiempo que actualmente es de S/ 20,275.20 soles, así como su costo horario de S/ 1.68 soles.

Tabla 17
Costo actual de materiales de operación

4. Materiales de operación		Costo horario
Petróleo	S/ 1,554,370.56	
Otros combustibles	S/ 172,271.23	
Productos químicos	S/ 4,828.03	
Suministros	S/ 6,550.30	
Otros materiales	S/ 5,343.83	
Costo total materiales de operación	S/ 1,743,363.95	S/ 144.76

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 17 se observa el costo total y horario que en la actualidad generan los materiales utilizados para operación de los tractores. Siendo los materiales de mayor consumo el petróleo y otros combustibles como por ejemplo aceites mobil delvac y mobiltrans HD. No obstante, con la ayuda de un plan de mantenimiento preventivo se reducirá el costo horario actual que es de S/ 144.76 soles.

Tabla 18
Costo actual de materiales de mantenimiento

5. Materiales de mantenimiento		Costo horario
Repuestos parte mecánica	S/ 614,629.66	
Repuestos parte eléctrica	S/ 409,753.10	
Costo total materiales de mantenimier	S/ 1,024,382.76	S/ 85.06

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 18 se señala el costo total y horario que actualmente producen los materiales utilizados para mantenimiento de los tractores. Donde los materiales mecánicos de mayor consumo son filtros de aceite de motor, cuchillas centrales y mangueras hidráulicas; mientras que los materiales eléctricos de mayor consumo son sensores de temperatura del aceite de transmisión. Por ello con la ayuda de un plan de mantenimiento preventivo se tratará de reducir el costo total y horario que actualmente son S/ 1,024,382.76 soles y S/ 85.06 soles respectivamente.

Tabla 19
Costo actual de depreciación

6. Otros costos		Costo horario
Depreciación - tractores de cadenas	S/ 1,014,426.00	
Costo total depreciación	S/ 1,014,426.00	S/ 84.23

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 19 se aprecia el costo total y horario de las depreciaciones actuales de los tractores. De modo similar, con la propuesta del plan de mantenimiento preventivo reduciremos el costo horario que actualmente es de S/ 84.23 soles.

Tabla 20
Costo actual de servicios prestados por terceros

7. Servicios de terceros		Costo horario
Trabajos eventuales	S/ 126,613.47	
Costo total servicios de terceros	S/ 126,613.47	S/ 10.51

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 20 se observa el costo total y horario que en la actualidad generan los trabajos brindados por contratistas, los cuales apoyan en trabajos de mantenimiento a los tractores de cadenas. Entre estos proveedores contratados tenemos aquellos dedicados a ver la parte eléctrica y electrónica de los equipos, otros dedicados al tema del aire acondicionado, otros de la parte mecánica y aquellos que reparan de manera general a los equipos. Así pues, con la ayuda de un plan de mantenimiento preventivo reduciremos el costo total de servicios prestados por terceros que antes de la propuesta es de S/ 126,613.47 soles, así como su costo horario que actualmente es de S/ 10.51 soles.

Tabla 21
Costo total actual de elementos que intervienen en mantenimientos

6 tractores de cadenas		Costo horario
Costo de operación	S/ 4,265,445.38	
Costo total de operación	S/ 4,265,445.38	S/ 354.18

Fuente: Elaboración propia.

Como se indica en la tabla 21 antes de proponer el plan de mantenimiento preventivo, el costo total de los elementos que intervienen en mantenimientos es de S/ 4,265,445.38 soles; mientras que el costo horario es S/ 354.18 soles. Los cuales se consideran que son elevados y que con ayuda de un plan de mantenimiento preventivo lograremos reducir. A continuación, se muestra las horas operadas actuales por los equipos pesados:

Tabla 22

Horas totales actuales de operación de equipos pesados

6 tractores de cadenas	
Horas de operación	12,043.20
Total horas operadas	12,043.20

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 22 se señala un total de 12,043.20 horas de operaciones normales de los 6 tractores (según performances), las cuales también con la ayuda de un plan de mantenimiento preventivo lograremos aumentar. La tabla que sigue indica el costo total actual de operación por reparación de equipos pesados:

Tabla 23

Determinación del costo total de operación actual por reparación de 6 equipos pesados en una empresa constructora de la región La Libertad 2018

Horas de reparación 6 tractores de cadenas	Costo horario	Costo total de operación por reparación
4,528.05	S/ 354.18	S/ 1,603,744.75

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se aprecia en la tabla 23 el costo total de operación que actualmente genera la reparación de 6 tractores de cadenas, teniendo en consideración las horas de reparación calculadas anteriormente y que son dedicadas para atender a las unidades; así como el costo horario que implica tener parados a los tractores por mantenimiento. Simultáneamente, se muestra la disponibilidad actual de cada equipo:

Tabla 24

Disponibilidad actual por equipo pesado

Tractor de cadena	TMEF	TMPR	Disponibilidad
D155AX6-1	21.83	8.10	72.94%
D155AX6-2	53.33	11.30	82.52%
D155AX6-3	44.27	9.55	82.26%
D155AX6-4	29.68	8.78	77.16%
D155AX6-5	35.99	9.48	79.16%
D155AX6-6	18.33	7.06	72.19%

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 24 podemos observar la disponibilidad actual por cada equipo, siendo el tractor de cadenas D155AX6-6 el de menor disponibilidad con 72.19%, mientras que el de mayor disponibilidad es el D155AX6-2 con 82.52%. Asimismo, se determinó que los 6 equipos tienen una disponibilidad promedio de 77.70%; la cual es considerada como baja por falta de un plan de mantenimiento preventivo para equipos pesados. La gráfica siguiente representa la disponibilidad actual de cada unidad:

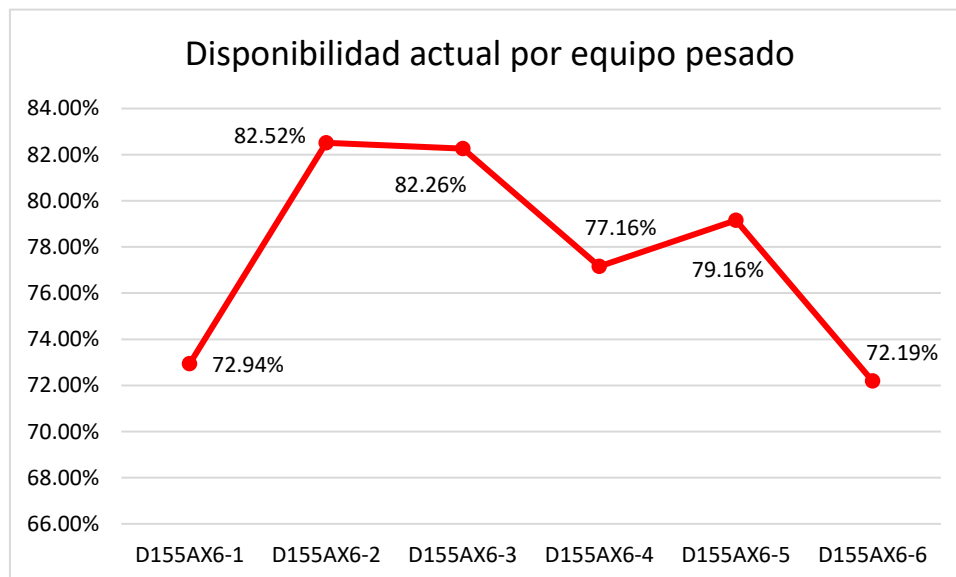


Figura 25. Disponibilidad actual.

En la figura 25 se detalla la disponibilidad actual por cada equipo, siendo el tractor de cadenas D155AX6-6 el de menor disponibilidad con 72.19%, mientras que el de mayor disponibilidad es el D155AX6-2 con 82.52%. Ante esto, con la ayuda de un plan de mantenimiento preventivo se logrará aumentar las disponibilidades de las unidades para que puedan tener más horas de operación en las obras de construcción y generen mayores ingresos por alquiler para la empresa.

Una vez determinado los indicadores y costos actuales de operación, se procede a diseñar y aplicar las herramientas de mejora de la propuesta como posibles soluciones a las causas raíces que generan costos de operación elevados de equipos pesados:

3.13.3. Solución de la propuesta

Programa de mantenimiento

PROGRAMACIÓN DE MANTENIMIENTO 2019													
Equipo	Marca	Modelo	Serie	Horómetro actual	PM1	PM2	PM3	PM4	PM1	PM2	PM3	PM4	PM1
					7/02/2019	16/03/2019	23/04/2019	31/05/2019	8/07/2019	15/08/2019	23/09/2019	31/10/2019	9/12/2019
Tractor de cadena	Komatsu	D155AX6-2	81303	6000 HRS	6250 HRS	6500 HRS	7000 HRS	8000 HRS	8250 HRS	8500 HRS	9000 HRS	10000 HRS	10250 HRS
Tractor de cadena	Komatsu	D155AX6-3	81512	6000 HRS	6250 HRS	6500 HRS	7000 HRS	8000 HRS	8250 HRS	8500 HRS	9000 HRS	10000 HRS	10250 HRS
Equipo	Marca	Modelo	Serie	Horómetro actual	PM1	PM2	PM3	PM4	PM1	PM2	PM3	PM4	PM1
					8/02/2019	19/03/2019	26/04/2019	5/06/2019	13/07/2019	22/08/2019	1/10/2019	11/11/2019	19/12/2019
Tractor de cadena	Komatsu	D155AX6-4	81513	12000 HRS	12250 HRS	12500 HRS	13000 HRS	14000 HRS	14250 HRS	14500 HRS	15000 HRS	250 HRS	500 HRS
Equipo	Marca	Modelo	Serie	Horómetro actual	PM1	PM2	PM3	PM4	PM1	PM2	PM3	PM4	PM1
					8/02/2019	19/03/2019	26/04/2019	5/06/2019	13/07/2019	22/08/2019	1/10/2019	11/11/2019	19/12/2019
Tractor de cadena	Komatsu	D155AX6-5	81516	9000 HRS	9250 HRS	9500 HRS	10000 HRS	11000 HRS	11250 HRS	11500 HRS	12000 HRS	13000 HRS	13250 HRS
Equipo	Marca	Modelo	Serie	Horómetro actual	PM1	PM2	PM3	PM4	PM1	PM2	PM3	PM4	PM1
					9/02/2019	21/03/2019	30/04/2019	10/06/2019	19/07/2019	29/08/2019	10/10/2019	20/11/2019	-
Tractor de cadena	Komatsu	D155AX6-1	81301	0	250 HRS	500 HRS	1000 HRS	2000 HRS	2250 HRS	2500 HRS	3000 HRS	4000 HRS	-
Tractor de cadena	Komatsu	D155AX6-6	81613	0	250 HRS	500 HRS	1000 HRS	2000 HRS	2250 HRS	2500 HRS	3000 HRS	4000 HRS	-

Figura 26. Programa de mantenimiento para tractores de cadenas.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 26 se observa las horas programadas proyectadas para mantenimiento de cada tractor en el 2019. Los cuales empezarían con su primer mantenimiento en el mes de febrero. Cabe mencionar que los tractores D155AX6-1 y D155AX6-6 tendrán un horómetro de cero al iniciar el 2019, debido a la reparación overhaul que se les realizará previamente por motivos de finalización su vida útil estimada de 5 años (desde 2013 al 2018).

a) Programa de mantenimiento de lubricación

MANTENIMIENTO TRACTORES DE CADENAS - LUBRICACIÓN			
250 HRS	500 HRS	1000 HRS	2000 HRS
PM1	PM2	PM3	PM4
Motor	Transmisión	Transmisión	Transmisión
Damper		Dirección	Sistema hidráulico
Eje pivot		Sistema hidráulico	Damper
Muelle recuperador		Mandos finales	
Cilindros hid. Levante			
Hoja dozer			
Ripper			
Barra ecualizadora			
Suspensión			

Figura 27. Mantenimiento de lubricación en tractores de cadenas.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 27 se muestra el programa de mantenimiento de lubricación para los tractores de cadenas; a las 250, 500, 1000 y 2000 horas según horómetro de tractor.

b) Programa de mantenimiento mecánico

MANTENIMIENTO TRACTORES DE CADENAS - MECÁNICO			
250 HRS	500 HRS	1000 HRS	2000 HRS
PM1	PM2	PM3	PM4
Sistema de enfriamiento	Sistema de enfriamiento	Sistema de enfriamiento	Sistema de enfriamiento
Tren de rodamientos	Tren de rodamientos	Tren de rodamientos	Tren de rodamientos
Implementos	Implementos	Implementos	Implementos
Sistema de combustible	Sistema de combustible	Sistema de combustible	Sistema de combustible
Motor	Motor	Motor	Motor
Sistema de enfriamiento	Sistema de enfriamiento	Sistema de enfriamiento	Sistema de enfriamiento
Sistema de aire acondicionado	Sistema de aire acondicionado	Sistema de aire acondicionado	Sistema de aire acondicionado
Cabina	Cabina	Cabina	Cabina

Figura 28. Mantenimiento mecánico en tractores de cadenas.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 28 se aprecia el programa de mantenimiento mecánico para los tractores de cadenas; a las 250, 500, 1000 y 2000 horas según horómetro de tractor.

c) Programa de mantenimiento eléctrico

MANTENIMIENTO TRACTORES DE CADENAS - ELÉCTRICO			
250 HRS	500 HRS	1000 HRS	2000 HRS
PM1	PM2	PM3	PM4
Sistema de carga	Sistema de carga	Sistema de carga	Sistema de carga
Sistema de aire acondicionado	Sistema de aire acondicionado	Sistema de aire acondicionado	Sistema de aire acondicionado
Sistema de limpia parabrizas	Sistema de limpia parabrizas	Sistema de limpia parabrizas	Sistema de limpia parabrizas
Sistema de alarma	Sistema de alarma	Sistema de alarma	Sistema de alarma
Sistema de luces	Sistema de luces	Sistema de luces	Sistema de luces
Sistema de cabina	Sistema de cabina	Sistema de cabina	Sistema de cabina

Figura 29. Mantenimiento eléctrico en tractores de cadenas.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 29 se indica el programa de mantenimiento eléctrico para los tractores de cadenas; a las 250, 500, 1000 y 2000 horas según horómetro de tractor.

Plan de Requerimiento de Materiales (MRP)

Para la elaboración del MRP, primero se realizó una clasificación ABC de los repuestos que tienen mayor rotación por falla, según la cantidad de consumo en el año 2018 de los tractores de cadenas:

Tabla 25
Clasificación ABC de repuestos

Repuesto	Tipo	Unidad de despacho	N° de parte	Costo unitario	Consumo	Valor del consumo	% consumo	Acumulado
Filtro de aceite de motor	mecánico	EA	600-211-1340	S/ 245.00	90	S/ 22,050.00	23%	23%
Sensor de temperatura del aceite de transmisión	eléctrico	EA	7861-93-3320	S/ 420.00	83	S/ 34,860.00	21%	43%
Manguera hidráulica	mecánico	EA	17M-49-44121	S/ 3,850.00	70	S/ 269,500.00	18%	61%
Cuchilla central	mecánico	EA	175-70-26310	S/ 490.00	65	S/ 31,850.00	16%	77%
Relay	eléctrico	EA	198-911-9240	S/ 211.75	23	S/ 4,870.25	6%	83%
Conector	eléctrico	EA	6261-11-5770	S/ 315.00	18	S/ 5,670.00	5%	87%
Pin	mecánico	EA	04205-10825	S/ 20.34	15	S/ 305.03	4%	91%
Arné de cableado	eléctrico	EA	17A-06-41223	S/ 4,753.00	15	S/ 71,295.00	4%	95%
Solenoides	eléctrico	EA	20Y-60-32110	S/ 1,718.50	13	S/ 22,340.50	3%	98%
Cable	eléctrico	EA	22D-43-14430	S/ 1,232.00	8	S/ 9,856.00	2%	100%
Total					400	S/ 472,596.78		

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 25 se señala los repuestos consumidos por mantenimiento de tractores de cadenas. La cual sirve para determinar que materiales tienen mayor rotación y así contar con un stop en el almacén de esos materiales al momento de realizar los mantenimientos.

En el siguiente gráfico se representa la clasificación de los repuestos de mayor rotación:

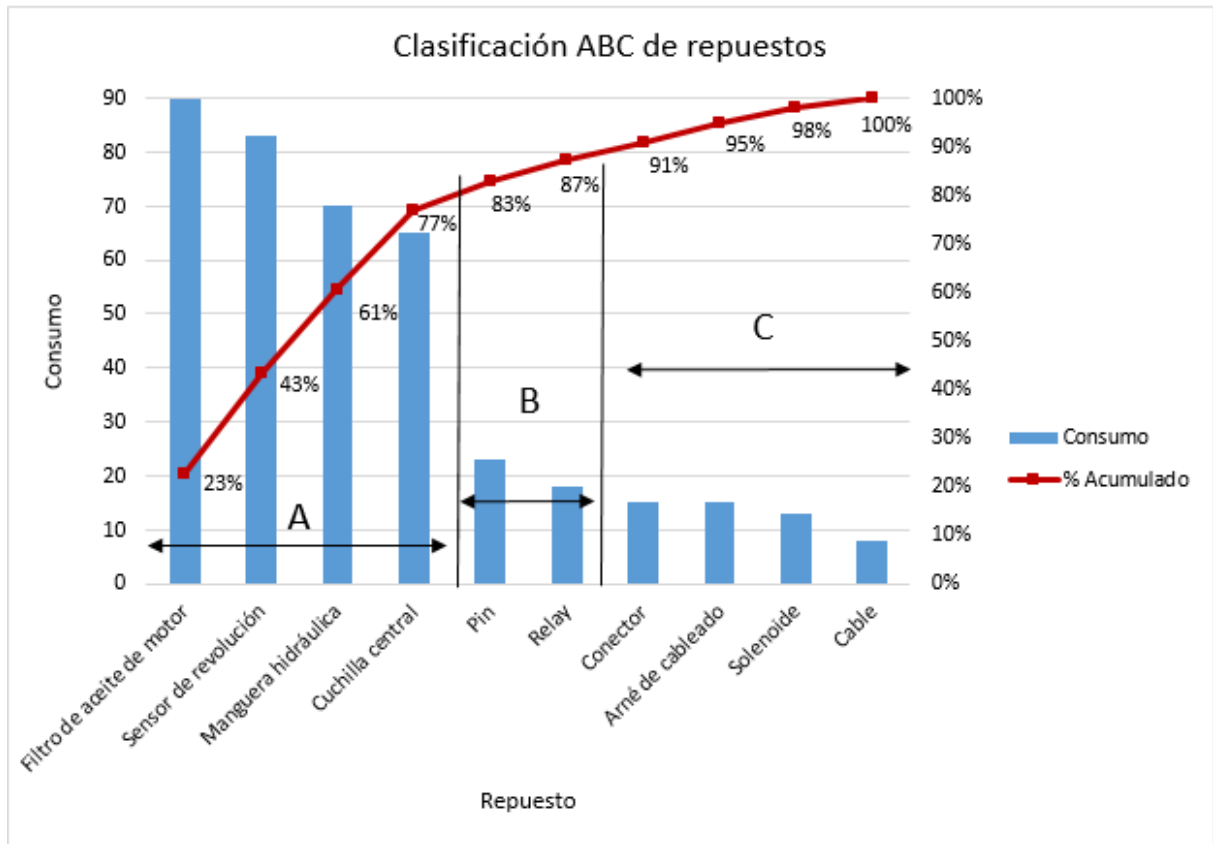


Figura 30. Clasificación ABC de repuestos en tractores de cadenas.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 30 se observa, los repuestos "A" que tienen mayor rotación por mantenimiento, los cuales son los 4 primeros y representan el 77% del total de consumo en el año 2018 (filtro de aceite de motor, sensor de temperatura del aceite de transmisión, manguera hidráulica y cuchilla central). En la próxima tabla se describe su clasificación:

Tabla 26
Repuestos clasificación "A"

Descripción
Filtro de aceite de motor
Sensor de temperatura del aceite de transmisión
Manguera hidráulica
Cuchilla central

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 26 se muestra los repuestos de la clasificación "A" que son más solicitados en los mantenimientos de tractores de cadenas. Teniendo en consideración estos repuestos se realizará el Plan de Requerimiento de Materiales. Para ello, se realizó un pronóstico de la demanda de servicios de mantenimiento para el año 2019:

Tabla 27
Número de servicios de mantenimiento para tractores de cadenas

MES	Servicios 2018	Demanda 2019
Enero	44	33
Febrero	43	32
Marzo	44	32
Abril	43	33
Mayo	44	32
Junio	43	33
Julio	44	33
Agosto	43	32
Setiembre	44	33
Octubre	44	32
Noviembre	44	32
Diciembre	44	33
Total	524	390

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 27 se hizo un pronóstico de la demanda del número de servicios de mantenimiento para los tractores de cadenas, ya que, en esos servicios se genera el consumo de los repuestos "A". Asimismo, se elaboró el Plan Maestro de Servicios (PMS) mensual, considerando la demanda de servicios de mantenimiento proyectados anteriormente. Esto ayudará a una mejor realización del Plan de Requerimiento de Materiales (MRP):

Tabla 28
Plan Maestro de Servicios Mensual

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
PMS	33	32	32	33	32	33	33	32	33	32	32	33

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 28, se determinó el PMS mensual puesto que se desea saber cuántos servicios de mantenimiento recibirán los tractores mensualmente. Al mismo tiempo se determinó el Plan Maestro de Servicios semanal, ya que las entregas de repuestos "A" se realizarán en forma semanal:

Luego se realizó un diagrama de árbol o descomposición del servicio de mantenimiento, teniendo en consideración los repuestos de la clasificación "A" que son necesarios para responder inmediatamente a las fallas en los tractores de cadenas y así puedan quedar operativos lo más pronto.

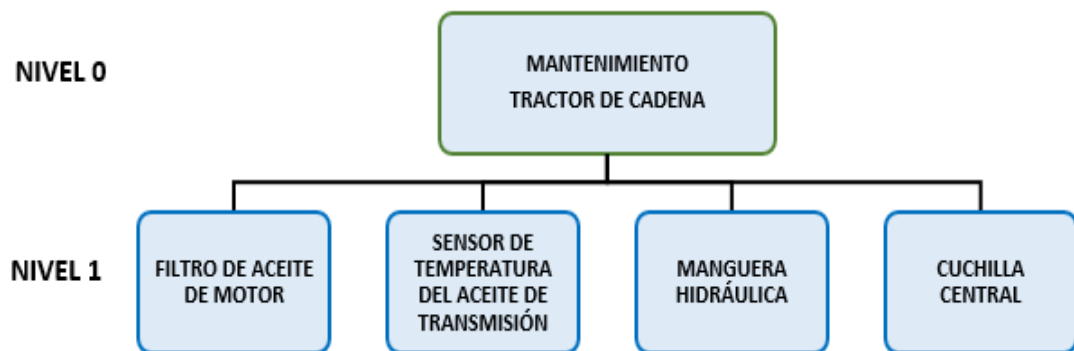


Figura 31. Descomposición del servicio de mantenimiento en tractores de cadenas.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 31 se observa un diagrama de árbol con los repuestos de la clasificación "A" considerados como los que presentan más fallas en los tractores de cadenas ante la falta de un plan de mantenimiento preventivo.

Posteriormente, se desarrolló el programa de pedidos planeados para los repuestos que se utilizan con mayor rotación en los servicios de mantenimiento de tractores de cadenas:

Tabla 30
Programa de Pedidos Planeados: repuestos para servicios de mantenimiento

Repuesto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Filtro de aceite de motor	32	32	32	33	32	33	33	33	32	32	32	25
Sensor de temperatura del aceite de transmisión	32	32	32	33	32	33	33	33	32	32	32	25
Manguera hidráulica	32	32	32	33	32	33	33	33	32	32	32	25
Cuchilla central	32	32	32	33	32	33	33	33	32	32	32	25

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 30 se indica la cantidad de repuestos de mayor rotación a solicitar para atender los servicios de mantenimiento del año 2019. Estos repuestos son: 381 unidades de filtros de aceite de motor, 381 unidades de sensores de temperatura del aceite de transmisión, 381 unidades de mangueras hidráulicas y 381 unidades de cuchillas centrales. De esta manera, se reducen las demoras por esperas de repuestos y se responde rápidamente ante la ocurrencia de alguna falla en los tractores de cadenas.

Hoja de ruta de mantenimiento de lubricación

A continuación, se presenta la hoja de ruta de mantenimiento de lubricación a las 250 horas según horómetro de tractor:

INSPECCION A LAS 250 HORAS			
Lubricación			
	Motor	Obtener muestra de aceite del motor	
		Cambiar aceite de motor	
		Cambiar filtro aceite de motor	
		Cambiar filtro de combustible	
		Cambiar filtro de agua (cartucho resistor y subresistor anticorrosión)	
	Dámper	Comprobar nivel de aceite, añadir de ser necesario	
	Eje pivote	Comprobar nivel de aceite, añadir de ser necesario	
Muelle recuperador	Comprobar nivel de aceite, añadir de ser necesario		
Engrasar			
	Cilindros hid. Levante	Balancin de soporte de los cilindros de levante (4 ptos)	
		Eje de soporte de los cilindros de levante de la hoja (2 ptos)	
	Hoja Dozer	Articulacion de la bola del brazo de la hoja (5 ptos)	
		Tornillo de la abrazadera (2 ptos)	
	Ripper		Pasador inferior del cilindro de volteo del escarificador (2 ptos)
			Pasador inferior del cilindro de levante del escarificador (2 ptos)
			Pasador extremo de la barra del cilindro de volteo del escarificador (2ptos)
			Pasador extremo de la barra del cilindro de levante del escarificador (2ptos)
		Pasador del brazo del escarificador delantero (2 ptos)	
		Pasador del brazo del escarificador trasero (2 ptos)	
	Barra ecualizadora	Eje lateral de la barra (2 ptos)	
	Barra ecualizadora	Eje lateral de la barra (2 ptos)	
	Suspensión	Eje central de la barra ecualizadora (1 pto)	

Figura 32. Mantenimiento de lubricación a 250 horas en tractores de cadenas.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 32 se aprecia la hoja de ruta de mantenimiento de lubricación a las 250 horas de horómetro. Este mantenimiento realiza lubricación y engrase a componentes como motor, dámper, eje de pivote, muelle recuperador, cilindros hidráulicos de levante, hoja dozer, ripper, barra ecualizadora y suspensión. Seguidamente, se muestra la hoja de ruta de mantenimiento de lubricación a las 500 horas según horómetro de tractor:

INSPECCION A LAS 500 HORAS		
Realice las tareas de mantenimiento indicadas:		
	Transmisión	Cambiar filtro de aceite de la transmisión
		Cambiar filtro de lubricacion de la dirección
		Cambiar filtro de carga de la dirección

Figura 33. Mantenimiento de lubricación a 500 horas en tractores de cadenas.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 33 se indica la hoja de ruta de mantenimiento de lubricación a las 500 horas de horómetro. Este mantenimiento realiza cambio de filtros para mejorar el rendimiento óptimo del sistema de transmisión de cada tractor.

Asimismo, se detalla la hoja de ruta de mantenimiento de lubricación a las 1000 horas según horómetro de tractor:

INSPECCION A LAS 1000 HORAS		
Realice las tareas de mantenimiento indicadas:		
Transmisión		Obtener muestra de aceite de la transmisión
		Cambiar aceite de transmisión
		Limpiar colador de la bomba de transmisión
		Limpiar colador de la bomba de purgado
Dirección		Limpiar respiradero de la caja de embrague de dirección
Sistema Hidráulico		Cambiar elemento del filtro hidráulico
Mandos finales		Obtener muestra de aceite de los mandos finales
		Cambiar aceite de los mandos finales

Figura 34. Mantenimiento de lubricación a 1000 horas en tractores de cadenas.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 34 se observa la hoja de ruta de lubricación a las 1000 horas de horómetro. Este mantenimiento incluye realizar tareas de limpieza, cambiar filtros y obtener muestras de aceite.

De la misma forma se presenta la hoja de ruta de mantenimiento de lubricación a las 2000 horas según horómetro de tractor:

INSPECCION A LAS 2000 HORAS		
Realice las tareas de mantenimiento indicadas:		
	Transmisión	Limpiar colador de la bomba de transmisión y bomba de purgado
	Sistema hidráulico	Obtener muestra de aceite del depósito hidráulico
		Cambiar aceite del depósito hidráulico
		Limpiar colador del depósito hidráulico
	Dámper	Limpiar respiradero

Figura 35. Mantenimiento de lubricación a 2000 horas en tractores de cadenas.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 35 se indica la hoja de ruta de mantenimiento de lubricación a las 2000 horas de horómetro. Este mantenimiento incluye realizar tareas de limpieza, obtener muestras y cambiar aceite en componentes como transmisión, sistema hidráulico y dámper respectivamente. Finalmente, se especifica los repuestos a utilizar en la hoja de ruta de mantenimiento de lubricación:

REPUESTOS PARA LUBRICACIÓN	
Componente	Repuesto
Motor	Filtro de aceite de motor
Combustible	Filtro de combustible
	Filtro separador de agua
Admisión	Filtro de aire primario/secundario
transmisión	Filtro de transmisión y dirección
	Filtro imantado
Hidráulico	Filtro hidráulico
	Filtro de precarga
Aire acondicionado	Filtro interior de cabina
	Filtro exterior de cabina

Figura 36. Filtros a utilizar en mantenimiento de lubricación.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 36 se señala los repuestos que se necesitarán para el mantenimiento de lubricación. Entre estos repuestos tenemos filtro de aceite de motor, de combustible, de separación de agua, de aire primario y secundario, de transmisión y dirección, imantado, hidráulico, precarga y filtro de aire acondicionado.

Hoja de ruta de mantenimiento mecánico

Igualmente, se muestra la hoja de ruta de mantenimiento mecánico con las mismas tareas a realizar a las 250, 500, 1000 y 2000 horas según horómetro de tractor:

INSPECCION A LAS 250; 500; 1000 Y 2000 HORAS		
Realice las tareas de mantenimiento indicadas:		
	Equipo	Lavado general (antes del lavado proteja el alternador)
Sistema de enfriamiento		
	Radiadores	Limpiar y lavar
	Enfriador hidráulico	Limpiar y lavar
Tren de rodamientos		
	Eslabón master	Comprobar que no exista holgura entre juntas. De haberlas limpiar, cambiar pernos. Torquear
	Zapatillas	Comprobar estado, buscar pernos flojos. Cambiar y torquear
	Segmentos	Comprobar estado, buscar pernos flojos. Cambiar y torquear
	Bastidor	Comprobar estado de eje, pernos y abrazaderas de rueda guía. Reapretar
		Comprobar estado de rodillo sup/inf, buscar pernos rotos. Cambiar
Implementos		
	Brazo RH/LH de hoja dozer	Verificar juego normal entre lánas, reapretar pernos de la tapa
	Hoja dozer (espalda hoja)	Verificar juego entre bolas y articulaciones, reapretar pernos. Comprobar juego normal entre pines y brackets.
	Cuchillas y cantoneras	Medir desgaste y ver daños en cuchillas y cantoneras. De pasar el límite o ver averías cambiarlos
	Pasamanos y escalones	Comprobar estado y daños. Reparar y reapretar pernos.
	Compartimiento de motor	Comprobar que abra y cierre normal. De haber daño repare y lubrique
	Compartimiento filtro de carga	Comprobar que abra y cierre normal. De haber daño repare y lubrique
Sistema de combustible		
	Colador de combustible de motor	Limpiar y lavar
	Colador de tanque de combustible	Limpiar y lavar
Motor		
	Respiradero de motor	Limpiar
	Turbocompresor	Reapretar pernos de abrazadera de manguera del filtro de aire, postenfriador y motor. De haber daño, cambiarlos
	Filtro de aire	Cambiar
Sistema de enfriamiento		
	Tapa de presión del radiador	Limpiar
Sistema de aire acondicionado		
	Filtro AC exterior cabina	Cambiar
	Filtro AC interior cabina	Cambiar
Cabina		
	Pedal de freno	Comprobar funcionamiento, lubricar
	Pedal acelerador	Comprobar funcionamiento, lubricar
	Puerta de cabina	Comprobar estado y funcionamiento
	Asiento de cabina	Comprobar estado y funcionamiento
		Comprobar estado y funcionamiento del cinturón de seguridad

Figura 37. Mantenimiento mecánico tractores de cadenas.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 37 se observa la hoja de ruta de mantenimiento mecánico para los tractores de cadenas. Donde se ejecutan diversas actividades en componentes como sistema de enfriamiento, tren de rodamientos, implementos, sistema de combustible, motor, sistema de aire acondicionado y cabina del operador.

Hoja de ruta de mantenimiento eléctrico

Al mismo tiempo, se presenta la hoja de ruta de mantenimiento eléctrico con las mismas tareas a realizar a las 250, 500, 1000 y 2000 horas según horómetro de tractor:

INSPECCION A LAS 250; 500; 1000 Y 2000 HORAS		
Realice las tareas de mantenimiento indicadas:		
Sistema de carga		
	Alternador	Comprobar funcionamiento, anotar voltaje máximo y mínimo
	Baterías	Comprobar estado de bornes, buscar flojedad, ajustar. Medir voltaje. Cambiar
	Relay de batería	Limpiar conexiones
	Faja de alternador	Verificar soltura, buscar grietas. Cambiar y ajustar
	Templadores	Verificar juego, comprobar que gire suavemente. Cambiar y/o ajustar
Sistema de Aire Acondicionado		
	Aire acondicionado	Comprobar funcionamiento
Sistema limpiaparabrisas		
	Trico	Comprobar estado y funcionamiento
	Plumillas	Comprobar estado y funcionamiento. Cambiar de ser necesario
Sistema de alarma		
	Alarma de retroceso	Comprobar estado y funcionamiento
	Luz estroboscópica	Comprobar estado y funcionamiento
Sistema de luces		
	Faros delanteros	Comprobar estado y luces
	Faros posteriores	Comprobar estado y luces
	Faros adicionales	Comprobar estado y luces
Sistema de cabina		
	Ventilador de cabina	Comprobar estado y funcionamiento









Figura 38. Mantenimiento eléctrico tractores de cadenas.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 38 se aprecia la hoja de ruta de mantenimiento eléctrico para los tractores de cadenas. Donde se ejecutan diversas actividades en componentes como sistema de carga, sistema de aire acondicionado, sistema de limpiaparabrisas, sistema de alarma, sistema de luces y sistema de cabina.

Diagrama de operaciones de la hoja de ruta de mantenimiento

Se hizo un diagrama de operaciones de la hoja de ruta de mantenimiento a las 250 horas según el horómetro de tractor:

Hoja de ruta de mantenimiento a las 250 HRS.		n°	Hrs.			
	Operación	28	3.80			
	Inspección	11	1.50	El diagrama empieza: 1		
	Transporte	0	0	El diagrama termina: 61		
	Combinada	22	2.67			
TOTAL		61	7.97			
Item	Actividades					Tiempo (horas)
1	Obtener muestra de aceite del motor.	•				0.08
2	Cambiar aceite de motor.	•				0.15
3	Cambiar filtro aceite de motor.	•				0.15
4	Cambiar filtro de combustible de motor.	•				0.15
5	Cambiar filtro de agua de motor.	•				0.15
6	Comprobar nivel de aceite de dámper, añadir de ser necesario.	•			•	0.15
7	Comprobar nivel de aceite de eje pivote, añadir de ser necesario.				•	0.15
8	Comprobar nivel de aceite de muelle recuperador, añadir de ser necesario.				•	0.12
9	Engrasar balancin de soporte de los cilindros de levante (4 ptos).	•			•	0.12
10	Engrasar eje de soporte de los cilindros de levante de la hoja (2 ptos).	•				0.10
11	Engrasar articulacion de la bola del brazo de la hoja dozer (5 ptos).	•				0.12
12	Engrasar tornillo de la abrazadera de hoja dozer (2 ptos).	•				0.10
13	Engrasar pasador inferior del cilindro de volteo del escarificador (2 ptos).	•				0.10
14	Engrasar pasador inferior del cilindro de levante del escarificador (2 ptos).	•				0.10
15	Engrasar pasador extremo de la barra del cilindro de volteo del escarificador (2 ptos).	•				0.22
16	Engrasar pasador extremo de la barra del cilindro de levante del escarificador (2 ptos).	•				0.22
17	Engrasar pasador del brazo del escarificador delantero (2 ptos).	•				0.12
18	Engrasar pasador del brazo del escarificador trasero (2 ptos).	•				0.12
19	Engrasar eje lateral de la barra ecualizadora (2 ptos).	•				0.12
20	Engrasar eje central de la barra ecualizadora (1 pto).	•				0.12
21	Lavado general del tractor.	•				0.70
22	Limpiar y lavar radiadores.	•				0.07
23	Limpiar y lavar enfriador hidráulico.	•				0.07
24	Limpiar tapa de presión del radiador.	•				0.07
25	Comprobar que no exista holgura entre juntas en eslabón master. De haber limpiar, cambiar pernos. Torquear.				•	0.08
26	Comprobar estado de zapatas, buscar pernos flojos. Cambiar y torquear.				•	0.08
27	Comprobar estado de segmentos, buscar pernos flojos. Cambiar y torquear.				•	0.08
28	Comprobar estado de eje, pernos y abrazaderas de rueda guia del bastidor. Reapretar.				•	0.08
29	Comprobar estado de rodillo sup/inf del bastidor, buscar pernos rotos. Cambiar.				•	0.08
30	Brazo RH/LH de hoja dozer, Verificar juego normal entre l�inas, reapretar pernos de tapa.				•	0.08
31	Hoja dozer (espalda hoja), verificar jgo entre bolas y articulaciones, reapretar pernos. Comprobar jgo normal entre pines y brakets.				•	0.08
32	Cuchillas y cantoneras, medir desgaste y ver daños. De pasar el límite o ver averías cambiarlos.				•	0.08
33	Pasamanos y escalones, comprobar estado y daños. Reparar y reapretar pernos.				•	0.07

34	Compartimiento de motor, comprobar que abra y cierre normal. De haber daño repare y lubrique.					0.08
35	Compartimiento filtro de carga, comprobar que abra y cierre normal. De haber daño repare y lubrique.					0.08
36	Limpiar y lavar colador de combustible de motor.					0.08
37	Limpiar y lavar colador de tanque de combustible.					0.07
38	Limpiar respiradero de motor.					0.07
39	Turbocompresor, reapretar pernos de abrazadera de manguera del filtro de aire, postenfriador y motor. De haber daño, cambiarlos.					0.08
40	Cambiar filtro de aire de motor.					0.08
41	Cambiar filtro de aire acondicionado exterior.					0.08
42	Cambiar filtro de aire acondicionado interior de cabina.					0.07
43	Comprobar funcionamiento y lubricar pedal de freno.					0.07
44	Comprobar funcionamiento y lubricar pedal acelerador.					0.07
45	Comprobar estado y funcionamiento puerta de cabina.					0.07
46	Asiento de cabina, comprobar estado y funcionamiento.					0.07
47	Asiento de cabina, comprobar estado y funcionamiento del cinturón de seguridad de asiento de cabina.					0.07
48	Alternador, comprobar funcionamiento, anotar voltaje máximo y mínimo.					0.34
49	Baterías, comprobar estado de bornes, buscar flojedad, ajustar. Medir voltaje. Cambiar.					0.25
50	Relay de batería, limpiar conexiones.					0.20
51	Faja de alternador, verificar soltura, buscar grietas. Cambiar y ajustar.					0.25
52	Templadores, verificar juego, comprobar que gire suavemente. Cambiar y/o ajustar.					0.17
53	Aire acondicionado, comprobar funcionamiento.					0.25
54	Trico, comprobar estado y funcionamiento.					0.15
55	Plumillas, comprobar estado y funcionamiento. Cambiar de ser necesario.					0.15
56	Alarma de retroceso, comprobar estado y funcionamiento.					0.15
57	Luz estroboscópica, comprobar estado y funcionamiento.					0.15
58	Faros delanteros, comprobar estado y luces.					0.15
59	Faros posteriores, comprobar estado y luces.					0.15
60	Faros adicionales, comprobar estado y luces.					0.15
61	Ventilador de cabina, comprobar estado y funcionamiento.					0.15
TOTAL						7.97

Figura 39. Diagrama de actividades del mantenimiento preventivo.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 39 se detalla el diagrama de operaciones de la hoja de ruta de mantenimiento (lubricación, mecánico y eléctrico) que se realizará a las 250 horas según horómetro de cada tractor. Siendo en total 7.97 horas las que se emplearán para el nuevo mantenimiento y con ello también se reducirán los tiempos por reparación de equipos pesados.

Contratación de un planner de mantenimiento



Figura 40. Planner de mantenimiento de equipos pesados.

Fuente: Elaboración propia.

El planner de mantenimiento de equipos pesados (contratado) realizará las siguientes funciones:

- Coordinar, gestionar, supervisar y dar conformidad a los mantenimientos preventivos según el programa de mantenimiento. Así como a los mantenimientos correctivos por fallas imprevistas.
- Planificar que el personal interno y externo, herramientas y repuestos sean asignados con anticipación y así lograr que los mantenimientos se realicen en el tiempo y costos establecidos.

- Brindar información sobre los indicadores de mantenimiento (tiempo medio entre falla, tiempo medio para reparación, disponibilidad y costos de operación) en forma semanal, quincenal o mensual. Según como lo disponga la gerencia para la toma de decisiones.

Confección de formatos de control

El plan de mantenimiento preventivo debe ir de la mano con la creación de una base de datos, como: reporte de fallas, orden de trabajo, check list e historial de mantenimientos, control de combustible y hoja de mantenimiento diaria. Todos estos formatos deberán ser llenados y almacenados correctamente. De esta manera se podrá monitorear, inspeccionar y detectar fallas en los tractores de cadenas, así como aumentar sus horas de operación en las obras de construcción.

a) Formato de reporte de fallas

FORMATO DE REPORTE DE FALLAS				
N° <u>000005</u>				
EQUIPO:	Tractor de cadena D155AX6-6			
SERIE:	81613			
HORÓMETRO:	250 horas			
FECHA:	9/02/2019			
MECÁNICO:	Carlos Mantilla Gutiérrez			
COMPONENTE	ACCIÓN A TOMAR			
	LUBRICACIÓN	AJUSTE	REPARACIÓN	SUSTITUCIÓN
Motor				
Filtro				X
Fajas				
Cadenas				
Bomba de aceite				
Sensor				X
Cable				
Manguera				X
Carter				
Radiador				
Tren de rodamiento				
Enfriador				
Válvula				
Controles de transmisión				
Pedal				
Hoja dozer				
Cucharon				
Cuchilla				
Cantenera				
OBSERVACIONES:				
Filtro de aceite de motor sucio y obstruido.				
Sensor de temperatura del aceite de transmisión dañado por variación de voltaje.				
Manguera hidráulica del cilindro de ripper reseca.				

FIRMA DEL MECÁNICO

Figura 41. Formato de reporte de fallas.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 41 se muestra el formato para reporte de fallas, el cual se utiliza para anotar las causas que las originan y así contar con un historial que permita monitorearlas constantemente hasta llegar a una solución que pueda reducirlas o evitarlas.

b) Orden de trabajo (O.T)

ORDEN DE TRABAJO		
N° 000007		
DESCRIPCIÓN: Realizar mantenimiento preventivo según PM1 programado a 250 horas		
EQUIPO:	Tractor de cadena	SERIE: 81613
MARCA:	Komatsu	UBICACIÓN: Gobierno regional - La Libertad
MODELO:	D155AX6-6	HORÓMETRO: 250 HRS.
FECHA DE INGRESO:	9/02/2019	HORA DE INGRESO: 08:30:00
SOLICITADA:	William Huaman	
AUTORIZADA:	Omar Iberico	
RESPONSABLE DE EJECUCIÓN:	William Huaman	
DESCRIPCIÓN DE LA TAREA	TIEMPO ESTIMADO	TIEMPO REAL DE EJECUCIÓN
Realizar mantenimiento de lubricación	2.66 HRS.	2.66 HRS.
Realizar mantenimiento mecánico	2.66 HRS.	2.66 HRS.
Realizar mantenimiento eléctrico	2.65 HRS.	2.65 HRS.
DESCRIPCIÓN DE LOS REPUESTOS	CANTIDAD PLANIFICADA	CANTIDAD UTILIZADA
Filtro de aceite de motor	1 unidad	1 unidad
Filtro de combustible	1 unidad	1 unidad
Filtro separador de agua	1 unidad	1 unidad
Perno de eslabón master	2 unidades	-
Perno de zapata	2 unidades	-
Perno de segmentos	10 unidades	-
Perno de rodillo	2 unidades	-
Perno de tapa - brazos RH/LH	2 unidades	-
Perno hoja dozer (espalda hoja)	2 unidades	-
Cuchilla central	1 unidad	-
Cantонера	1 unidad	-
Perno de pasamanos	2 unidades	-
Perno de abrazadera manguera filtro de aire	2 unidades	-
Filtro de aire primario y secundario	1 kit	1 kit
Filtro de aire acondicionado	1 unidad	1 unidad
Batería	1 unidad	-
Faja de alternador	1 unidad	1 unidad
Bornes de batería	2 unidades	2 unidades
Templadores	2 unidades	-
Plumillas de limpiaparabrisas	2 unidades	-
Otros:		
Manguera hidráulica	1 unidad	1 unidad
Sensor de temperatura del aceite de transmisión	1 unidad	1 unidad
Aceite mobil delvac MX 15W/40	2.53 galones	2.53 galones
Aceite mobiltrans HD 30	1.17 galones	1.17 galones
DESCRIPCIÓN DE LAS HERRAMIENTAS A UTILIZAR		
1	Hidrolavadora, sopladora, trapo industrial, multímetro, manómetro, martillo,	
2	sierra, alicate, llave inglesa, desarmador, thinner acrílico, guaípe.	
3		
PERSONAL PARA LA EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS		
Carlos Mantilla Gutiérrez (mecánico)		
Luis Moya Lizarraga (mecánico)		
OBSERVACIONES:		
¿CÓMO LO ENCONTRÓ?	¿ QUÉ HIZO?	¿ CÓMO QUEDÓ?
Filtro de aceite de motor sucio y obstruido.	Se cambió filtro.	Operativo.
Sensor de temperatura del aceite de transmisión dañado por variación de voltaje.	Se cambió sensor.	Operativo.
Manguera hidráulica del cilindro del ripper reseca.	Se cambió manguera.	Operativo.

FIRMA DEL PLANNER DE MANTENIMIENTO

FIRMA DEL MECÁNICO

Figura 42. Orden de trabajo de mantenimiento.

Fuente: Elaboración propia.

La figura 42 muestra una orden de trabajo de mantenimiento. Este formato de control es importante cuando se presenta una avería, ya que mediante su utilización se procede a realizar la reparación requerida para que el equipo pueda estar nuevamente en funcionamiento.

c) Formato de check list de mantenimiento

Este formato permite a los mecánicos acceder rápidamente a una lista de acciones, al realizar el mantenimiento a un equipo. Su llenado se hace al momento de culminar una actividad.

EQUIPO:	Tractor de cadena	MODELO:	D155AX6-6			
TIPO DE MANTENIMIENTO:	PM1					
HORÓMETRO:	250 HRS.					
FECHA:	9/02/2019					
MECÁNICO:	Luis Moya Lizarraga					
CHECK LIST DE MANTENIMIENTO - LUBRICACIÓN:						
COMPONENTE	TIPO DE MANTENIMIENTO					
	MP1 250	MP2 500	MP3 1000	MP4 2000		
MOTOR						
Obtener muestra de aceite del motor.	X					
Cambiar aceite de motor.	X					
Cambiar filtro aceite de motor.	X					
Cambiar filtro de combustible.	X					
Cambiar filtro de agua (cartucho resistor y subresistor anticorrosión).	X					
DÁMPER						
Comprobar nivel de aceite, añadir de ser necesario.	X					
Limpiar respiradero.						
EJE PIVOTE						
Comprobar nivel de aceite, añadir de ser necesario.	X					
MUELLE RECUPERADOR						
Comprobar nivel de aceite, añadir de ser necesario.	X					
CILINDROS HIDRÁULICOS LEVANTE						
Engrasar balancín de soporte de los cilindros de levante (4 ptos).	X					
Engrasar eje de soporte de los cilindros de levante de la hoja (2 ptos).	X					
HOJA DOZER						
Engrasar articulación de la bola del brazo de la hoja (5 ptos).	X					
Engrasar tornillo de la abrazadera (2 ptos).	X					
RIPPER						
Engrasar pasador inferior del cilindro de volteo del escarificador (2 ptos).	X					
Engrasar pasador inferior del cilindro de levante del escarificador (2 ptos).	X					
Engrasar pasador extremo de la barra del cilindro de volteo del escarificador (2ptos).	X					
Engrasar pasador extremo de la barra del cilindro de levante del escarificador (2ptos).	X					
Engrasar pasador del brazo del escarificador delantero (2 ptos).	X					
Engrasar pasador del brazo del escarificador trasero (2 ptos).	X					
BARRA ECUALIZADORA						
Engrasar eje lateral de la barra (2 ptos).	X					
SUSPENSIÓN						
Engrasar eje central de la barra ecualizadora (1 pto).	X					

Figura 43. Formato de check list de mantenimiento lubricación.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 43 se aprecia el llenado del check list de mantenimiento de lubricación a las 250 horas según horómetro.

EQUIPO:	Tractor de cadena	MODELO:	D155AX6-6		
TIPO DE MANTENIMIENTO:	PM1				
HORÓMETRO:	250 HRS.				
FECHA:	9/02/2019				
MECÁNICO:	Luis Moya Lizarraga				
CHECK LIST DE MANTENIMIENTO - MECÁNICO:					
COMPONENTE	TIPO DE MANTENIMIENTO				
	MP1 250	MP2 500	MP3 1000	MP4 2000	
EQUIPO					
Lavado general (antes del lavado proteja el alternador).	X				
SISTEMA DE ENFRIAMIENTO					
Limpiar y lavar radiadores.	X				
Limpiar y lavar enfriador hidráulico.	X				
Limpiar tapa de presión del radiador.	X				
TREN DE RODAMIENTOS					
Comprobar que no exista holgura entre juntas en eslabón master. De haberlas limpiar, cambiar pernos. Torquear.	X				
Comprobar estado de zapatas, buscar pernos flojos. Cambiar y torquear.	X				
Comprobar estado de segmentos, buscar pernos flojos. Cambiar y torquear.	X				
Comprobar estado de eje, pernos y abrazaderas de rueda guía del bastidor. Reapretar.	X				
Comprobar estado de rodillo sup/inf del bastidor, buscar pernos rotos. Cambiar.	X				
IMPLEMENTOS					
Brazo RH/LH de hoja dozer, verificar juego normal entre laines, reapretar pernos de la tapa.	X				
Hoja dozer (espalda hoja), verificar jgo entre bolas y articulaciones, reapretar pernos. Comprobar jgo normal entre pines y brackets.	X				
Cuchillas y cantoneras, medir desgaste y ver daños. De pasar el límite o ver averías cambiarlos.	X				
Pasamanos y escalones, comprobar estado y daños. Reparar y reapretar pernos.	X				
Compartimiento de motor, comprobar que abra y cierre normal. De haber daño repare y lubrique.	X				
Compartimiento filtro de carga, comprobar que abra y cierre normal. De haber daño repare y lubrique.	X				
SISTEMA DE COMBUSTIBLE					
Limpiar y lavar colador de combustible de motor.	X				
Limpiar y lavar colador de tanque de combustible.	X				
MOTOR					
Limpiar respiradero de motor.	X				
Turbocompresor, reapretar pernos de abrazadera de manguera del filtro de aire, postenfriador y motor. De haber daño, cambiarlos.	X				
Cambiar filtro de aire.	X				
SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO					
Cambiar filtro de aire acondicionado exterior.	X				
Cambiar filtro de aire acondicionado interior de cabina.	X				
CABINA					
Comprobar funcionamiento y lubricar pedal de freno.	X				
Comprobar funcionamiento y lubricar pedal acelerador.	X				
Comprobar estado y funcionamiento puerta de cabina.	X				
Asiento de cabina, comprobar estado y funcionamiento.	X				
Asiento de cabina, comprobar estado y funcionamiento del cinturón de seguridad de asiento de cabina.	X				

Figura 44. Formato de check list de mantenimiento mecánico.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 44 se detalla el llenado del check list de mantenimiento mecánico a las 250 horas según horómetro.

EQUIPO:	Tractor de cadena	MODELO:	D155AX6-6		
TIPO DE MANTENIMIENTO:	PM1				
HORÓMETRO:	250 HRS.				
FECHA:	9/02/2019				
MECÁNICO:	Luis Moya Lizarraga				
CHECK LIST DE MANTENIMIENTO - ELÉCTRICO:					
COMPONENTE	TIPO DE MANTENIMIENTO				
	MP1	MP2	MP3	MP4	
	250	500	1000	2000	
SISTEMA DE CARGA					
Alternador, comprobar funcionamiento, anotar voltaje máximo y mínimo.	X				
Baterías, comprobar estado de bornes, buscar flojedad, ajustar.	X				
Mediar voltaje. Cambiar.					
Relay de batería, limpiar conexiones.	X				
Faja de alternador, verificar soltura, buscar grietas. Cambiar y ajustar.	X				
Templadores, verificar juego, comprobar que gire suavemente.	X				
Cambiar y/o ajustar.					
SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO					
Aire acondicionado, comprobar funcionamiento.	X				
SISTEMA LIMPIAPARABRIZAS					
Trico, comprobar estado y funcionamiento.	X				
Plumillas, comprobar estado y funcionamiento. Cambiar de ser necesario.	X				
SISTEMA DE ALARMAS					
Alarma de retroceso, comprobar estado y funcionamiento.	X				
Luz estroboscópica, comprobar estado y funcionamiento.	X				
SISTEMA DE LUCES					
Faros delanteros, comprobar estado y luces.	X				
Faros posteriores, comprobar estado y luces.	X				
Faros adicionales, comprobar estado y luces.	X				
SISTEMA DE CABINA					
Ventilador de cabina, comprobar estado y funcionamiento.	X				

Figura 45. Formato de check list de mantenimiento eléctrico.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 45 se observa el llenado del check list de mantenimiento eléctrico a las 250 horas según horómetro.

d) Formato de historial de mantenimientos

FORMATO DE HISTORIAL DE MANTENIMIENTOS					
N° 000007					
EQUIPO:	Tractor de cadena	MODELO:	D155AX6-6		
TIPO DE MANTENIMIENTO:	Mantenimiento preventivo PM1				
N° O.T.	000007				
HORÓMETRO:	250 HRS.				
FECHA:	9/02/2019				
MECÁNICO:	Carlos Mantilla Gutiérrez				
FECHA	TIEMPO	ACTIVIDAD REALIZADA	REPUESTOS REEMPLAZADOS	ENCARGADO	OBSERVACIONES
9/02/2019	2.66 HRS.	Mantenimiento de lubricación	Filtro de aceite de motor, filtro de combustible, filtro separador de agua. Cambio de aceites de motor.	William Huaman	Filtro de aceite de motor sucio y obstruido.
9/02/2019	2.66 HRS.	Mantenimiento mecánico	Filtro de aire primario y secundario, filtro de aire acondicionado, manguera hidráulica.	William Huaman	Manguera hidráulica del cilindro del ripper reseca.
9/02/2019	2.65 HRS.	Mantenimiento eléctrico	Sensor de temperatura del aceite de transmisión.	William Huaman	Sensor de temperatura del aceite de transmisión dañado por variación de voltaje.

FIRMA DEL MECÁNICO

Figura 46. Formato de historial de mantenimientos.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 46 se señala el formato de historial de mantenimientos. El cual permite llevar un control de los mantenimientos preventivos y correctivos realizados, siendo de

mucha utilidad porque permitirá conocer los mantenimientos efectuados a un tractor a lo largo de su vida útil.

e) Formato de control de combustible

FORMATO DE CONTROL DE COMBUSTIBLE		
N° 000010		
EQUIPO:	Tractor de cadena	
MODELO:	D155AX6-6	
SERIE:	81613	
FECHA:	9/02/2019	
MECÁNICO:	Luis Moya Lizarraga	
FECHA DE SALIDA	HORA DE SALIDA	HORÓMETRO DE SALIDA
9/02/2019	08:00	248.16 HRS.
FECHA DE REGRESO	HORA DE REGRESO	HORÓMETRO DE REGRESO
9/02/2019	10:24:15	250 HRS.
TRABAJO REALIZADO:		
Cambio de aceites a las 250 horas según programa de mantenimiento PM1.		
Material	Cantidad	
Aceite mobil delvac MX 15W/40	2.53 galones	
Aceite mobiltrans HD 30	1.17 galones	
----- FIRMA DEL OPERADOR		

Figura 47. Formato de control de combustible.

Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, la figura 47 muestra el formato para control de combustible. El cual servirá para tener un control y registro del combustible consumido por un equipo en un determinado período de tiempo.

f) Hoja de mantenimiento diaria a cargo del operador

HOJA DE MANTENIMIENTO DIARIA A CARGO DEL OPERADOR						
Equipo	Descripción de código					
	Realizado	✓	Engrasado	E	Cambiado	C
D155AX6-6	Limpiado	L	Drenado	D		
	Reparado	R	Pendiente	P		
A.	INSPECCIÓN					
1.	Motor: observar fugas de aceite o combustible, partes flojas, cables sueltos, exceso de suciedad.					✓
2.	Sistema de enfriamiento: observar fugas, abolladuras, suciedad, estado de mangueras, abrazaderas flojas.					✓
3.	Sistema hidráulico: observar fugas, estado de mangueras, roturas o rozamientos, varillas flojas.					✓
4.	Hoja topadora: observar si las cuchillas y cantoneras presentan desgaste mayor.					✓
5.	Ripper: observar si hay desgaste mayor en puntas de penetración.					✓
6.	Cabina: comprobar desplazamiento de pedales de aceleración y freno.					✓
7.	Aire acondicionado: comprobar ventilación. Regular de ser necesario.					✓
8.	Sistema de control electrónico: comprobar que funcione correctamente.					✓
9.	Monitor electrónico: observar lectura de horómetro para ver si es momento de realizar algún mantenimiento.					✓
10.	Sistema de luces: comprobar funcionamiento de faros.					✓
11.	Limpiaparabrisas: comprobar nivel del líquido. Añadir de ser necesario.					✓
12.	Batería: verificar que no haya daños.					✓
B.	REVISIÓN DE ACEITES, COMBUSTIBLES Y LÍQUIDOS					
1.	Verificar nivel de aceite del motor.					✓
2.	Verificar nivel de combustible del motor.					✓
3.	Verificar líquido refrigerante del sistema de enfriamiento.					✓
4.	Verificar nivel y temperatura de aceite del sistema hidráulico.					✓
5.	Verificar nivel de aceite del tren de rodamiento.					✓
C.	LIMPIEZA, ENGRASE Y DRENADO					
1.	Limpiar cabina.					L
2.	Limpiar batería.					L
3.	Limpiar filtros.					L
4.	Limpiar tren de rodamiento.					L
5.	Engrasar pin de la hoja topadora.					E
6.	Engrasar pin del ripper.					E
7.	Engrasar bisagras de las puertas de cabina.					E
8.	Drenar acumulación de agua y sedimentos del tanque de combustible.					D
D.	REPARACIONES MENORES					
1.	Ajustar los intervalos de mantenimiento preventivo vía monitor electrónico.					✓
2.	Verificar si hay tuercas o pernos flojos en las partes del tren de rodamiento. De haber, reapretar a tensión adecuada.					R
3.	Sustituir piezas simples (aceite, combustible, líquido refrigerante, filtros, mangueras, sellos hidráulicos, o-ring).					C
E.	DETECCIÓN DE RUIDOS ANORMALES					
1.	Detectar exceso de ruido, calor o vibraciones.					✓
OBSERVACIONES: filtro de aceite de motor sucio y obstruido, manguera hidráulica del cilindro del ripper reseca y sensor de temperatura del aceite de transmisión dañado por variación de voltaje.						

Figura 48. Hoja de mantenimiento diaria a cargo del operador.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 48 se describe la hoja de mantenimiento diaria a cargo del operador para que pueda desarrollar actividades básicas de mantenimiento en el tractor de cadenas.

Plan de capacitación

A continuación se presenta el plan de capacitación para el personal mecánico y operador de la empresa:

Tabla 31
Temario de capacitación al personal

Curso	Temario de capacitaciones	Costo unitario
Mantenimiento de maquinaria pesada	Mantenimiento de equipo pesado	S/ 3,000.00
	Análisis técnico	
	Lubricación de equipos pesados	
	Introducción al análisis de fallas	
Formación y operación tractor de cadena	Características del equipo: especificaciones y componentes principales	S/ 7,995.00
	Familiarización de mandos y controles	
	Sistema de monitor	
	Procedimientos operacionales	
Mantenimiento autónomo de maquinaria pesada	Operación básica de tractor de cadena	S/ 1,890.00
	Teoría sobre mantenimiento autónomo	
	Actividades básicas de mantenimiento autónomo	
	Taller práctico de aplicación de mantenimiento autónomo	

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 31 muestra la relación de cursos y los costos para capacitar a los mecánicos y operadores de la empresa constructora de la región La Libertad. Estas capacitaciones se realizarán una vez al año y durante tres semanas.

La figura que sigue detalla la capacitación para los mecánicos en mantenimiento de maquinaria pesada:

N°	Compromisos de la organización	Programa/ ejecución	Ene-19				Compromiso del personal		% personal capacitado
			2da semana				Invitados	Asistentes	
			Lun	Mar	Mier	Jue			
7	8	9	10						
1	Mantenimiento de equipo pesado	Programado	X				2		100%
		Ejecutado	X					2	
2	Análisis técnico	Programado		X			2		100%
		Ejecutado		X				2	
3	Lubricación de equipos pesados	Programado			X		2		100%
		Ejecutado			X			2	
4	Introducción al análisis de fallas	Programado				X	2		100%
		Ejecutado				X		2	

Figura 49. Plan de capacitación en mantenimiento de maquinaria pesada.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 49 se aprecia el plan de capacitación en mantenimiento de maquinaria pesada con el fin de aumentar el desempeño y las destrezas de los mecánicos en reparación de tractores. De esta manera los equipos tendrán más horas de operación en las obras de construcción. En simultáneo, la figura subsiguiente menciona la capacitación para los operadores en formación y operación de tractor de cadenas:

N°	Compromisos de la organización	Programa/ ejecución	Ene-19					Compromiso del personal		% personal capacitado
			3era semana					Invitados	Asistentes	
			Lun 14	Mar 15	Mie 16	Jue 17	Vie 18			
1	Características del equipo: especificaciones y componentes	Programado	X					6		100%
		Ejecutado	X						6	
2	Familiarización de mandos y controles	Programado		X				6		100%
		Ejecutado		X					6	
3	Sistema de monitor	Programado			X			6		100%
		Ejecutado			X				6	
4	Procedimientos operacionales	Programado				X		6		100%
		Ejecutado				X			6	
5	Operación básica de tractor de cadena	Programado					X	6		100%
		Ejecutado					X		6	

Figura 50. Plan de capacitación en formación y operación de tractor de cadenas.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 50 se observa el plan de capacitación en formación y operación de tractor de cadenas con el fin de aumentar el desempeño y las destrezas de los operadores. De esta manera se asegura que los equipos se operen en forma adecuada en las obras de construcción. Además, se elaboró un plan de capacitación sobre mantenimiento autónomo para los mismos operadores y así puedan aprender a desarrollar actividades básicas de mantenimiento en los equipos pesados:

N°	Compromisos de la organización	Programa/ ejecución	Ene-19			Compromiso del personal		% personal capacitado
			4ta semana			Invitados	Asistentes	
			Lun	Mier	Vie			
			21	23	25			
1	Teoría sobre mantenimiento autónomo	Programado	X			6		100%
		Ejecutado	X				6	
2	Actividades básicas de mantenimiento autónomo	Programado		X		6		100%
		Ejecutado		X			6	
3	Taller práctico de aplicación mantenimiento autónomo	Programado			X	6		100%
		Ejecutado			X		6	

Figura 51. Plan de capacitación en mantenimiento autónomo.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 51 se detalla un plan de capacitación sobre mantenimiento autónomo para los operadores. El cual incluye la realización de un taller práctico donde se desarrollan actividades básicas de mantenimiento como: inspección del equipo; revisión de aceites, combustibles y líquidos; limpieza, engrase y drenado; reparaciones menores y detección de ruidos anormales. Todo esto mejora las condiciones de los tractores, logrando que tengan más horas operadas en obras de construcción, así como a descubrir fallas tempranas que a veces pasan desapercibidas.

3.13.4. Mejoras

Después de haber diseñado y aplicado las herramientas de mejora de la propuesta del plan de mantenimiento preventivo, se obtuvo nuevos resultados para los indicadores de mantenimiento:

Tabla 32
Tiempo medio entre falla mejorado por equipo pesado

D155AX6-1			
Horas operación	N° fallas	TMEF	Tasa de falla
2,069.12	69	30.07	3.33%
D155AX6-2			
Horas operación	N° fallas	TMEF	Tasa de falla
2,249.66	32	70.30	1.42%
D155AX6-3			
Horas operación	N° fallas	TMEF	Tasa de falla
2,245.07	38	58.47	1.71%
D155AX6-4			
Horas operación	N° fallas	TMEF	Tasa de falla
2,148.93	54	40.09	2.49%
D155AX6-5			
Horas operación	N° fallas	TMEF	Tasa de falla
2,184.63	46	47.91	2.09%
D155AX6-6			
Horas operación	N° fallas	TMEF	Tasa de falla
2,051.78	82	25.14	3.98%

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 32 se señala el tiempo medio entre falla mejorado para cada tractor gracias a la propuesta de un plan de mantenimiento preventivo. También se determinó el nuevo tiempo medio entre falla promedio para los 6 equipos, el cual es de 40.47 horas. La gráfica que viene representa el tiempo medio entre falla mejorado:

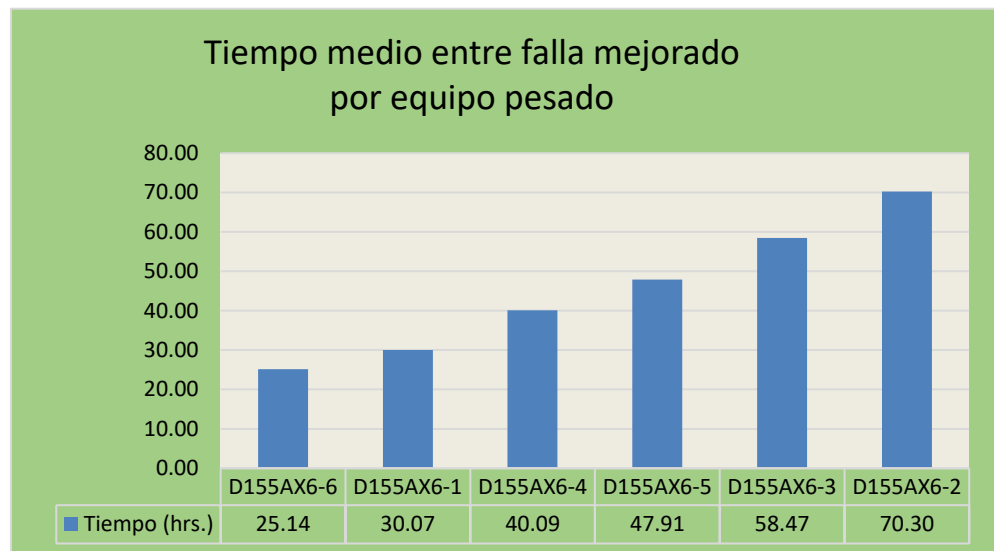


Figura 52. Tiempo medio entre falla mejorado.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 52 se indica que el tiempo medio entre falla para cada tractor ha mejorado, ya que, al proponer un plan de mantenimiento preventivo; el tiempo para que ocurra una falla se hace más largo, aumentando de esa manera las horas operadas en cada unidad. Estos resultados se representan en el siguiente gráfico:

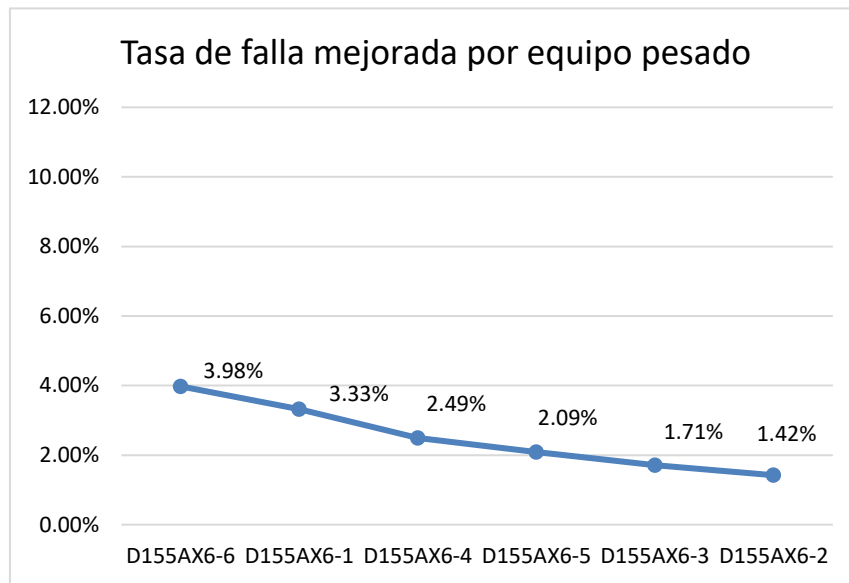


Figura 53. Tasa de falla mejorada.

Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, en la figura 53 se aprecia la nueva tasa de falla para cada tractor, la cual también ha disminuido debido a la propuesta del plan de mantenimiento preventivo.

Por otra parte, se hizo una comparación del tiempo medio entre falla, antes versus después de la propuesta del plan de mantenimiento preventivo:

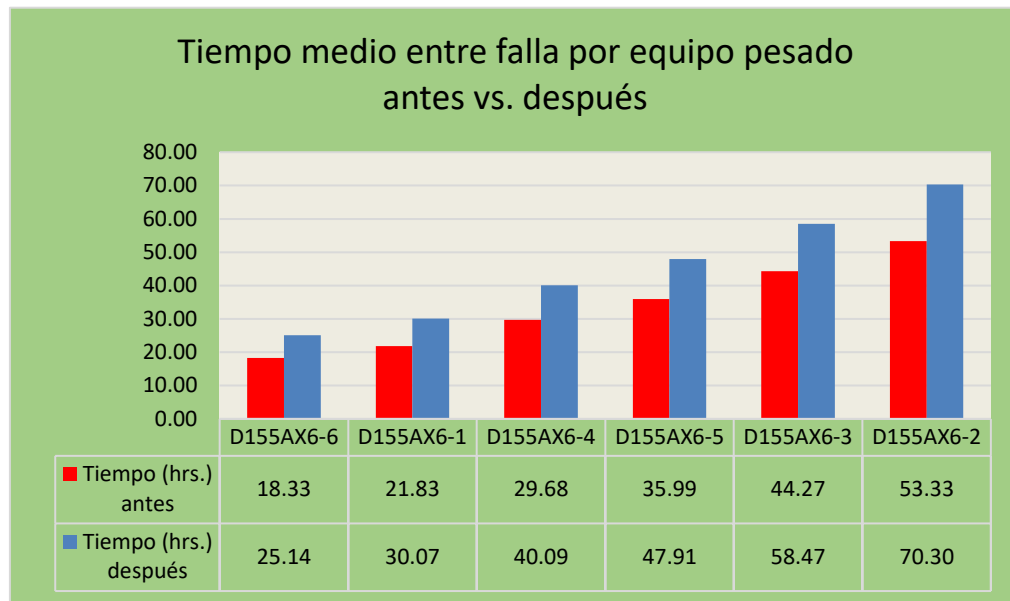


Figura 54. Comparación de tiempo medio entre falla.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 54 se muestra una comparación del tiempo medio entre falla para cada equipo. Donde podemos apreciar que el tractor D155AX6-6 considerado como el más crítico logró alargar un poco más el tiempo para que vuelva a incurrir en alguna falla, del mismo modo los demás equipos. Con esto se demuestra la efectividad de la propuesta del plan de mantenimiento preventivo. Además, se realizó una comparación de la tasa de falla, antes versus después de la propuesta del plan de mantenimiento preventivo:

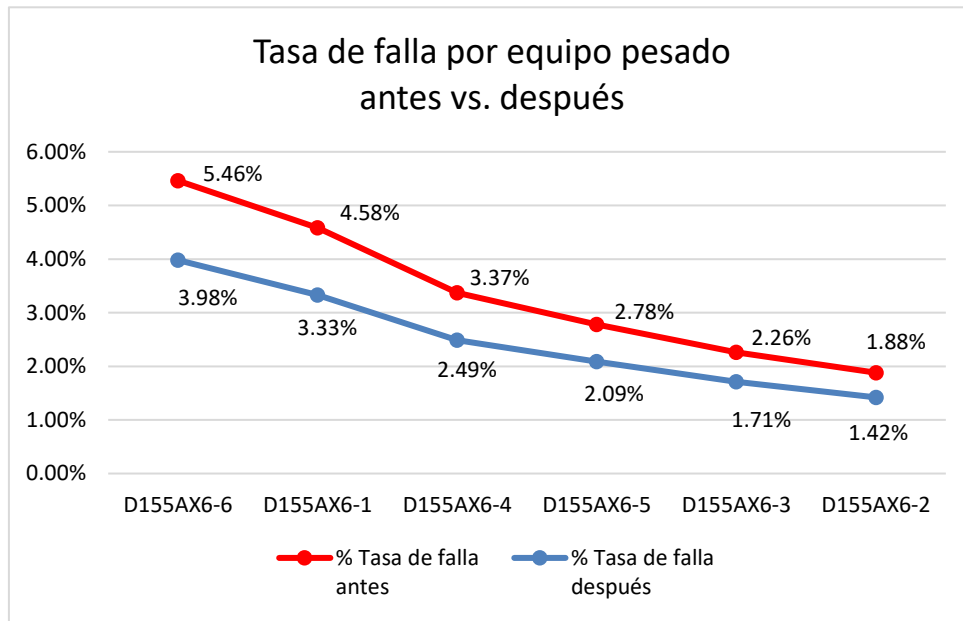


Figura 55. Comparación de tasa de falla.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 55 se hizo una comparación a la tasa de falla en los tractores. Donde podemos mencionar que estas han disminuido. Por ejemplo, el tractor D155AX6-6 logró disminuir su falla en 1.48% y así sucesivamente los demás equipos. Con esto se demuestra lo importante que es tener un plan de mantenimiento preventivo para equipos pesados.

En otro orden de ideas, se diseñó un flujograma para abastecer de repuestos a los mantenimientos de tractores:

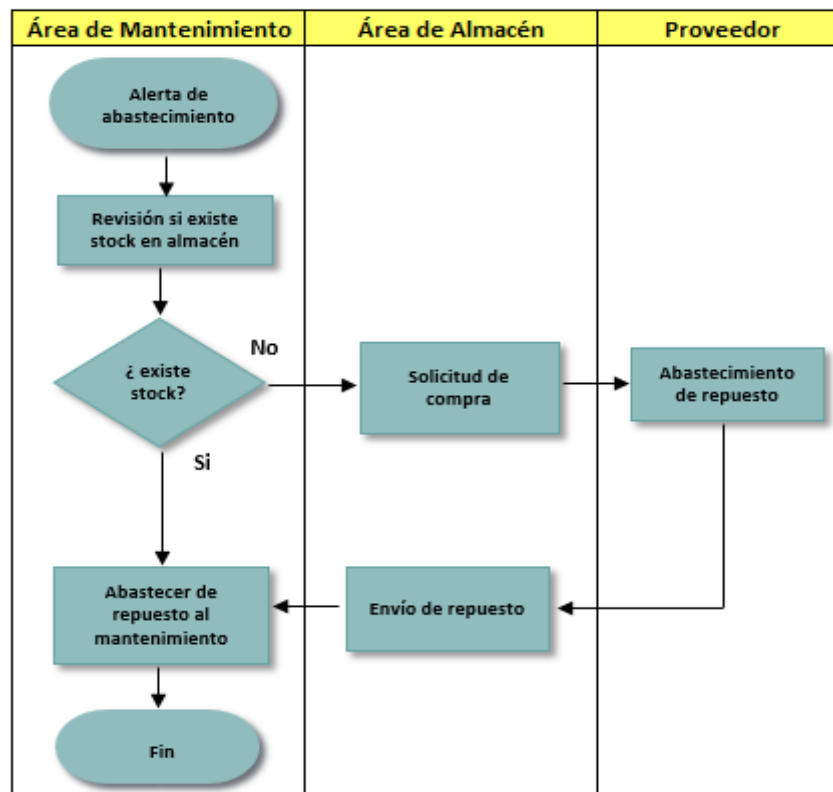


Figura 56. Flujograma de abastecimiento de repuestos.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 56 se aprecia un flujograma para abastecimiento de repuestos el cual permitirá contar con stock disponible en almacén justo en el momento que se realizan los mantenimientos. De esa manera se logrará reducir los tiempos de espera por abastecimiento de repuestos.

Igualmente, se rediseñó un nuevo flujograma para mantenimiento de equipos pesados:

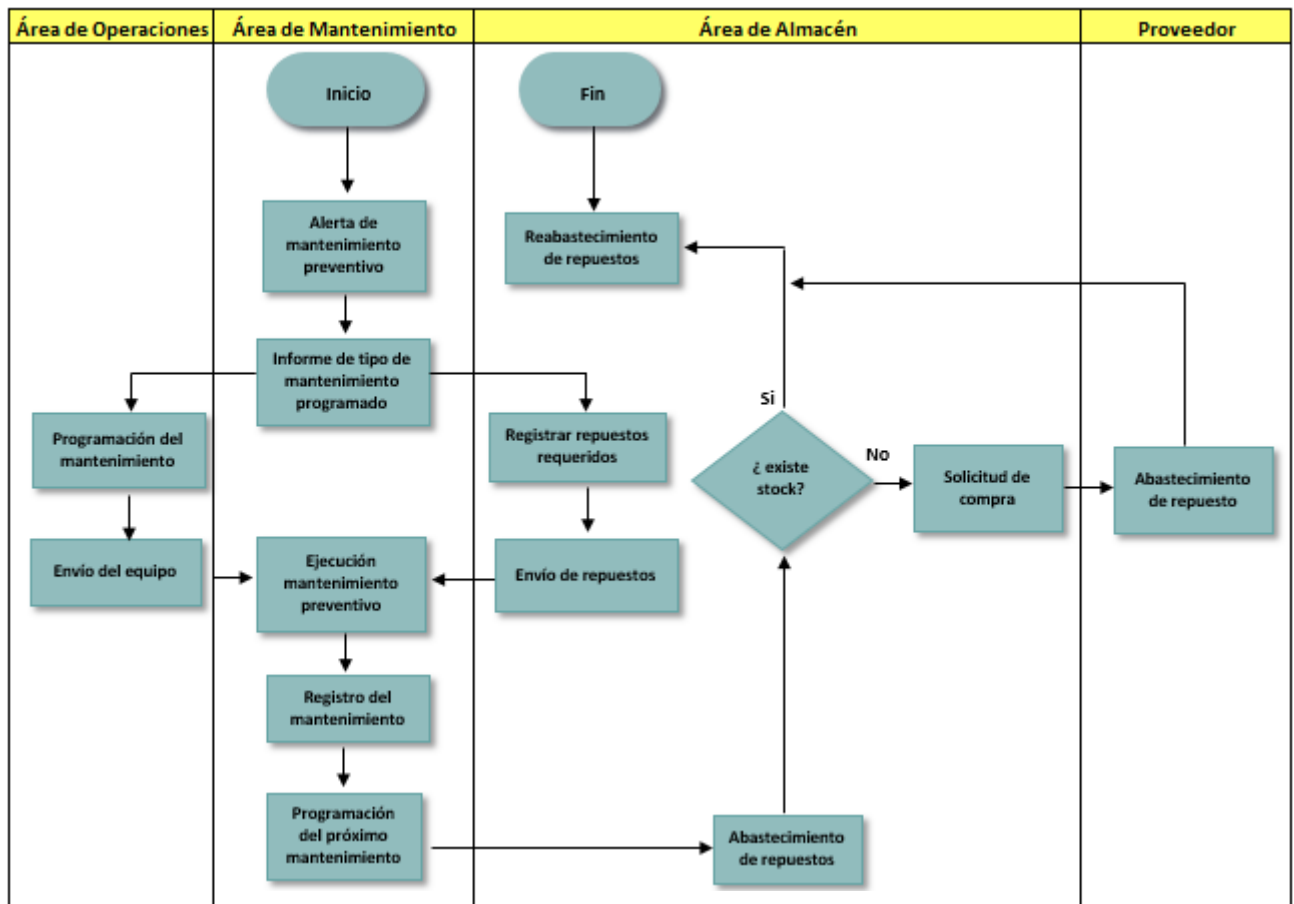


Figura 57. Flujograma de mantenimiento mejorado.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 57 se muestra el nuevo flujograma mejorado para mantenimiento de tractores de cadenas, donde ya está controlado el abastecimiento de repuestos, debido a que se solicitan con anticipación al proveedor, en caso no estén disponibles en almacén. De esta manera, también se reducirán los tiempos de mantenimiento por reparación.

De la misma forma, se presentó los tiempos para reparación (mejorados) de cada equipo:

Tabla 33
Tiempo medio para reparación mejorado de equipos pesados

D155AX6-1		
Tiempo total mant. correctivo	N° fallas	TMPR
514.08	69	7.47
D155AX6-2		
Tiempo total mant. correctivo	N° fallas	TMPR
333.54	32	10.42
D155AX6-3		
Tiempo total mant. correctivo	N° fallas	TMPR
338.13	38	8.81
D155AX6-4		
Tiempo total mant. correctivo	N° fallas	TMPR
434.27	54	8.10
D155AX6-5		
Tiempo total mant. correctivo	N° fallas	TMPR
398.57	46	8.74
D155AX6-6		
Tiempo total mant. correctivo	N° fallas	TMPR
531.42	82	6.51

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 33 señala que los tiempos que demora reparar cada equipo han disminuido, siendo el nuevo tiempo para reparación que en promedio tienen los 6 equipos, de 7.97 horas. De igual manera, el gráfico que viene representa los nuevos tiempos medios para reparación de cada unidad:

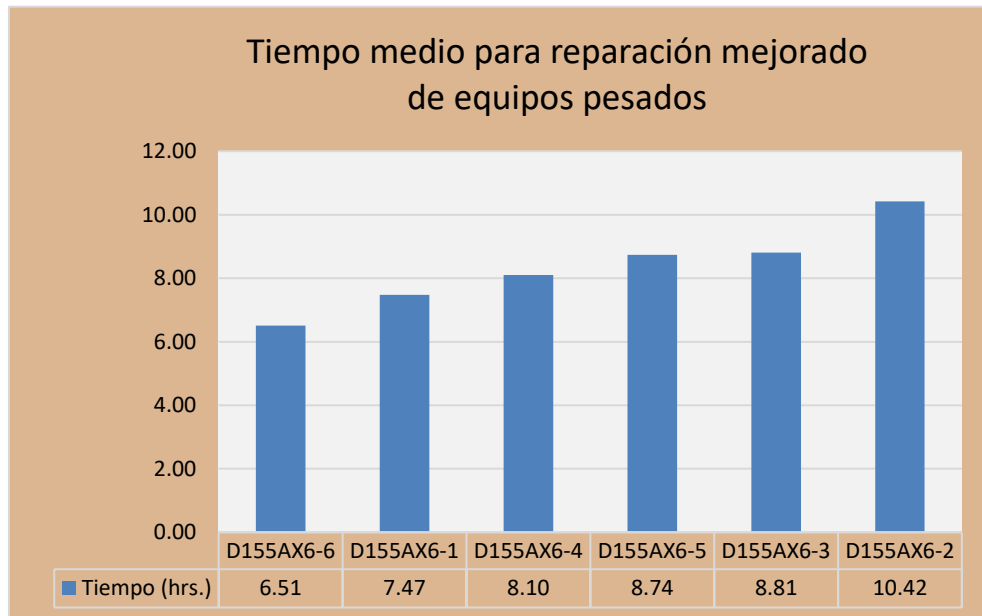


Figura 58. Tiempo medio para reparación mejorado.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 58 se aprecia que el tiempo medio para reparación de cada tractor ha mejorado, ya que, al proponer un plan de mantenimiento preventivo los tiempos de mantenimiento disminuyen, mejorando de esta manera las horas de operación de cada unidad.

La figura subsiguiente muestra una comparación del tiempo medio para reparación, antes versus después de la propuesta del plan de mantenimiento preventivo:

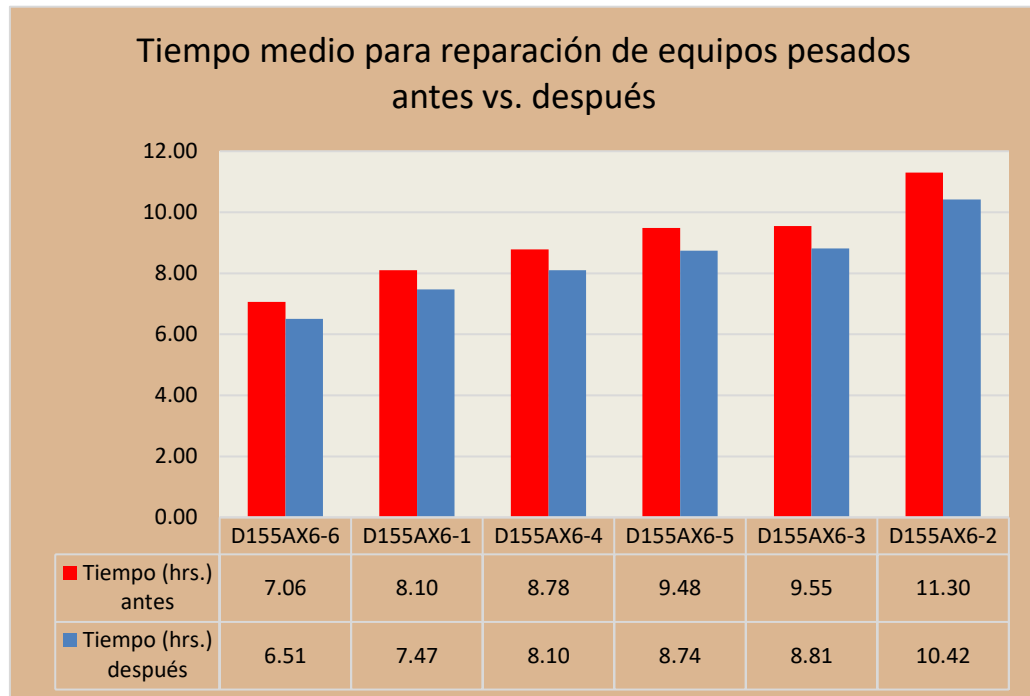


Figura 59. Comparación de tiempo medio para reparación.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 59 se hizo una comparación del tiempo medio para reparación de cada equipo. Donde podemos apreciar que el tractor D155AX6-6 considerado como el más crítico, logró reducir tiempos de mantenimiento de 0.55 horas, asimismo los demás equipos. De esta manera queda demostrado lo útil que es un plan de mantenimiento preventivo para equipos pesados.

Habiendo determinado los tiempos de fallas y de reparación (mejorados) de cada unidad, se presenta a continuación, el cálculo de las nuevas horas de reparación de los equipos pesados:

Tabla 34
Cálculo de horas de reparación mejoradas de equipos pesados

Detalle	Cantidad
Tiempo medio entre falla (en horas)	40.47
Tiempo medio para reparación (en horas)	7.97
Horas programadas mantenimiento	15,780.00
Servicios de mantenimiento	390.00
Total horas de reparación	3,108.30

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 34 se muestra el cálculo de las horas de reparación mejoradas de los equipos; siendo el tiempo medio entre falla de 40.47 horas en promedio, el tiempo medio para reparación de 7.97 horas en promedio, las horas programadas según performances mejorados de 15,780; y el número de servicios de mantenimiento es 390, de los cuales 320 serán por mantenimiento correctivo para atender reparaciones críticas por fallas, mientras que 70 serán por reparaciones menores consideradas en mantenimiento rutinario. Finalmente, el nuevo total de horas de reparación de los 6 tractores de cadenas para el año 2019 será de 3,108.30; el cual se demuestra que ha disminuido debido a la propuesta del plan de mantenimiento preventivo.

La siguiente gráfica representa una comparación de las horas de reparación de equipos pesados, antes versus después de la propuesta del plan de mantenimiento preventivo:



Figura 60. Comparación de horas de reparación.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 60 se observa una comparación de las horas de reparación de los tractores. Siendo antes de la propuesta del plan de mantenimiento preventivo 4,528.05 horas de mantenimiento, mientras que con la propuesta 3,108.30 horas de mantenimiento. Consiguiendo así reducir 1,419.75 horas de reparación de equipos pesados por fallas en sus componentes.

Posteriormente, se calculó el nuevo costo total de todos los elementos que intervienen en los mantenimientos, así como el costo horario que genera la reparación de equipos. Y se determinó las nuevas horas de operaciones normales en los tractores de cadenas para el año 2019:

Tabla 35
Costo mejorado de mano de obra de operadores

1. Mano de obra - operadores		Costo horario
Costo por hora	S/ 17.00	
Horas de trabajo	8	
Costo por día	S/ 136.00	
Días laborados	6	
Costo semanal	S/ 816.00	
N° de semanas	4	
Costo mensual	S/ 3,264.00	
N° de meses	12	
Costo al año	S/ 39,168.00	
N° de operadores	6	
Costo total mano de obra - operadores	S/ 235,008.00	S/ 18.15

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 35 se señala el nuevo costo horario mejorado de operadores de tractores, el cual gracias a la propuesta del plan de mantenimiento preventivo se logró reducir.

Tabla 36
Costo mejorado de mano de obra de mecánicos

2. Mano de obra - mecánicos		Costo horario
Costo por hora	S/ 22.00	
Horas de trabajo	8	
Costo por día	S/ 176.00	
Días laborados	6	
Costo semanal	S/ 1,056.00	
N° de semanas	4	
Costo mensual	S/ 4,224.00	
N° de meses	12	
Costo al año	S/ 50,688.00	
N° personas que laboran en mantenimiento	2	
Costo total mano de obra - mecánicos	S/ 101,376.00	S/ 7.83

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 36 se aprecia el nuevo costo horario de mecánicos por mantenimiento de tractores, el cual también disminuyó gracias a la propuesta del plan de mantenimiento preventivo.

Tabla 37
Costo mejorado de mano de obra de sobretiempo

3. Sobretiempo de mantenimiento - mecánicos		Costo horario
Horas de trabajo por día	8	
Días trabajados	6	
Horas semanales	48	
Número de semanas	4	
Horas mensuales	192	
Número de meses	12	
Horas al año	2,304	
Número de personas en mantenimiento	2	
Horas al año para 2 personas de mantenimiento	4,608	
Horas extras (20% del total de horas al año)	921.60	
Costo por hora (personal mantenimiento)	S/ 22.00	
Costo total sobretiempo - mecánicos	S/ 16,982.20	S/ 1.31

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 37 se muestra el nuevo costo total y horario por sobretiempo de mecánicos al reparar los tractores, los mismos que se redujeron debido a la propuesta del plan de mantenimiento preventivo.

Tabla 38
Costo mejorado de materiales de operación

4. Materiales de operación		Costo horario
Petróleo	S/ 1,632,089.08	
Otros combustibles	S/ 180,884.79	
Productos químicos	S/ 5,069.43	
Suministros	S/ 5,486.48	
Otros materiales	S/ 4,475.99	
Costo total materiales de operación	S/ 1,828,005.77	S/ 141.17

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 38 se detalla el nuevo costo total que generan los materiales utilizados para operación de los tractores. Los cuales se han elevado debido a que, al incrementar sus horas de operaciones normales, necesitaran más petróleo, aceites y productos químicos. Sin embargo, su costo horario logró disminuir gracias a la propuesta del plan de mantenimiento preventivo.

Tabla 39
Costo mejorado de materiales de mantenimiento

5. Materiales de mantenimiento		Costo horario
Repuestos parte mecánica	S/ 514,804.37	
Repuestos parte eléctrica	S/ 343,202.94	
Costo total materiales de mantenimiento	S/ 858,007.31	S/ 66.26

Fuente: Elaboración propia.

De igual manera, en la tabla 39 se observa que el costo total y horario de los materiales de mantenimiento han logrado disminuir al tener controlado los mantenimientos y reducir las fallas gracias al plan de mantenimiento preventivo.

Tabla 40
Costo mejorado de depreciación

6. Otros costos		Costo horario
Depreciación	S/ 1,014,426.00	
Costo total depreciación	S/ 1,014,426.00	S/ 78.34

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 40 se indica que se redujo el costo horario de depreciación debido a la propuesta del plan de mantenimiento preventivo.

Tabla 41
Costo mejorado de servicios prestados por terceros

7. Servicios de terceros		Costo horario
Trabajos eventuales	S/ 106,049.50	
Costo total servicios de terceros	S/ 106,049.50	S/ 8.19

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 41 se evidencia que el costo total y horario que generan los trabajos de contratistas también lograron disminuir gracias al plan de mantenimiento preventivo.

Tabla 42
Costo total mejorado de elementos que intervienen en mantenimientos

6 tractores de cadenas		Costo horario
Costo de operación	S/ 4,159,854.78	
Costo total de operación	S/ 4,159,854.78	S/ 321.24

Fuente: Elaboración propia.

Como podemos observar en la tabla 42, con la propuesta del plan de mantenimiento preventivo se logró reducir el costo total de los elementos que intervienen en los mantenimientos y el costo horario que implica las reparaciones a los tractores, generando así ahorros de costos para la empresa. En la tabla siguiente se muestra las horas operadas mejoradas para los equipos pesados:

Tabla 43
Horas totales mejoradas de operación de equipos pesados

6 tractores de cadenas	
Horas de operación	12,949.20
Total horas operadas	12,949.20

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 43 se presenta asimismo que las horas de operaciones normales de los 6 tractores de cadenas han incrementado, gracias a la utilización del plan de mantenimiento preventivo. Por lo tanto, tendrán más disposición en las obras de construcción y generarán más ingresos para la empresa.

Además, se comparó el costo total de todos los elementos que intervienen en los mantenimientos de equipos pesados, antes versus después de la propuesta del plan de mantenimiento preventivo:

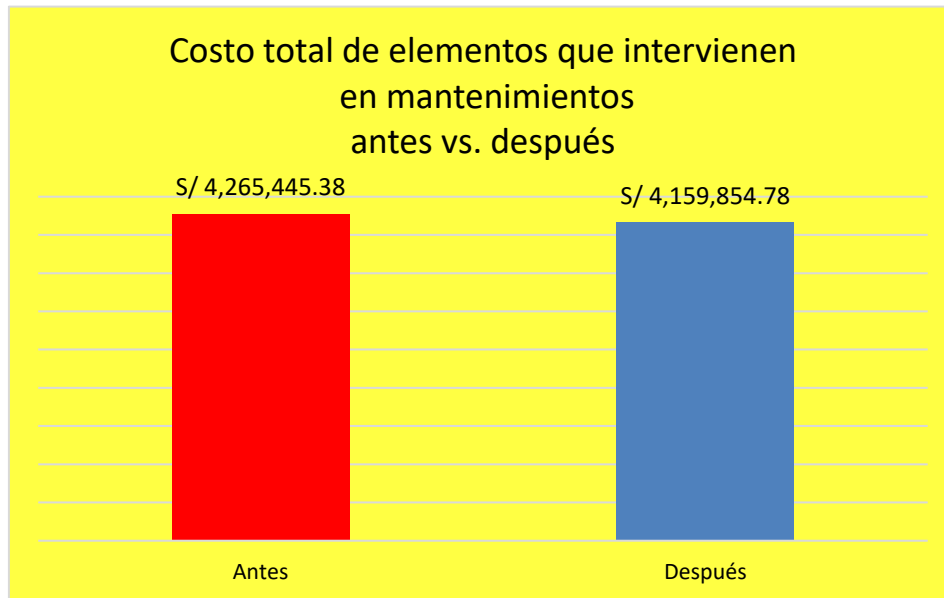


Figura 61. Comparación costo total de operación.

Fuente: Elaboración propia.

La figura 61 detalla una comparación del costo total de todos los elementos que intervienen para el mantenimiento de tractores de cadenas, siendo el mismo antes de la propuesta del plan de mantenimiento preventivo, de S/ 4,265,445.38 soles y con la propuesta de S/ 4,159,854.78 soles. De esta manera se produce un ahorro de S/ 105,590.60 soles anuales.

Al mismo tiempo, se hizo una comparación del costo horario, antes versus después de

la propuesta del plan de mantenimiento preventivo:

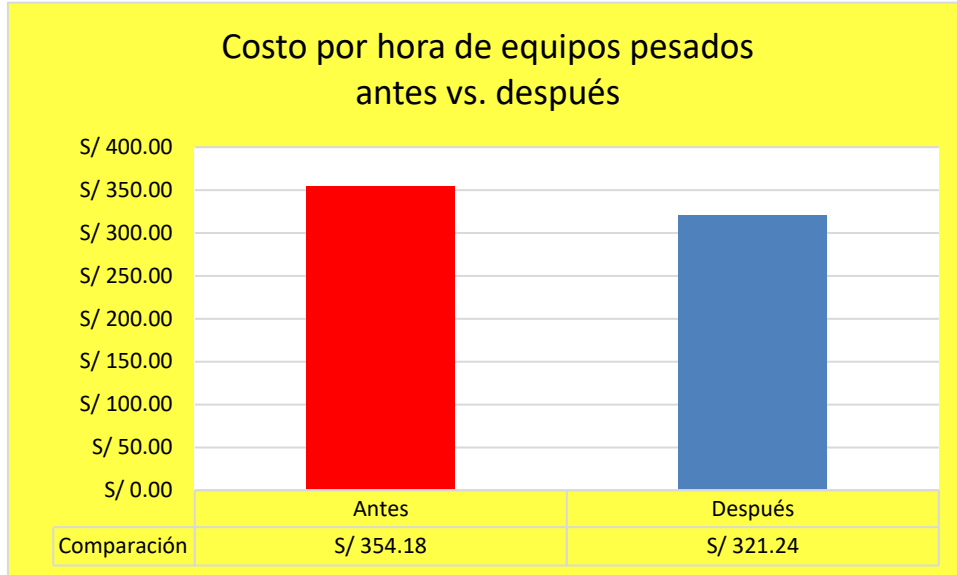


Figura 62. Comparación del costo horario

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 62 se comparó el costo horario que implica el mantenimiento de los tractores, siendo antes de la propuesta del plan de mantenimiento preventivo, de S/ 354.18 soles, y con la propuesta de S/ 321.24 soles. Por lo tanto, se genera un ahorro de S/ 32.94 soles por hora.

Igualmente, se elaboró un gráfico que represente una comparación de las horas de operaciones normales entre mantenimiento preventivo versus mantenimiento correctivo:

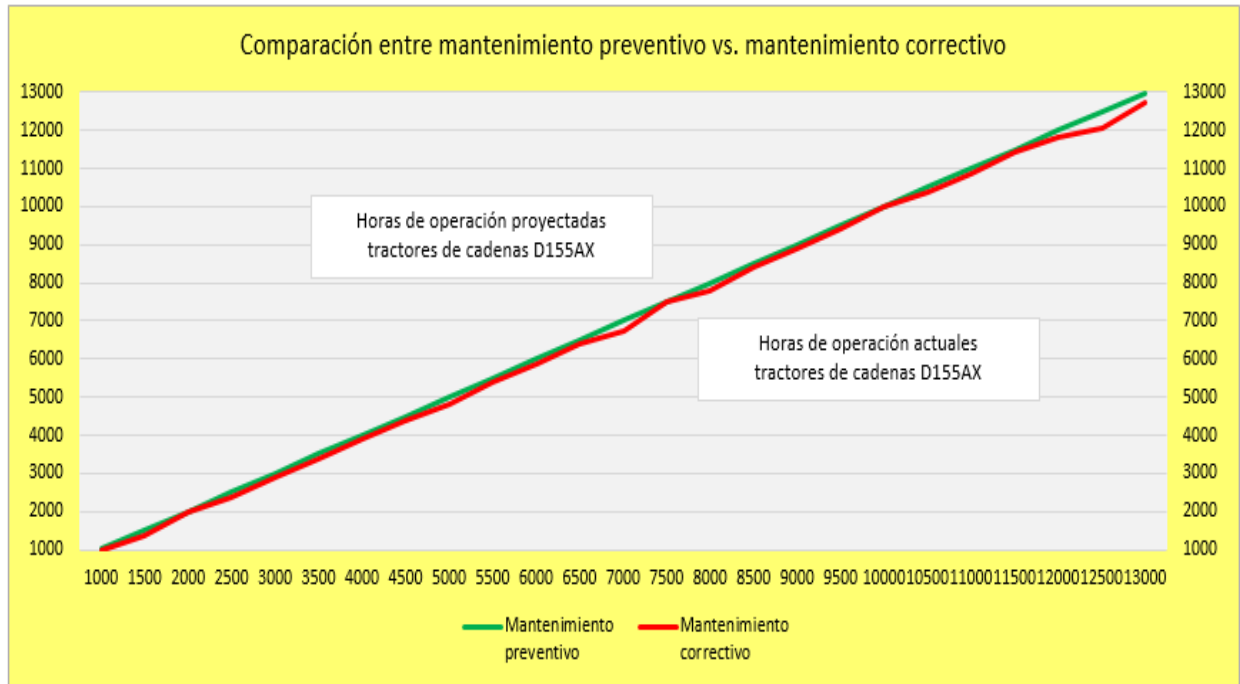


Figura 63. Comparación de horas de operación de equipos pesados.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 63 podemos observar que las horas de operaciones para los 6 equipos con el mantenimiento correctivo actual son de 12,043.20. Mientras que con el mantenimiento preventivo propuesto son de 12,949.20 horas. De esta manera se demuestra que, al hacer uso de un plan de mantenimiento preventivo, aumentan las horas operadas normales de los tractores de cadenas en las obras de construcción.

Seguidamente se detalla el costo total mejorado de operación por reparación de equipos pesados:

Tabla 44

Determinación del costo total de operación mejorado por reparación de 6 equipos pesados en una empresa constructora de la región La Libertad 2019

Horas de reparación de 6 tractores de cadenas	Costo horario	Costo total de operación por reparación
3,108.30	S/ 321.24	S/ 998,510.29

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, en la tabla 44 se aprecia el costo total de operación con mejora que generaría la reparación de 6 tractores de cadenas, teniendo en consideración las nuevas horas de reparación para atender a los equipos, así como el nuevo costo horario determinado. Posteriormente, se presenta la disponibilidad mejorada de cada equipo:

Tabla 45

Disponibilidad mejorada por equipo pesado

Tractor de cadena	TMEF	TMPR	Disponibilidad
D155AX6-1	30.07	7.47	80.10%
D155AX6-2	70.30	10.42	87.09%
D155AX6-3	58.47	8.81	86.91%
D155AX6-4	40.09	8.10	83.19%
D155AX6-5	47.91	8.74	84.57%
D155AX6-6	25.14	6.51	79.43%

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 45 se muestra la disponibilidad mejorada por cada equipo gracias a la propuesta del plan de mantenimiento preventivo. Del mismo modo, se determinó que la nueva disponibilidad promedio para los 6 equipos será de 83.55%. La gráfica siguiente representa la disponibilidad mejorada de cada unidad:

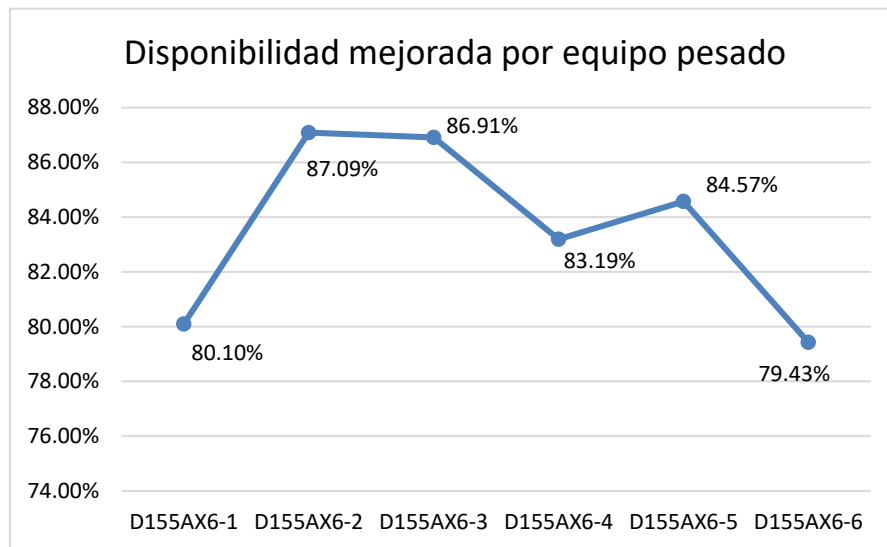


Figura 64. Disponibilidad mejorada.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 64 podemos observar que los tractores han mejorado su disponibilidad gracias a la utilización del plan de mantenimiento preventivo. Por tanto, tendrán más disposición en las obras de construcción que ejecute la empresa.

El gráfico subsiguiente representa una comparación de la disponibilidad de equipos pesados, antes versus después de la propuesta del plan de mantenimiento preventivo:

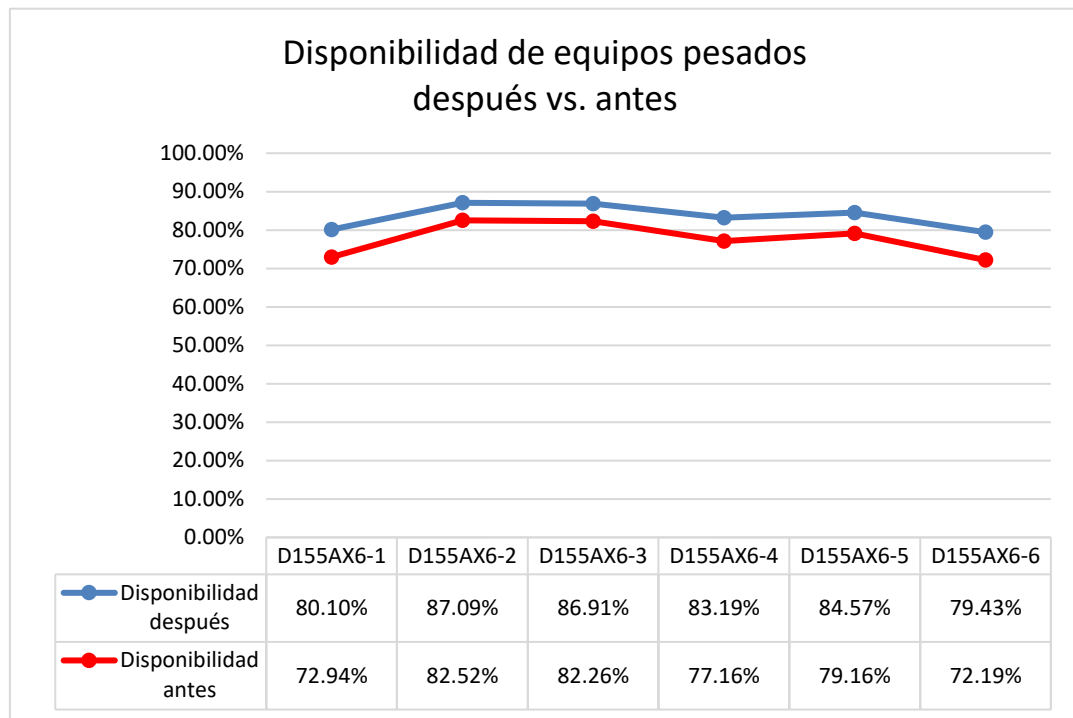


Figura 65. Comparación de disponibilidad.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 65 se comparó las disponibilidades de los tractores de cadenas, determinando que estas han aumentado. Así, por ejemplo, el tractor D155AX6-6 considerado como el más crítico incrementó su disponibilidad en un 7.24% y así también los demás tractores. Por lo cual, se demuestra la eficacia de la utilización del plan de mantenimiento preventivo.

3.13.5. Beneficio de la propuesta del plan de mantenimiento preventivo

A continuación, se detalla el beneficio de la propuesta del plan de mantenimiento preventivo:

Tabla 46
Beneficio de la propuesta del plan de mantenimiento preventivo para equipos pesados

CR	Descripción	Costo de operación por reparación actual	Costo de operación por reparación mejorado	Beneficio	Herramienta de mejora
CR2	Se improvisa los mantenimientos cuando se presenta la falla	S/ 1,603,744.75	S/ 998,510.29	S/ 605,234.46	Programa de mantenimiento
CR3	No existe un plan de mantenimiento definido				Hoja de ruta de mantenimiento / DOP
CR4	Fallas mecánicas y eléctricas				Plan de capacitación
CR5	Tiempos de mantenimiento elevados				
CR1	Espera de abastecimiento de repuestos				MRP
CR6	Falta de supervisión				Planner de mantenimiento
CR7	Falta de formatos de control				Confección de formatos de control

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 46 se observa un beneficio en costos de S/ 605,234.46 soles para el año 2019, gracias a la aplicación de las herramientas de mejora consideradas dentro del plan de mantenimiento preventivo.

De igual forma, se relacionó los costos de operación de equipos pesados; después de

mejora versus antes de mejora:

$\text{Relación} = \frac{\text{Costos de operación después de mejora}}{\text{Costos de operación antes de mejora}} \times 100$	
Reemplazando:	
Relación =	$\frac{S/ 998,510.29}{S/ 1,603,744.75} \times 100$
Relación =	62.26 %

Figura 66. Relación de costos después de mejora vs. antes de mejora.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 66 se indica la relación de los costos de operación después versus antes de mejora, determinándose que con la propuesta del plan de mantenimiento preventivo se logra reducir un 62.26% de los costos de operación por reparación de tractores de cadenas.

3.13.6. Análisis estadístico inferencial

Se analizó las muestras pareadas entre el costo de operación antes y el costo de operación después (de cada equipo pesado), con la finalidad de encontrar una diferencia entre ambos costos y así realizar una prueba de normalidad que permita validar la hipótesis general propuesta en la presente investigación.

Tabla 47

Diferencia de muestras pareadas entre el costo de operación antes y el costo de operación después de cada equipo pesado

Tractor de cadena	Costos de operación antes (S/)	Costos de operación después (S/)	Diferencia de costos (S/)
D155AX6-1	653,138.38	635,795.21	17,343.17
D155AX6-2	578,962.89	573,683.59	5,279.30
D155AX6-3	597,361.90	589,093.05	8,268.85
D155AX6-4	627,390.93	614,235.48	13,155.45
D155AX6-5	612,488.02	601,758.04	10,729.98
D155AX6-6	712,830.57	685,873.73	26,956.84

Fuente: Elaboración propia.

Prueba de normalidad

Para validar la hipótesis general que se propone como posible solución al problema planteado en la presente investigación, se realizó la prueba de normalidad con el contraste de Shapiro Wilk a la muestra de 6 tractores de cadenas en relación a su variable costos de operación, teniendo como hipótesis:

Ha: Los costos de operación de equipos pesados antes y después de la propuesta del plan de mantenimiento preventivo tienen una distribución normal.

H0: Los costos de operación de equipos pesados antes y después de la propuesta del plan de mantenimiento preventivo no tienen una distribución normal.

Regla de decisión para determinar la normalidad:

Si $W > VC$, H_a se acepta

Si $W < VC$, H_0 se acepta

Donde:

H_a : Hipótesis alterna

H_0 : Hipótesis nula

W: Estadístico calculado

VC: Valor crítico o significancia de la tabla de Shapiro Wilk

gl: Grados de libertad (muestra de estudio)

Tabla 48

Prueba de normalidad de los costos de operación de equipos pesados con contraste de Shapiro Wilk

Decisión	Shapiro Wilk		
	W	gl	VC
Diferencia	0.934	6	0.788

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla 48 podemos concluir que con una confianza del 95% la muestra de estudio si proviene de una distribución normal. Ya que el estadístico calculado es mayor al valor crítico o nivel de significancia. $W (0.934) > VC (0.788)$.

Por lo tanto, se acepta H_a : Los costos de operación de equipos pesados antes y después de la propuesta del plan de mantenimiento preventivo tienen una distribución normal.

Al mismo tiempo, para validar la hipótesis aceptada se hizo una gráfica de la prueba de normalidad con la finalidad de comprobar si los datos (costos de operación de equipos pesados) siguen la distribución normal:

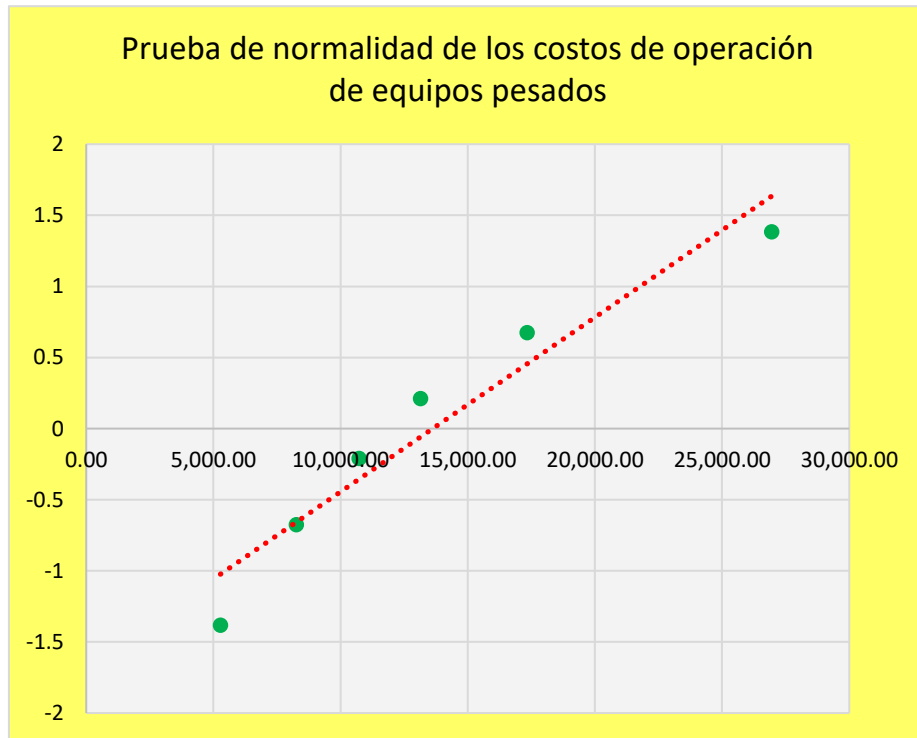


Figura 67. Prueba de normalidad de costos de operación de equipos pesados.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 67 se observa que los datos (costos de operación de equipos pesados) siguen una distribución normal debido a que se acercan o superponen a la línea de tendencia.

Por lo tanto, se concluye que los resultados alcanzados en la presente investigación son coherentes y se demuestran con la hipótesis general; ya que los costos de operación de equipos pesados después de la propuesta del plan de mantenimiento preventivo, son

significativamente menores que los costos de operación de equipos pesados antes de la propuesta del plan de mantenimiento preventivo.

3.13.7. Evaluación económica

El siguiente punto trata sobre la evaluación de la viabilidad económica del proyecto mediante la comparación de estados de resultados (antes versus después de la propuesta del plan de mantenimiento preventivo). Para abordar ese análisis comparativo, se tendrá que determinar primero los ingresos y costos de operación que genera el alquiler de los equipos.

Así pues, se presenta el cálculo de los ingresos de operación actuales por alquiler de equipos pesados:

Tabla 49
Cálculo de ingresos de operación actuales por alquiler de equipos pesados

Detalle	Costo
Costo por hora de alquiler	S/ 354.18
Margen de contribución (6%)	S/ 22.61
Precio por hora de alquiler	S/ 376.79
Horas operadas de 6 tractores	12,043.20
Total ingresos por alquiler de tractores	S/ 4,537,757.33

Fuente: *Elaboración propia.*

En la tabla 49 se evidencia los ingresos de operación actuales por alquiler de equipos pesados en obras de construcción; los cuales son de S/ 4,537,757.33 soles para el año 2018.

Este cálculo junto con los costos de operación antes de la propuesta, sirven para elaborar el estado de resultados actual que se detalla a continuación:

ESTADO DE RESULTADOS ACTUAL	
Concepto	Año 2018
Ingresos de operación de alquiler de tractores	S/ 4,537,757.33
Alquiler de tractores	<u>S/ 4,537,757.33</u>
Costos de operación de alquiler de tractores	S/ 4,265,445.38
Mano de obra directa (operadores)	S/ 235,008.00
Mano de obra directa (mecánicos)	S/ 101,376.00
Sobretiempo de mecánicos	S/ 20,275.20
Materiales de operación	S/ 1,743,363.95
Materiales de mantenimiento	S/ 1,024,382.76
Depreciación de tractores	S/ 1,014,426.00
Mano de obra indirecta (servicios de terceros)	<u>S/ 126,613.47</u>
Utilidad bruta	<u>S/ 272,311.95</u>

Figura 68. Estado de resultados actual.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 68 se observa el estado de resultados actual con los ingresos y los costos de operación por alquiler de tractores. Siendo la utilidad bruta antes de la propuesta del plan de mantenimiento preventivo, de S/ 272,311.95 soles.

Simultáneamente, se realizó el cálculo de los ingresos de operación mejorados por alquiler de equipos pesados:

Tabla 50
Cálculo de ingresos de operación mejorados por alquiler de equipos pesados

Detalle	Costo
Costo por hora de alquiler	S/ 321.24
Margen de contribución (9%)	S/ 31.77
Precio por hora de alquiler	S/ 353.01
Horas operadas de 6 tractores	12,949.20
Total ingresos por alquiler de tractores	S/ 4,571,197.09

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 50 se señala los ingresos de operación mejorados por alquiler de equipos pesados en obras de construcción, los cuales son de S/ 4,571,197.09 soles para el año 2019. De modo similar, éste cálculo junto con los costos de operación después de la propuesta, sirven para elaborar el nuevo estado de resultados que se muestra en seguida:

ESTADO DE RESULTADOS PROYECTADO	
Concepto	Año 2019
Ingresos de operación de alquiler de tractores	S/ 4,571,197.09
Alquiler de tractores	<u>S/ 4,571,197.09</u>
Costos de operación de alquiler de tractores	S/ 4,159,854.78
Mano de obra directa (operadores)	S/ 235,008.00
Mano de obra directa (mecánicos)	S/ 101,376.00
Sobretiempo de mecánicos	S/ 16,982.20
Materiales de operación	S/ 1,828,005.77
Materiales de mantenimiento	S/ 858,007.31
Depreciación de tractores	S/ 1,014,426.00
Mano de obra indirecta (servicios de terceros)	<u>S/ 106,049.50</u>
Costos de herramientas de mejora	S/ 87,210.00
Contratación planner de mantenimiento	S/ 14,400.00
Confección de formatos de control	S/ 7,500.00
Capacitación al personal	<u>S/ 65,310.00</u>
Utilidad bruta	<u>S/ 324,132.31</u>

Figura 69. Estado de resultados mejorado.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 69 se aprecia el estado de resultados mejorado con los nuevos ingresos y costos de operación por alquiler de tractores, así como los costos de las herramientas de

mejora aplicadas en la presente investigación. Siendo la utilidad bruta después de la propuesta del plan de mantenimiento preventivo, de S/ 324,132.31 soles anuales.

Finalmente, se realizó una comparación de la utilidad bruta, antes versus después de la propuesta:

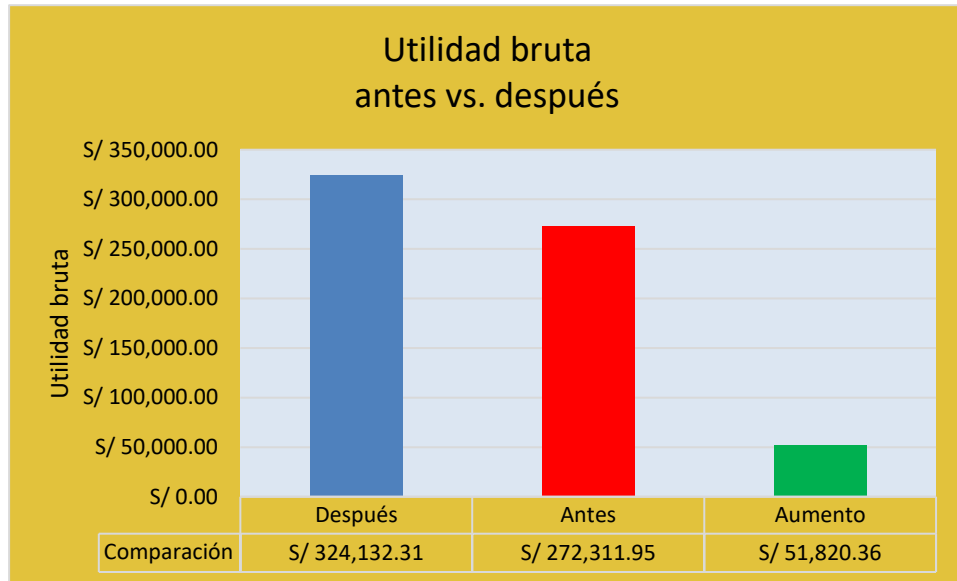


Figura 70. Comparación de utilidad bruta.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 70 se comparó la utilidad bruta. Siendo la misma con la propuesta del plan de mantenimiento preventivo de S/ 324,132.31 soles, y antes de la propuesta, de S/ 272,311.95 soles. De esta manera se genera un aumento de utilidad para la empresa, de S/ 51,820.36 soles anuales.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

4.1.1. Limitaciones

a) Viabilidad de las fuentes

Se encontró poca información documental en las fuentes de información para poder elaborar los antecedentes de investigación. Debido a que, algunas páginas de internet, revistas o libros; no son confiables, tienen accesos restringidos o no cuentan con información suficiente relacionada al tema de investigación. También se recopiló poca información de la empresa seleccionada para el estudio, por motivos confidenciales.

b) Tiempo

El tiempo para elaborar la presente investigación no fue limitado, debido al amplio plazo otorgado para su presentación.

c) Recursos económicos y humanos

Recursos económicos. - Respecto a los recursos económicos no existió ninguna limitación, ya que se contó con un financiamiento adecuado para poder realizar la presente investigación.

Recursos humanos. - No se contó con personal suficientemente amplio que ayude a aplicar los instrumentos de recolección de información de la mejor manera

(notas del trabajo de campo, cuestionarios y registro de datos). Con lo cual se dificultó un poco el desarrollo de la investigación.

d) Población y contexto

Población. - Al realizar el trabajo de campo (recolección de datos), el personal interno de la empresa en estudio no quiso brindarnos mucha información para el desarrollo de nuestro estudio por motivos confidenciales. Por lo tanto, al no contar con información suficiente y verídica, es probable que los resultados que obtengamos solo se aproximen a lo que deseamos alcanzar realmente con la propuesta del plan de mantenimiento preventivo para equipos pesados.

Contexto. - Se tuvo dificultad para acceder a las instalaciones de la empresa en estudio. Por ello se solicitó una autorización para poder ingresar y así recolectar la poca información brindada.

4.1.2. Interpretación comparativa de los hallazgos con estudios previamente citados

- Según Maldonado H. y Sigüenza L. (2012), al elaborar un plan de mantenimiento planificado para la máquina Scoot JCI 250M se reduce las horas de parada por reparación y costos por hora que implica la parada. Siendo en un período mensual 15 horas de para a un costo de US\$900.00 dólares por hora para el sistema real de la compañía, y con la

propuesta 5 horas de para a un costo de US\$251.30 dólares la hora. De esa manera se logró reducir 10 horas de parada por reparación, y costos por hora por un valor de US\$648.70 dólares al mes. Si comparamos este estudio con nuestros resultados, también llegamos a la conclusión que al proponer un plan de mantenimiento preventivo para tractores de cadenas se reducen las horas y los costos de parada por reparación. Siendo antes de la propuesta 4,528.05 horas de parada a un costo de S/ 354.18 soles la hora, mientras que con la propuesta 3,108.30 horas de parada a un costo de S/ 321.24 soles por hora. Por lo tanto, se logró disminuir 1,419.75 horas de parada para reparar los equipos, así como S/ 32.94 soles en costo horario.

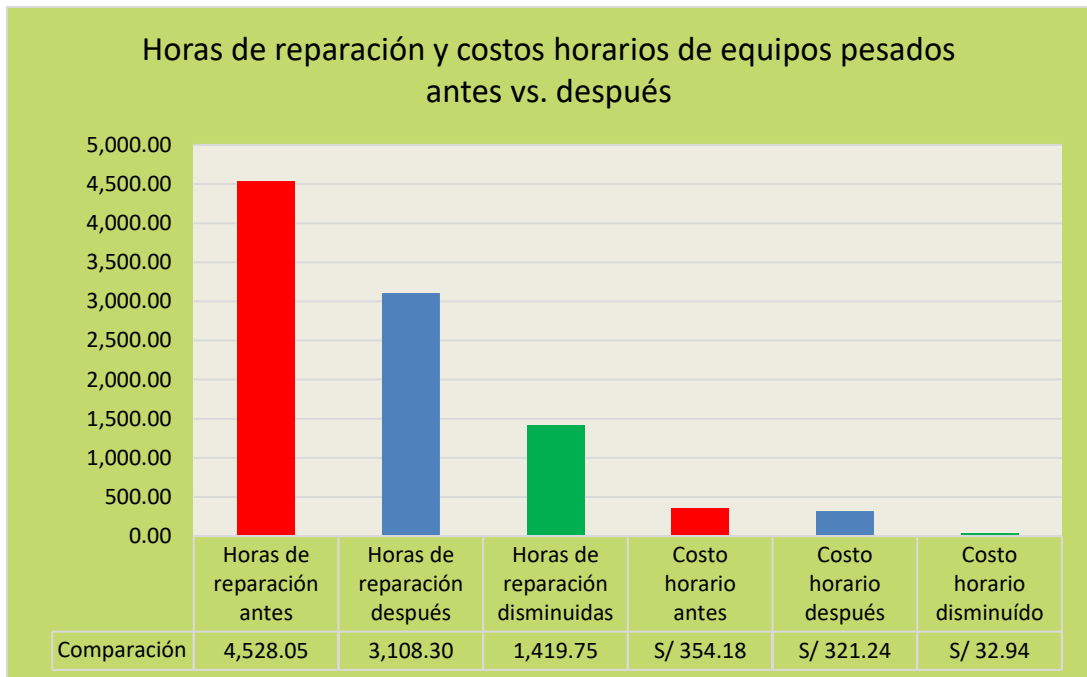


Figura 71. Comparación horas de reparación y costos horarios.

Fuente: Elaboración propia.

- Según Añazco J. y Salazar L. (2016), al proponer un plan de mantenimiento preventivo para el cargador frontal 966H CAT se reducen los costos operacionales por mantenimiento y se generan ahorros. Siendo su costo de mantenimiento antes del plan de S/ 36,166.56 soles al año y con el plan de S/ 32,299.80 soles al año. Generando ahorros en costos operativos de mantenimiento por un valor de S/ 3,866.76 soles anuales. De modo similar, al comparar estos resultados con nuestro estudio, también logramos reducir los costos de operación por reparación o mantenimiento y generar ahorros. Siendo el costo de reparación de equipos antes de la propuesta del plan de mantenimiento preventivo, de S/ 1,603,744.75 soles para el año 2018; mientras que con la propuesta S/ 998,510.29 soles para el año 2019. Logrando así un ahorro de los costos operativos de reparación, por un valor de S/ 605,234.46 soles anuales.

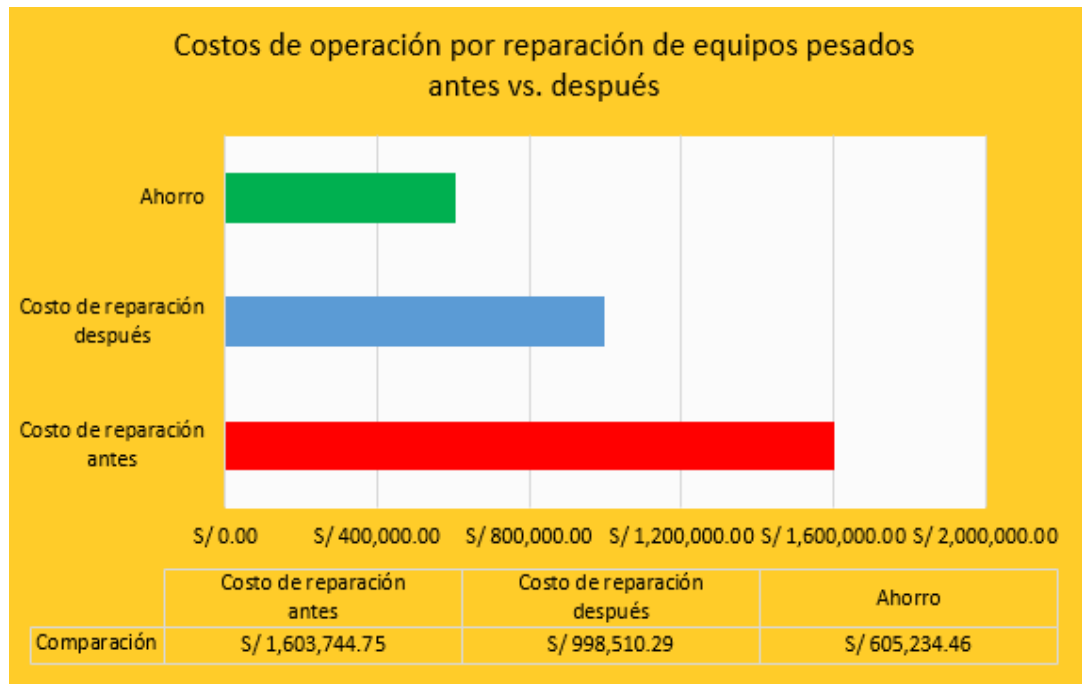


Figura 72. Comparación de costos de operación por reparación.

Fuente: Elaboración propia.

- Según Paz E. (2015), al elaborar un mantenimiento preventivo basado en el riesgo para equipos pesados (motoniveladora, cargador frontal, retroexcavadora, rodillo y volquete) se reducen las fallas. Siendo el número de fallas en los equipos inicialmente de 146. Mientras que con el mantenimiento preventivo el número de fallas fue de 73. Si comparamos este resultado, con nuestro estudio también logramos reducir fallas en tractores de cadenas gracias a la propuesta de un plan de mantenimiento preventivo. Siendo en total 400 fallas antes de la propuesta y 320 fallas con la propuesta. Logrando reducir de esa forma un total de 80 fallas para los equipos pesados.

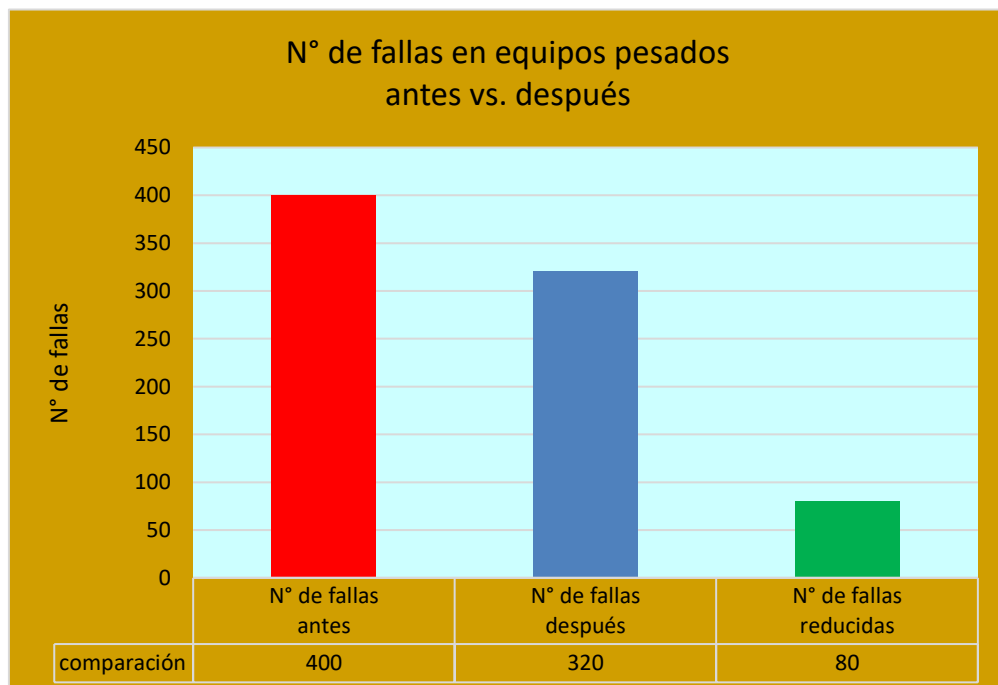


Figura 73. Comparación de cantidad de fallas.

4.1.3. Implicancias

Las implicaciones del presente trabajo de investigación pueden agruparse en: (a) implicaciones académicas, tanto para la literatura de mantenimiento como para el personal involucrado con el mantenimiento de equipos pesados; e (b) implicaciones prácticas para el personal involucrado con el mantenimiento de equipos pesados y de elaboración de planes de mantenimiento.

Desde un punto de vista académico, nuestro estudio ha permitido: (1) recopilar y clasificar las investigaciones realizadas en torno al mantenimiento y planes de mantenimiento; (2) enlazar la literatura sobre mantenimiento con la elaboración de planes de mantenimiento para enmarcar la propuesta de un plan de mantenimiento preventivo en equipos pesados ; (3) analizar el efecto que la propuesta del plan de mantenimiento preventivo, según una serie de parámetros extraídos de la literatura y validados empíricamente, tiene sobre los resultados de una empresa y el rendimiento del personal involucrado con el mantenimiento de equipos pesados, ya sea medido por

resultados o por comportamientos; (4) proponer un plan de mantenimiento preventivo para equipos pesados; y (5) contribuir a llenar el vacío empírico en entornos organizativos que caracteriza a este campo de estudio, donde, a pesar de su amplitud, el número de empresas que elaboran planes de mantenimiento frente a las que no elaboran es desequilibrado, generalmente porque en las últimas a los propietarios solo les interesa producir, descuidando el buen estado de los equipos que participan en el proceso de producción y que por ende garantizan la calidad de los productos fabricados o servicios prestados.

Desde el punto de vista práctico, las conclusiones de este estudio permiten la toma de decisiones empresariales para la puesta en marcha de la elaboración de un plan de mantenimiento preventivo. En este sentido, se ofrece un marco de referencia en el que se plantea no sólo un amplio conjunto de variables a analizar, sino también el efecto que tiene su correcto acoplamiento sobre los resultados de la organización y el rendimiento del personal involucrado con el mantenimiento.

4.2. Conclusiones

- La propuesta de un plan de mantenimiento preventivo permitió reducir los costos de operación de equipos pesados en un 62.26% equivalente a S/ 605,234.46 soles; para una empresa constructora de la región La Libertad, 2019.
- El diagnóstico realizado a la situación actual del área de mantenimiento en una empresa constructora de la región La Libertad, permitió identificar 11 causas raíces, de las cuales se priorizaron 7 tales como se improvisa los mantenimientos cuando se presenta la falla, fallas mecánicas y eléctricas, no existe un plan de mantenimiento definido, tiempos de mantenimiento elevados, espera de abastecimiento de repuestos, falta de supervisión y falta de formatos de control; ya que son las que tienen mayor impacto en los costos de operación de equipos pesados.
- Se diseñó y aplicó dentro de la propuesta de un plan de mantenimiento preventivo, herramientas de mejora como Programa de Mantenimiento, Plan de Requerimiento de Materiales, Hoja de Ruta de Mantenimiento, Diagrama de Operaciones, Contratación de un Planner de Mantenimiento, Confección de Formatos de Control y Plan de Capacitación. Las cuales ayudaron a reducir los costos de operación de equipos pesados.
- La propuesta de un plan de mantenimiento preventivo permitió reducir los costos de operación de equipos pesados de S/ 1,603,744.75 soles a S/ 998,510.29 soles; al año.

- Se evaluó la viabilidad económica del proyecto, obteniendo un aumento de utilidad bruta de S/ 51,820.36 soles anuales. Por lo tanto, se concluye que la propuesta es viable para una empresa constructora de la región La Libertad.

REFERENCIAS

- Añazco, J. & Salazar, L. (2016). Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo planificado de máquinas y equipos, para incrementar la rentabilidad en Consorcio A&A SRL - Cajamarca - 2016. [Tesis de pregrado, Universidad Privada Del Norte, Cajamarca, Perú]. Recuperado de <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/9955>
- Apolinario, P. (2017). Plan de mejora en la gestión de mantenimiento para reducción de costos y optimización de períodos de cambio y requerimientos de filtros y aceites para los equipos pesados de la empresa Johe S.A. [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica Del Perú, Lima, Perú]. Recuperado de http://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/UTP/1392/1/Polo%20Rivera_Trabajo%20de%20uficiencia%20Profesional_Titulo%20Profesional_2017.pdf
- Callejo, J. (2002). Observación, entrevista y grupo de discusión: el silencio de tres prácticas de investigación. Revista española de salud pública, volumen 76, n°5, párr.21. Recuperado de http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-57272002000500004
- Campbell, D. & Stanley, J. (2005). Diseños experimentales y cuasi experimentales en la investigación social. Buenos Aires: Amorrortu, 1a edición en castellano 1973, novena impresión. Recuperado de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1729-48272013000100013&script=sci_arttext

Capeco: El sector construcción alcanzó su mejor desempeño en cinco años. (2019). Revista

construir, párr. 1-5. Recuperado de <http://construir.com.pe/capeco-el-sector-construccion-alcanzo-su-mejor-desempeno-en-cinco-anos/>

Caro, L. (s.f.). 7 Técnicas e instrumentos para recolección de datos. Recuperado de <http://148.202.167.116:8080/xmlui/handle/123456789/2801>

Castañeda, L. (2018). Impacto de la maquinaria pesada en la productividad del sector. Revista de construcción, párr. 2-6. Recuperado de <http://revistaconstruccion.gt/sitio/2018/06/09/impacto-de-la-maquinaria-en-la-productividad-del-sector/>

Costes, J. (1975). Máquinas para movimiento de tierras. Recuperado de <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=hkhbn0ya2JEC&oi=fnd&pg=PR7&dq=que+es+un+tractor+sobre+orugas&ots=t8q4seUmEa&sig=7xxazvYWChCxst5IgdGtWH4mAsk#v=onepage&q=que%20es%20un%20tractor%20sobre%20orugas&f=false>

Crespo, A. (2007). Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada en la gestión de activos (p. 4). [Figura]. Recuperado de <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=8xsnQ1aMg2gC&oi=fnd&pg=PR20&dq=el+marco+de+gestion+de+mantenimiento,+crespo+2007&ots=lZY2g9V49&sig=rptQPUEqmUnyQH3L6ga8XZ5BHjQ#v=onepage&q=el%20marco%20de%20gestion%20de%20mantenimiento%2C%20crespo%202007&f=false>

Del Río, O. (2011). El proceso de investigación: etapas y planificación de la investigación, en Vilches,

L. (coord.). La investigación en comunicación. Métodos y técnicas en la era digital,

Barcelona, Ed. Gedisa, p.26. Recuperado de

[https://metodouces.files.wordpress.com/2015/09/del-rio-el-proceso-de-](https://metodouces.files.wordpress.com/2015/09/del-rio-el-proceso-de-investigacion-etapas-y-planificacion.pdf)

[investigacion-etapas-y-planificacion.pdf](https://metodouces.files.wordpress.com/2015/09/del-rio-el-proceso-de-investigacion-etapas-y-planificacion.pdf)

Departamento de La Libertad. (s.f.). En Wikipedia. [Figura]. Recuperado el 27/09/2020 de

https://es.wikipedia.org/wiki/Departamento_de_La_Libertad

Fabbri, M. (s.f.). Las técnicas de investigación: la observación. [Archivo PDF]. Recuperado de

<https://scholar.google.es/scholar?start=20&q=tecnicas+de+recoleccion+de+datos>

<https://scholar.google.es/scholar?start=20&q=tecnicas+de+recoleccion+de+datos>

Federación Latinoamericana para la Calidad. (s.f.). Sistemas de gestión de la calidad: herramientas

para el análisis, cuantitativo y cualitativo. Recuperado de

[http://www.cyta.com.ar/biblioteca/bddoc/bdlibros/herramientas_calidad/herramientas_](http://www.cyta.com.ar/biblioteca/bddoc/bdlibros/herramientas_calidad/herramientas_analisis_gestion_calidad.html)

[analisis_gestion_calidad.html](http://www.cyta.com.ar/biblioteca/bddoc/bdlibros/herramientas_calidad/herramientas_analisis_gestion_calidad.html)

García, O. (2012). Gestión moderna del mantenimiento industrial. Recuperado de

<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=lyejDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=libro:>

[++mantenimiento&ots=bOypMe2luw&sig=K0gk2kNusFyG_IJm8AlTrGZWc#v=onepage&q](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=lyejDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=libro:)

[=libro%3A%20%20mantenimiento&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=lyejDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=libro:)

García, S. (2003). Organización y gestión integral de mantenimiento. Recuperado de

<https://ebookcentral.proquest.com/lib/upnortesp/reader.action?docID=3157912&query=Santiago+Garc%C3%ADa+Garrido>

Gómez, F. (1998). Tecnología del mantenimiento industrial. Recuperado de

<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=bOrFC3532MEC&oi=fnd&pg=PA21&dq=LIBRO:+TIPOS+DE+MANTENIMIENTO&ots=6NiYMIMmOL&sig=LGVmmfH4s-G7RGhGYYzzOW5-zMk#v=onepage&q=LIBRO%3A%20TIPOS%20DE%20MANTENIMIENTO&f=false>

Hernández, R., Fernández, C. & Baptista, P. (2014). Metodología de la investigación sexta edición.

Recuperado de <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wpcontent/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf>

Heyel, C. (1984). Enciclopedia de gestión y administración de empresas management. Barcelona, España: Ediciones Grijalbo S.A.

Lezana, J. (1992). Parques de maquinaria. III Master en gestión y dirección de empresas constructoras. Fundación "Agustín de Bethencourt", Madrid, España. [Figura]. Recuperado de

<https://ebookcentral.proquest.com/lib/upnortesp/reader.action?docID=3430056&query=MANTENIMIENTO>

Lévy, J. & Varela, J. (2006). Modelización con estructuras de covarianzas en ciencias sociales.

Recuperado de

https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=WEfC1TGVJBgC&oi=fnd&pg=PA31&dq=prueba+de+normalidad+shapiro+wilk&ots=frA3WY9G_q&sig=GFWgcoQIDJR0tjfnlpOLixl1PnA#v=onepage&q=prueba%20de%20normalidad%20shapiro%20wilk&f=false

Luego de cinco años sector construcción empieza a recuperarse. (16 de marzo de 2020). La

República. Recuperado de <https://larepublica.pe/politica/2020/03/16/la-libertad-sector-construccion-empieza-a-recuperarse->

[lrnd/#:~:text=La%20Rep%C3%ABlica,16%20Mar%202020&text=El%20sector%20construccion%20en%20La,de%20La%20Libertad%20\(CCLL\)](https://larepublica.pe/politica/2020/03/16/la-libertad-sector-construccion-empieza-a-recuperarse-)

Maldonado, H. & Sigüenza, L. (2012). Propuesta de un plan de mantenimiento para maquinaria

pesada de la empresa Dynasty Mining del cantón Portovelo. [Tesis de pregrado, Universidad

Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Ecuador]. Recuperado de

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1759/12/UPS-CT002328.pdf>

Maquinaria pesada: ¿cuáles son los equipos más pedidos? (13 de febrero de 2018). El Comercio.

Recuperado de <https://elcomercio.pe/economia/dia-1/maquinaria-pesada-son-equipos-pedidos-noticia-496745-noticia/?ref=ecr>

Olivo, J. (2018). Diseño del plan de mantenimiento preventivo para maquinaria pesada del gobierno

autónomo descentralizado del cantón Baños de Agua Santa. [Tesis de pregrado,

Universidad Tecnológica Indoamérica, Ecuador]. Recuperado de

<http://repositorio.uti.edu.ec/handle/123456789/1072>

Orellana, D. y M. Cruz. (2006). Técnicas de recolección de datos en entornos virtuales más usadas en la investigación cualitativa. Revista de investigación educativa, volumen 24, n°1, p. 217.

Recuperado de <https://revistas.um.es/rie/article/view/97661/93701>

Paz, E. (2015). Diseño de un programa de mantenimiento preventivo basado en el riesgo para aumentar la disponibilidad y reducir los costos de operación del pool de maquinaria pesada de la Municipalidad de Rioja. [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo, Trujillo, Perú].

Recuperado de

http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/26449/paz_je.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Pedrosa, M. (12 de diciembre de 2016). Panorama mundial de la construcción. Recuperado de

<https://www.construccion-pa.com/noticias/panorama-mundial-la-construccion/>

Ramos, E. (2008). Métodos y técnicas de investigación. [Archivo PDF]. Recuperado de

https://scholar.google.es/scholar?start=30&q=tecnicas+de+recolecci%C3%B3n+de+datos&hl=es&as_sdt=0,5

Tavares, L. (2000). Administración moderna de mantenimiento. Recuperado de

https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Administraci%C3%B3n+Moderna+de+Mantenimiento&btnG=

Torres, M. & Salazar, F. (s.f.). Métodos de recolección de datos para una investigación. [Archivo

PDF]. Recuperado de

<http://biblioteca.udgvirtual.udg.mx/jspui/bitstream/123456789/2817/1/M%3%a9todos%20de%20recolecci%3%b3n%20de%20datos%20para%20una%20investigaci%3%b3n.pdf>

Universidad Nacional del Nordeste, (s.f.). Introducción a la informática. [Archivo PDF]. Recuperado

de

http://www.ing.unne.edu.ar/assets/pdf/academica/departamentos/computacion/mod_info/apexcel.pdf

Valderrama, S. (2013). Pasos para elaborar proyectos de investigación científica. 2da edición. Lima:

San Marcos

Vara, A. (2012). 7 Pasos para una tesis exitosa. Desde la idea inicial hasta la sustentación.

Recuperado de <http://www.administracion.usmp.edu.pe/investigacion/files/7-PASOS-PARA-UNA-TESIS-EXITOSA-Desde-la-idea-inicial-hasta-la-sustentaci%C3%B3n.pdf>

Vergaray, W. (2018). Plan de mantenimiento preventivo para reducir los costos de operación en los

equipos Trackle Scoop LH203 de la Compañía Minera Poderosa S.A. [Tesis de pregrado,

Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú]. Recuperado de

<http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/12434/Vergaray%20Tamayo%2c%20Wilson.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Vilar, J. (1997). Las 7 nuevas herramientas para la mejora de la calidad. 2° Edición. Recuperado de

<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=qnLTI0HUb4cC&oi=fnd&pg=PA5&dq=matriz+de+priorizaci%C3%B3n&ots=BF2aA-Xm8&sig=2C43oTcALcc9VjX0glw4USuT7a0#v=onepage&q=matriz%20de%20priorizaci%C3%B3n&f=false>

Wikipedia (s.f.). Ubicación de la región La Libertad. Recuperado de














https://es.wikipedia.org/wiki/Departamento_de_La_Libertad

Yepes, V. (2015). Coste, producción y mantenimiento de maquinaria para construcción. Recuperado de

<https://ebookcentral.proquest.com/lib/upnortesp/reader.action?docID=3430056&query=Coste%2C+producci%C3%B3n+y+mantenimiento+de+maquinaria+de+construcci%C3%B3n>

ANEXOS

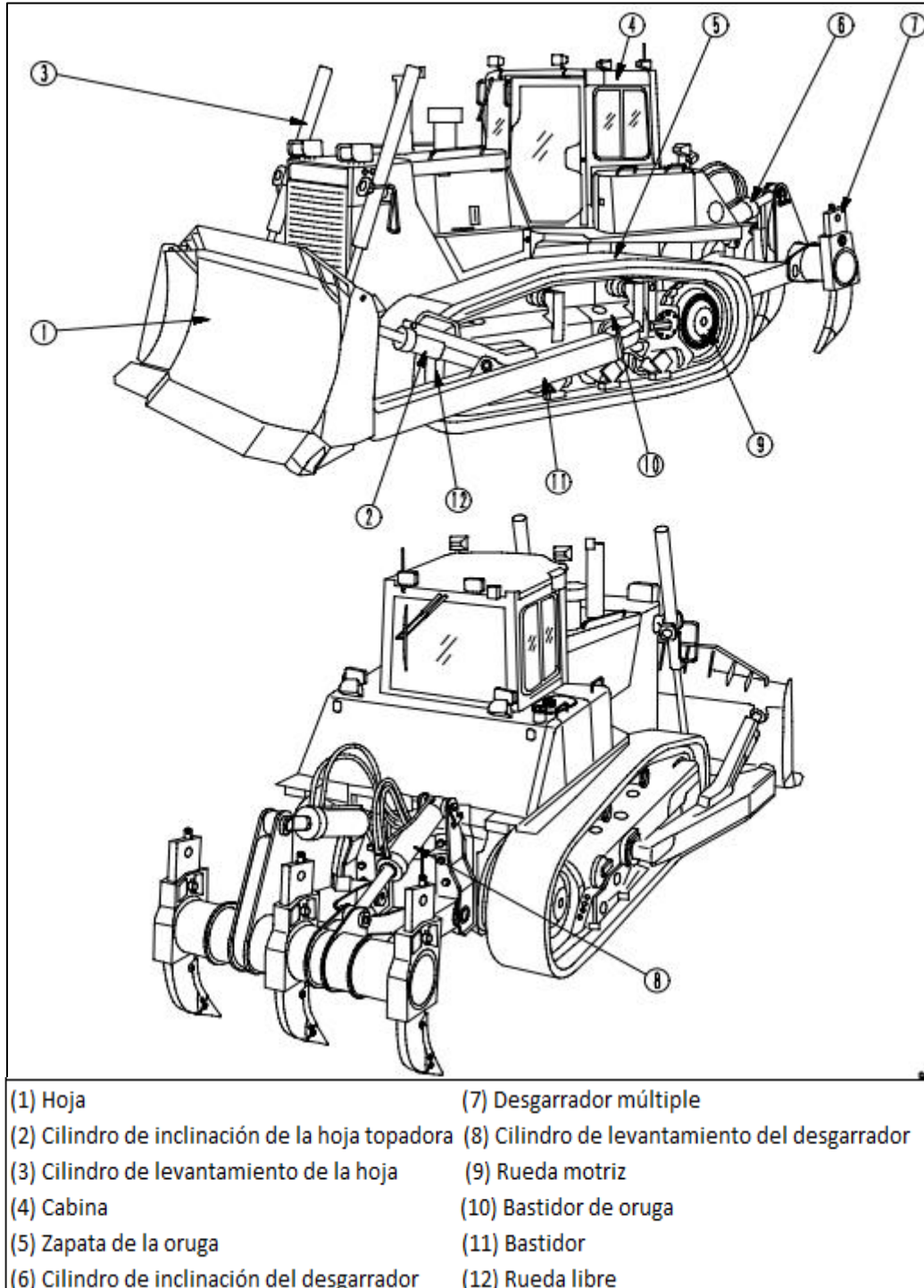
ANEXO N°01: Flota de equipos pesados en una empresa constructora de la región La Libertad

PARQUE DE MÁQUINAS		
EQUIPO PESADO	EQUIPO PESADO	EQUIPO PESADO
TRACTOR D155AX6-1 	EXCAVADORA 320D 	EXCAVADORA 340 LC 
TRACTOR D155AX6-2 	CARGADOR 950H 	MOTONIVELADORA 135H 
TRACTOR D155AX6-3 	EXCAVADORA 329D 	RETROEXCAVADORA 420E 
TRACTOR D155AX6-4 		
TRACTOR D155AX6-5 		
TRACTOR D155AX6-6 		
TRACTOR D65EX 		

ANEXO N°02: Muestra de estudio: Tractor de cadenas Komatsu modelo D155AX6



ANEXO N°03: Descripción general de componentes tractor de cadenas Komatsu D155AX6



ANEXO N°04: Especificaciones técnicas Tractor de Cadenas Komatsu D155AX6

DIMENSIONES

A	4,060 mm	13'4"
B	2,140 mm	7'
C	3,385 mm	11'1"
D	1,850 mm	6'1"
E	3,275 mm	10'9"
F	8,225 mm	27'
G	2,745 mm	9'
H	1,240 mm	4'1"
I	950 mm	3'1"
J	3,395 mm	11'2"

Ground clearance: 500 mm 1'8"

SISTEMA HIDRÁULICO

Sistema de control de carga de centro cerrado (CLSS) diseñado para un control preciso y reacción más eficaz, y para una operación simultánea más eficiente.

Unidad de control hidráulico:
Todas las válvulas de control de carretes montadas externamente al lado del tanque hidráulico.

Bomba variable de pistones con capacidad de (caudal de descarga) **325 L/min** 85.9 U.S. gal/min para dirección y **180 L/min** 47.6 U.S. gal/min para implementos a rpm nominal del motor.

Regulación de válvulas de alivio
..... para implemento **27.5 MPa** 280 kg/cm² 3,980 psi
..... para dirección **38.2 MPa** 390 kg/cm² 5,550 psi

Válvulas de control:
Válvulas de carrete para SIGMADOZER, topadoras Semi-U inclinable y U inclinable.
Posiciones: Levantamiento de hoja Elevar, sostener, bajar y flotar
Inclinación de hoja Derecha, mantener, e izquierda

Válvula de control adicional requerida para el ángulo variable del desgarrador de garras múltiples y el desgarrador gigante.
Posiciones: Levantamiento del desgarrador ... Elevar, sostener, y bajar
Inclinación de hoja Aumentar, sostener y reducir

Cilindros hidráulicos Pistón, de doble acción

	Número de cilindros	Diámetro
Levantamiento de hoja	2	110 mm 4.33"
Hojas inclinable	1	160 mm 6.30"
Levantamiento del desgarrador	1	180 mm 7.09"
Inclinación del desgarrador	1	200 mm 7.87"

Capacidad de aceite hidráulico (relleno):
Topadora semi-U inclinable **85 L** 22.5 U.S. gal
Hoja U inclinable **85 L** 22.5 U.S. gal

Equipo del desgarrador (volumen adicional):
Desgarrador de garras múltiples **37 L** 9.8 U.S. gal
Desgarrador gigante **37 L** 9.8 U.S. gal

EQUIPO DE TOPADORA

Se utiliza en la vertedera un acero fuerte de alta resistencia para una construcción más reforzada de la hoja. Las mangueras hidráulicas de la inclinación están montadas en el interior de la estructura de empuje de la hoja protegidas contra daños.

	Longitud total con topadora	Capacidad de la hoja	Largo x Altura de la hoja	Máxima elevación sobre terreno	Máxima caída bajo terreno	Máximo ajuste de inclinación	Peso adicional
SIGMADOZER	6,125 mm 20'1"	9.4 m ³ 12.3 yd ³	4,060 mm x 1,850 mm 13'4" x 6'1"	1,320 mm 4'4"	617 mm 2'	920 mm 3'	4,940 kg 10,890 lb
SIGMADOZER Reforzada	6,125 mm 20'1"	9.4 m ³ 12.3 yd ³	4,060 mm x 1,850 mm 13'4" x 6'1"	1,320 mm 4'4"	617 mm 2'	920 mm 3'	5,360 kg 11,820 lb
Topadora Semi-U Inclinable	6,175 mm 20'3"	9.4 m ³ 12.3 yd ³	4,130 mm x 1,790 mm 13'7" x 5'10"	1,255 mm 4'1"	593 mm 1'11"	953 mm 3'	4,960 kg 10,936 lb
Topadora U inclinable	6,590 mm 21'7"	11.9 m ³ 15.6 yd ³	4,225 mm x 1,790 mm 13'10" x 5'10"	1,255 mm 4'1"	593 mm 1'11"	970 mm 3'2"	5,630 kg 12,420 lb
Topadora Hoja Angulable	6,743 mm 22'1"	4.6 m ³ 6.0 yd ³	4,850 mm x 1,205 mm 15'11" x 3'11"	1,562 mm 5'1"	664 mm 2'2"	520 mm 1'8"	5,170 kg 11,400 lb

ANEXO N°05: Notas del trabajo de campo

		Valoración	Puntaje
		En desacuerdo	3
		Indeciso	2
		De acuerdo	1
PREGUNTAS PARA INDAGACIÓN CAUSAS RAÍCES	VALORACIÓN	OBSERVACIONES	
Inspección	3	El operador no realiza un chequeo de la condiciones de operatividad del equipo de manera correcta. Además no reporta en el acto alguna anomalía y no aplica modalidad de operación correcta en el frente de trabajo.	
Fallas operativas	1	Se evidenció una falla mecánica en el tractor D155AX6-6, justo en el momento que se realizaba el trabajo de campo.	
Frecuencia de mantenimientos	3	Se desconoce la periodicidad con la que debe llevarse a cabo las tareas de mantenimiento.	
Paradas no programadas	1	Existen paradas imprevistas que afectan a la producción, haciendo que no se entreguen a tiempo las obras que ejecuta la empresa.	
Procedimientos para realizar mantenimientos	3	No existen acciones a seguir, ni flujogramas que describan como realizar las actividades de mantenimiento.	
Control de los mantenimientos	3	Tiempos de mantenimiento elevados, por falta de capacitación, espera de repuestos y falta de supervisión. No existen formatos para llevar control de los trabajos de reparación ni para hacer seguimiento a las fallas más frecuentes. Tampoco existen indicadores de mantenimiento.	

ANEXO N°06: Evidencia del trabajo en campo Tractor D155AX6-6



ANEXO N°07: Cuestionario

CUESTIONARIO DE PROBLEMAS MÁS COMUNES EN UNA EMPRESA CONSTRUCTORA DE LA REGIÓN LA LIBERTAD

Problema: Elevados costos de operación de equipos pesados

Nombre: _____

Marque con una "X" según criterio de significancia de causa en el Problema.

Valoración	Puntaje
Alto	5
Regular	3
Bajo	1

Causa	Preguntas con Respecto a las Principales Causas	Calificación		
		Alto	Regular	Bajo
CR1	Espera de abastecimiento de repuestos			
CR2	Se improvisa los mantenimientos cuando se presenta la falla			
CR3	No existe un plan de mantenimiento definido			
CR4	Fallas mecánicas y eléctricas			
CR5	Tiempos de mantenimiento elevados			
CR6	Falta de supervisión			
CR7	Falta de formatos de control			
CR8	Falta de manuales de fabricante			
CR9	Falta de indicadores de gestión de mantenimiento			
CR10	Falta de orden y limpieza en taller			
CR11	Mecánicos y operadores empíricos			

ANEXO N°08: Alfa de Cronbach

CAUSA RAÍZ RESULTADOS CUESTIONARIO	Espera de abastecimiento de repuestos	Se improvisa los mantenimientos cuando se presenta la falla	No existe un plan de mantenimiento definido	Fallas mecánicas y eléctricas	Tiempos de mantenimiento elevados	Falta de supervisión	Falta de formatos de control	Falta de manuales de fabricante	Falta de indicadores de gestión de mantenimiento	Falta de orden y limpieza en taller	Mecánicos y operadores empíricos	TOTAL
	CR1	CR2	CR3	CR4	CR5	CR6	CR7	CR8	CR9	CR10	CR11	
Colaborador 1	3	5	5	3	5	1	3	3	1	1	1	31
Colaborador 2	5	5	3	5	3	5	1	1	3	1	1	33
Colaborador 3	3	3	5	5	3	5	3	3	3	3	5	41
Colaborador 4	3	5	5	5	3	3	3	3	1	3	3	37
Colaborador 5	3	5	1	3	3	1	3	1	3	3	1	27
Colaborador 6	5	5	5	5	5	5	5	3	1	3	3	45
Colaborador 7	3	5	5	5	5	5	3	3	3	1	3	41
Colaborador 8	5	5	5	5	5	3	5	3	3	1	5	45
Calificación total	30	38	34	36	32	28	26	20	18	16	22	300
Varianza	1.071	0.500	2.214	0.857	1.143	3.143	1.643	0.857	1.071	1.143	2.786	44.286

Método Alfa de Cronbach		Rango de aceptación Alfa de Cronbach	
K =	8	Mayor 0.9 --> Excelente	
$\sum Vi =$	16.429	Entre 0.8 - 0.9 --> Bueno	
Vt =	44.286	Entre 0.7 - 0.8 --> Aceptable	
$\alpha =$	0.719	Entre 0.6 - 0.7 --> Instrumento Débil	
		Entre 0.5 - 0.6 --> Instrumento Pobre	
		Menor 0.5 --> No es Aceptable	

ANEXO N°09: Matriz de Priorización

Área de aplicación: Mantenimiento

Problema: Elevados costos de operación de equipos pesados

CR	CAUSA RAÍZ	∑ (SEGÚN CUESTIONARIO)	% IMPACTO
CR2	Se improvisa los mantenimientos cuando se presenta la falla	38	12.67%
CR4	Fallas mecánicas y eléctricas	36	24.67%
CR3	No existe un plan de mantenimiento definido	34	36.00%
CR5	Tiempos de mantenimiento elevados	32	46.67%
CR1	Espera de abastecimiento de repuestos	30	56.67%
CR6	Falta de supervisión	28	66.00%
CR7	Falta de formatos de control	26	74.67%
TOTAL		224	

ANEXO N°10: Performances actual de equipos antes de la propuesta

TRACTOR D155AX6-1		TRACTOR D155AX6-2		TRACTOR D155AX6-3	
Descripción	Horas/Año	Descripción	Horas/Año	Descripción	Horas/Año
HORAS CALENDARIAS	2,880.00	HORAS CALENDARIAS	2,880.00	HORAS CALENDARIAS	2,880.00
HORAS NO DISPONIBLES		HORAS NO DISPONIBLES		HORAS NO DISPONIBLES	
Almuerzo	180.00	Almuerzo	180.00	Almuerzo	180.00
HORAS NO DISPONIBLES	180.00	HORAS NO DISPONIBLES	180.00	HORAS NO DISPONIBLES	180.00
HORAS DISPONIBLES	2,700.00	HORAS DISPONIBLES	2,700.00	HORAS DISPONIBLES	2,700.00
HORAS NO PROGRAMADAS		HORAS NO PROGRAMADAS		HORAS NO PROGRAMADAS	
Mantenimiento de rutina/lubricación	70.00	Mantenimiento de rutina/lubricación	70.00	Mantenimiento de rutina/lubricación	70.00
HORAS NO PROGRAMADAS	70.00	HORAS NO PROGRAMADAS	70.00	HORAS NO PROGRAMADAS	70.00
HORAS PROGRAMADAS	2,630.00	HORAS PROGRAMADAS	2,630.00	HORAS PROGRAMADAS	2,630.00
DEMORAS DE OPERACIÓN		DEMORAS DE OPERACIÓN		DEMORAS DE OPERACIÓN	
Encendido de equipo	46.80	Encendido de equipo	46.80	Encendido de equipo	46.80
DEMORAS DE OPERACIÓN	46.80	DEMORAS DE OPERACIÓN	46.80	DEMORAS DE OPERACIÓN	46.80
DEMORAS MECÁNICAS		DEMORAS MECÁNICAS		DEMORAS MECÁNICAS	
Reparación mecánica	418.04	Reparación mecánica	271.22	Reparación mecánica	274.96
DEMORAS ELÉCTRICAS		DEMORAS ELÉCTRICAS		DEMORAS ELÉCTRICAS	
Reparación eléctrica	278.69	Reparación eléctrica	180.82	Reparación eléctrica	183.31
TOTAL DEMORAS	743.53	TOTAL DEMORAS	498.84	TOTAL DEMORAS	505.07
HORAS OPERADAS	1,886.47	HORAS OPERADAS	2,131.16	HORAS OPERADAS	2,124.93

TRACTOR D155AX6-4		TRACTOR D155AX6-5		TRACTOR D155AX6-6	
Descripción	Horas/Año	Descripción	Horas/Año	Descripción	Horas/Año
HORAS CALENDARIAS	2,880.00	HORAS CALENDARIAS	2,880.00	HORAS CALENDARIAS	2,880.00
HORAS NO DISPONIBLES		HORAS NO DISPONIBLES		HORAS NO DISPONIBLES	
Almuerzo	180.00	Almuerzo	180.00	Almuerzo	180.00
HORAS NO DISPONIBLES	180.00	HORAS NO DISPONIBLES	180.00	HORAS NO DISPONIBLES	180.00
HORAS DISPONIBLES	2,700.00	HORAS DISPONIBLES	2,700.00	HORAS DISPONIBLES	2,700.00
HORAS NO PROGRAMADAS		HORAS NO PROGRAMADAS		HORAS NO PROGRAMADAS	
Mantenimiento de rutina/lubricación	70.00	Mantenimiento de rutina/lubricación	70.00	Mantenimiento de rutina/lubricación	70.00
HORAS NO PROGRAMADAS	70.00	HORAS NO PROGRAMADAS	70.00	HORAS NO PROGRAMADAS	70.00
HORAS PROGRAMADAS	2,630.00	HORAS PROGRAMADAS	2,630.00	HORAS PROGRAMADAS	2,630.00
DEMORAS DE OPERACIÓN		DEMORAS DE OPERACIÓN		DEMORAS DE OPERACIÓN	
Encendido de equipo	46.80	Encendido de equipo	46.80	Encendido de equipo	46.80
DEMORAS DE OPERACIÓN	46.80	DEMORAS DE OPERACIÓN	46.80	DEMORAS DE OPERACIÓN	46.80
DEMORAS MECÁNICAS		DEMORAS MECÁNICAS		DEMORAS MECÁNICAS	
Reparación mecánica	353.14	Reparación mecánica	324.10	Reparación mecánica	432.14
DEMORAS ELÉCTRICAS		DEMORAS ELÉCTRICAS		DEMORAS ELÉCTRICAS	
Reparación eléctrica	235.42	Reparación eléctrica	216.07	Reparación eléctrica	288.09
TOTAL DEMORAS	635.36	TOTAL DEMORAS	586.97	TOTAL DEMORAS	767.03
HORAS OPERADAS	1,994.64	HORAS OPERADAS	2,043.03	HORAS OPERADAS	1,862.97

ANEXO N°11: Programa de mantenimiento preventivo de equipos pesados

PROGRAMACIÓN DE MANTENIMIENTO 2019													
Equipo	Marca	Modelo	Serie	Horómetro actual	PM1	PM2	PM3	PM4	PM1	PM2	PM3	PM4	PM1
					7/02/2019	16/03/2019	23/04/2019	31/05/2019	8/07/2019	15/08/2019	23/09/2019	31/10/2019	9/12/2019
Tractor de cadena	Komatsu	D155AX-2	81303	6000 HRS	6250 HRS	6500 HRS	7000 HRS	8000 HRS	8250 HRS	8500 HRS	9000 HRS	10000 HRS	10250 HRS
Tractor de cadena	Komatsu	D155AX-3	81512	6000 HRS	6250 HRS	6500 HRS	7000 HRS	8000 HRS	8250 HRS	8500 HRS	9000 HRS	10000 HRS	10250 HRS
Equipo	Marca	Modelo	Serie	Horómetro actual	PM1	PM2	PM3	PM4	PM1	PM2	PM3	PM4	PM1
					8/02/2019	19/03/2019	26/04/2019	5/06/2019	13/07/2019	22/08/2019	1/10/2019	11/11/2019	19/12/2019
Tractor de cadena	Komatsu	D155AX-4	81513	12000 HRS	12250 HRS	12500 HRS	13000 HRS	14000 HRS	14250 HRS	14500 HRS	15000 HRS	250 HRS	500 HRS
Equipo	Marca	Modelo	Serie	Horómetro actual	PM1	PM2	PM3	PM4	PM1	PM2	PM3	PM4	PM1
					8/02/2019	19/03/2019	26/04/2019	5/06/2019	13/07/2019	22/08/2019	1/10/2019	11/11/2019	19/12/2019
Tractor de cadena	Komatsu	D155AX-5	81516	9000 HRS	9250 HRS	9500 HRS	10000 HRS	11000 HRS	11250 HRS	11500 HRS	12000 HRS	13000 HRS	13250 HRS
Equipo	Marca	Modelo	Serie	Horómetro actual	PM1	PM2	PM3	PM4	PM1	PM2	PM3	PM4	PM1
					9/02/2019	21/03/2019	30/04/2019	10/06/2019	19/07/2019	29/08/2019	10/10/2019	20/11/2019	-
Tractor de cadena	Komatsu	D155AX-1	81301	0	250 HRS	500 HRS	1000 HRS	2000 HRS	2250 HRS	2500 HRS	3000 HRS	4000 HRS	-
Tractor de cadena	Komatsu	D155AX-6	81613	0	250 HRS	500 HRS	1000 HRS	2000 HRS	2250 HRS	2500 HRS	3000 HRS	4000 HRS	-

ANEXO N°13: Hoja de ruta de mantenimiento de lubricación

TARJETA DE MANTENIMIENTO: LUBRICACIÓN								
PLANEAMIENTO Y PROGRAMACION (P y P)								
EQUIPO	N° PM	# OT	FECHA PROG	FECHA EJEC	HOROMETRO	FICHA MECÁNICOS		
D155AX6-6	1	000007	9/02/2019	9/02/2019	250 HRS.	08545/Mantilla		
	2							
	3							
	4							
	5							
Descripcion código								
Bueno	B	Cambiado	C					
Malo	M	Pendiente	P					
Reparado	R	Realizado	✓					
No tiene	--							
INSPECCION A LAS 250 HORAS					9/02/2019	21/03/2019	30/04/2019	10/06/2019
Lubricación								
Motor	Obtener muestra de aceite del motor				✓			
	Cambiar aceite de motor				C			
	Cambiar filtro aceite de motor				C			
	Cambiar filtro de combustible				C			
	Cambiar filtro de agua (cartucho resistor y subresistor anticorrosion)				C			
Dámper	Comprobar nivel de aceite, añadir de ser necesario				✓			
Eje pivote	Comprobar nivel de aceite, añadir de ser necesario				✓			
Muelle recuperador	Comprobar nivel de aceite, añadir de ser necesario				✓			
Engrasar								
Cilindros hid. Levante	Balancin de soporte de los cilindros de levante (4 ptos)				✓			
	Eje de soporte de los cilindros de levante de la hoja (2 ptos)				✓			
Hoja Dozer	Articulacion de la bola del brazo de la hoja (5 ptos)				✓			
	Tornillo de la abrazadera (2 ptos)				✓			
Ripper	Pasador inferior del cilindro de volteo del escarificador (2 ptos)				✓			
	Pasador inferior del cilindro de levante del escarificador (2 ptos)				✓			
	Pasador extremo de la barra del cilindro de volteo del escarificador (2ptos)				✓			
	Pasador extremo de la barra del cilindro de levante del escarificador (2ptos)				✓			
	Pasador del brazo del escarificador delantero (2 ptos)				✓			
	Pasador del brazo del escarificador trasero (2 ptos)				✓			
Barra ecualizadora	Eje lateral de la barra (2 ptos)				✓			
Suspensión	Eje central de la barra ecualizadora (1 pto)				✓			
REPUESTOS: FILTROS								
Motor	Filtro de aceite de motor	600-211-1340	510-60-01340	1	EA			
Combustible	filtro de combustible	600-311-3841	510-60-02041	1	EA			
	filtro separador de agua	600-311-4510	510-60-02025	1	EA			
OBSERVACIONES:								
¿CÓMO LO ENCONTRÓ?			¿QUÉ HIZO?			¿CÓMO QUEDÓ?		
Filtro de aceite de motor sucio y obstruido.			Se cambió filtro.			Operativo.		

ANEXO N°14: Hoja de ruta de mantenimiento mecánico

TARJETA DE MANTENIMIENTO: MECÁNICO								
PLANEAMIENTO Y PROGRAMACION (P y P)								
EQUIPO	N° PM	# OT	FECH_PROG	FECH_EJEC	HOROMETRO	FICHA TECNICOS		
D155AX6-6	1	000007	9/02/2019	9/02/2019	250 HRS.	08545/Mantilla		
	2							
	3							
	4							
Descripcion código		5						
Bueno	B	Cambiado	C	6				
Malo	M	Pendiente	P	7				
Reparado	R	Limpieza	L	8				
No tiene	--	Realizado	✓					
INSPECCION A LAS 250, 500, 1000 Y 2000 HORAS					9/02/2019	21/03/2019	30/04/2019	10/06/2019
Realice las tareas de mantenimiento indicadas:								
Equipo		Lavado general (antes del lavado proteja el alternador)			L			
Sistema de enfriamiento								
Radiadores		Limpiar y lavar			L			
Enfriador hidraulico		Limpiar y lavar			L			
Tren de rodamientos								
Eslabon master		Comprobar que no exista holgura entre juntas. De haberlas limpiar, cambiar pernos. Torquear			✓			
Zapatras		Comprobar estado, buscar pernos flojos. Cambiar y torquear			✓			
Segmentos		Comprobar estado, buscar pernos flojos. Cambiar y torquear			✓			
Bastidor		Comprobar estado de eje, pernos y abrazaderas de rueda guia. Reapretar			✓			
		Comprobar estado de rodillo sup/inf, buscar pernos rotos. Cambiar			✓			
Implementos								
Brazo RH/LH de hoja dozer		Verificar jgo normal entre laines, reapretar pernos de la tapa			✓			
Hoja dozer (espalda hoja)		Verificar jgo entre bolas y articulaciones, reapretar pernos. Comprobar jgo normal entre pines y brakets.			✓			
Cuchillas y cantoneras		Medir desgaste y ver daños en cuchillas y cantoneras. De pasar el límite o ver averias cambiarlos			✓			
Pasamanos y escalones		Comprobar estado y daños. Reparar y reapretar pernos.			✓			
Compartimiento de motor		Comprobar que abra y cierre normal. De haber daño repare y lubrique			✓			
Compartimiento filtro de carga		Comprobar que abra y cierre normal. De haber daño repare y lubrique			✓			
Sistema de combustible								
Colador de combustible de motor		Limpiar y lavar			L			
Colador de tanque de combustible		Limpiar y lavar			L			
Motor								
Respiradero de motor		Limpiar			L			
Turbocompresor		Reapretar pernos de abrazadera de manguera del filtro de aire, postenfriador y motor. De haber daño, cambiarlos			✓			
Filtro de aire		Cambiar			C			
Sistema de enfriamiento								
Tapa de presion del radiador		Limpiar			L			
Sistema de A.C								
Filtro AC exterior		Cambiar			C			
Filtro AC interior cabina		Cambiar			C			
Cabina								
Pedal de freno		Comprobar funcionamiento, lubricar			✓			
Pedal acelerador		Comprobar funcionamiento, lubricar			✓			
Puerta de cabina		Comprobar estado y funcionamiento			✓			
Asiento de cabina		Comprobar estado y funcionamiento			✓			
		Comprobar estado y funcionamiento del cinturón de seguridad			✓			
OBSERVACIONES:								
¿CÓMO LO ENCONTRÓ?			¿QUÉ HIZO?			¿CÓMO QUEDÓ?		
Manguera hidráulica del cilindro de ripper reseca.			Se cambió manguera.			Operativo.		

ANEXO N°15: Hoja de ruta de mantenimiento eléctrico

TARJETA DE MANTENIMIENTO: ELÉCTRICO								
PLANEAMIENTO Y PROGRAMACION (P y P)								
EQUIPO	N° PM	# OT	FECH_PROG	FECH_EJEC	HOROMETRO	FICHA TECNICOS		
D155AX6-6	1	000007	9/02/2019	9/02/2019	250 HRS.	08545/Mantilla		
	2							
	3							
	4							
Descripcion código		5						
Bueno	B	Cambiado	C	6				
Malo	M	Pendiente	P	7				
Reparad	R	Limpieza	L	8				
No tiene	--	Realizado	✓					
INSPECCION A LAS 250, 500, 1000 Y 2000 HORAS					9/02/2019	21/03/2019	30/04/2019	10/06/2019
Realice las tareas de mantenimiento indicadas:								
Sistema de carga								
Alternador	Comprobar funcionamiento, anotar voltaje máximo y mínimo.				✓			
Baterias	Comprobar estado de bornes, buscar flojedad, ajustar. Medir voltaje. Cambiar				✓			
Relay de bateria	Limpiar conexiones				L			
Faja de alternador	Verificar soldadura, buscar grietas. Cambiar y ajustar				✓			
Templadores	Verificar juego, comprobar que gire suavemente. Cambiar y/o ajustar				✓			
Sistema de Aire Acondicionado								
Aire acondicionado	Comprobar funcionamiento.				✓			
Sistema limpiaparabrisas								
Trico	Comprobar estado y funcionamiento.				✓			
Plumillas	Comprobar estado y funcionamiento. Cambiar de ser necesario.				✓			
Sistema de alarma								
Alarma de retroceso	Comprobar estado y funcionamiento.				✓			
Luz estroboscópica	Comprobar estado y funcionamiento.				✓			
Sistema de luces								
Faros delanteros	Comprobar estado y luces.				✓			
Faros posteriores	Comprobar estado y luces.				✓			
Faros adicionales	Comprobar estado y luces.				✓			
Sistema cabina								
Ventilador de cabina	Comprobar estado y funcionamiento.				✓			
OBSERVACIONES:								
CÓMO LO ENCONTRÓ?			QUÉ HIZO?			CÓMO QUEDÓ?		
Sensor de temperatura del aceite de transmisión dañado por variación de voltaje.			Se cambió sensor.			Operativo.		

ANEXO N°16: Contratación de Planner de Mantenimiento de equipos pesados



ANEXO N°17: Formato de reporte de fallas de equipos pesados

FORMATO DE REPORTE DE FALLAS				
N° <u>000005</u>				
EQUIPO:	Tractor de cadena D155AX6-6			
SERIE:	81613			
HORÓMETRO:	250 horas			
FECHA:	9/02/2019			
MECÁNICO:	Carlos Mantilla Gutiérrez			
COMPONENTE	ACCIÓN A TOMAR			
	LUBRICACIÓN	AJUSTE	REPARACIÓN	SUSTITUCIÓN
Motor				
Filtro				X
Fajas				
Cadenas				
Bomba de aceite				
Sensor				X
Cable				
Manguera				X
Carter				
Radiador				
Tren de rodamiento				
Enfriador				
Válvula				
Controles de transmisión				
Pedal				
Hoja dozer				
Cucharon				
Cuchilla				
Cantonera				
OBSERVACIONES:				
Filtro de aceite de motor sucio y obstruido.				
Sensor de temperatura del aceite de transmisión dañado por variación de voltaje.				
Manguera hidráulica del cilindro de ripper reseca.				

FIRMA DEL MECÁNICO

ANEXO N°18: Orden de trabajo de mantenimiento

ORDEN DE TRABAJO		
N° 00007		
DESCRIPCIÓN: Realizar mantenimiento preventivo según PM1 programado a 250 horas		
EQUIPO:	Tractor de cadena	SERIE: 81613
MARCA:	Komatsu	UBICACIÓN: Gobierno regional - La Libertad
MODELO:	D155AX6-6	HORÓMETRO: 250 HRS.
FECHA DE INGRESO:	9/02/2019	HORA DE INGRESO: 08:30:00
SOLICITADA:	William Huaman	
AUTORIZADA:	Omar Iberico	
RESPONSABLE DE EJECUCIÓN:	William Huaman	
DESCRIPCIÓN DE LA TAREA	TIEMPO ESTIMADO	TIEMPO REAL DE EJECUCIÓN
Realizar mantenimiento de lubricación	2.66 HRS.	2.66 HRS.
Realizar mantenimiento mecánico	2.66 HRS.	2.66 HRS.
Realizar mantenimiento eléctrico	2.65 HRS.	2.65 HRS.
DESCRIPCIÓN DE LOS REPUESTOS	CANTIDAD PLANIFICADA	CANTIDAD UTILIZADA
Filtro de aceite de motor	1 unidad	1 unidad
Filtro de combustible	1 unidad	1 unidad
Filtro separador de agua	1 unidad	1 unidad
Perno de eslabón master	2 unidades	-
Perno de zapata	2 unidades	-
Perno de segmentos	10 unidades	-
Perno de rodillo	2 unidades	-
Perno de tapa - brazos RH/LH	2 unidades	-
Perno hoja dozer (espalda hoja)	2 unidades	-
Cuchilla central	1 unidad	-
Cantonera	1 unidad	-
Perno de pasamanos	2 unidades	-
Perno de abrazadera manguera filtro de aire	2 unidades	-
Filtro de aire primario y secundario	1 kit	1 kit
Filtro de aire acondicionado	1 unidad	1 unidad
Batería	1 unidad	-
Faja de alternador	1 unidad	1 unidad
Bornes de batería	2 unidades	2 unidades
Templadores	2 unidades	-
Plumillas de limpiaparabrisas	2 unidades	-
Otros:		-
Manguera hidráulica	1 unidad	1 unidad
Sensor de temperatura del aceite de transmisión	1 unidad	1 unidad
Aceite mobil delvac MX 15W/40	2.53 galones	2.53 galones
Aceite mobiltrans HD 30	1.17 galones	1.17 galones
DESCRIPCIÓN DE LAS HERRAMIENTAS A UTILIZAR		
1 Hidrolavadora, sopladora, trapo industrial, multímetro, manómetro, martillo,		
2 sierra, alicate, llave inglesa, desarmador, thinner acrílico, guaípe.		
3		
PERSONAL PARA LA EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS		
Carlos Mantilla Gutiérrez (mecánico)		
Luis Moya Lizarraga (mecánico)		
OBSERVACIONES:		
¿CÓMO LO ENCONTRÓ?	¿ QUÉ HIZO?	¿ CÓMO QUEDÓ?
Filtro de aceite de motor sucio y obstruido.	Se cambió filtro.	Operativo.
Sensor de temperatura del aceite de transmisión dañado por variación de voltaje.	Se cambió sensor.	Operativo.
Manguera hidráulica del cilindro del ripper reseca.	Se cambió manguera.	Operativo.

FIRMA DEL PLANNER DE MANTENIMIENTO

FIRMA DEL MECÁNICO

ANEXO N°19: Check list de mantenimiento de lubricación

EQUIPO:	Tractor de cadena	MODELO:	D155AX6-6		
TIPO DE MANTENIMIENTO:	PM1				
HORÓMETRO:	250 HRS.				
FECHA:	9/02/2019				
MECÁNICO:	Luis Moya Lizarraga				
CHECK LIST DE MANTENIMIENTO - LUBRICACIÓN:					
COMPONENTE	TIPO DE MANTENIMIENTO				
	MP1 250	MP2 500	MP3 1000	MP4 2000	
MOTOR					
Obtener muestra de aceite del motor.	X				
Cambiar aceite de motor.	X				
Cambiar filtro aceite de motor.	X				
Cambiar filtro de combustible.	X				
Cambiar filtro de agua (cartucho resistor y subresistor anticorrosión).	X				
DÁMPER					
Comprobar nivel de aceite, añadir de ser necesario.	X				
Limpiar respiradero.					
EJE PIVOTE					
Comprobar nivel de aceite, añadir de ser necesario.	X				
MUELLE RECUPERADOR					
Comprobar nivel de aceite, añadir de ser necesario.	X				
CILINDROS HIDRÁULICOS LEVANTE					
Engrasar balancin de soporte de los cilindros de levante (4 ptos).	X				
Engrasar eje de soporte de los cilindros de levante de la hoja (2 ptos).	X				
HOJA DOZER					
Engrasar articulacion de la bola del brazo de la hoja (5 ptos).	X				
Engrasar tornillo de la abrazadera (2 ptos).	X				
RIPPER					
Engrasar pasador inferior del cilindro de volteo del escarificador (2 ptos).	X				
Engrasar pasador inferior del cilindro de levante del escarificador (2 ptos).	X				
Engrasar pasador extremo de la barra del cilindro de volteo del escarificador (2ptos).	X				
Engrasar pasador extremo de la barra del cilindro de levante del escarificador (2ptos).	X				
Engrasar pasador del brazo del escarificador delantero (2 ptos).	X				
Engrasar pasador del brazo del escarificador trasero (2 ptos).	X				
BARRA ECUALIZADORA					
Engrasar eje lateral de la barra (2 ptos).	X				
SUSPENSIÓN					
Engrasar eje central de la barra ecualizadora (1 pto).	X				

ANEXO N°20: Check list de mantenimiento mecánico

EQUIPO:	Tractor de cadena	MODELO:	D155AX6-6		
TIPO DE MANTENIMIENTO:	PM1				
HORÓMETRO:	250 HRS.				
FECHA:	9/02/2019				
MECÁNICO:	Luis Moya Lizarraga				
CHECK LIST DE MANTENIMIENTO - MECÁNICO:					
COMPONENTE	TIPO DE MANTENIMIENTO				
	MP1 250	MP2 500	MP3 1000	MP4 2000	
EQUIPO					
Lavado general (antes del lavado proteja el alternador).	X				
SISTEMA DE ENFRIAMIENTO					
Limpiar y lavar radiadores.	X				
Limpiar y lavar enfriador hidráulico.	X				
Limpiar tapa de presión del radiador.	X				
TREN DE RODAMIENTOS					
Comprobar que no exista holgura entre juntas en eslabón master. De haberlas limpiar, cambiar pernos. Torquear.	X				
Comprobar estado de zapatas, buscar pernos flojos. Cambiar y torquear.	X				
Comprobar estado de segmentos, buscar pernos flojos. Cambiar y torquear.	X				
Comprobar estado de eje, pernos y abrazaderas de rueda guía del bastidor. Reapretar.	X				
Comprobar estado de rodillo sup/inf del bastidor, buscar pernos rotos. Cambiar.	X				
IMPLEMENTOS					
Brazo RH/LH de hoja dozer, Verificar juego normal entre laines, reapretar pernos de la tapa.	X				
Hoja dozer (espalda hoja), verificar jgo entre bolas y articulaciones, reapretar pernos. Comprobar jgo normal entre pines y brakets.	X				
Cuchillas y cantoneras, medir desgaste y ver daños. De pasar el límite o ver averías cambiarlos.	X				
Pasamanos y escalones, comprobar estado y daños. Reparar y reapretar pernos.	X				
Compartimiento de motor, comprobar que abra y cierre normal. De haber daño repare y lubrique.	X				
Compartimiento filtro de carga, comprobar que abra y cierre normal. De haber daño repare y lubrique.	X				
SISTEMA DE COMBUSTIBLE					
Limpiar y lavar colador de combustible de motor.	X				
Limpiar y lavar colador de tanque de combustible.	X				
MOTOR					
Limpiar respiradero de motor.	X				
Turbocompresor, reapretar pernos de abrazadera de manguera del filtro de aire, postenfriador y motor. De haber daño, cambiarlos.	X				
Cambiar filtro de aire.	X				
SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO					
Cambiar filtro de aire acondicionado exterior.	X				
Cambiar filtro de aire acondicionado interior de cabina.	X				
CABINA					
Comprobar funcionamiento y lubricar pedal de freno.	X				
Comprobar funcionamiento y lubricar pedal acelerador.	X				
Comprobar estado y funcionamiento puerta de cabina.	X				
Asiento de cabina, comprobar estado y funcionamiento.	X				
Asiento de cabina, comprobar estado y funcionamiento del cinturón de seguridad de asiento de cabina.	X				

ANEXO N°21: Check list de mantenimiento eléctrico

EQUIPO:	Tractor de cadena	MODELO:	D155AX6-6		
TIPO DE MANTENIMIENTO:	PM1				
HORÓMETRO:	250 HRS.				
FECHA:	9/02/2019				
MECÁNICO:	Luis Moya Lizarraga				
CHECK LIST DE MANTENIMIENTO - ELÉCTRICO:					
COMPONENTE	TIPO DE MANTENIMIENTO				
	MP1 250	MP2 500	MP3 1000	MP4 2000	
SISTEMA DE CARGA					
Alternador, comprobar funcionamiento, anotar voltaje máximo y mínimo.	X				
Baterías, comprobar estado de bornes, buscar flojedad, ajustar. Mediar voltaje. Cambiar.	X				
Relay de batería, limpiar conexiones.	X				
Faja de alternador, verificar soldadura, buscar grietas. Cambiar y ajustar.	X				
Templadores, verificar juego, comprobar que gire suavemente. Cambiar y/o ajustar.	X				
SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO					
Aire acondicionado, comprobar funcionamiento.	X				
SISTEMA LIMPIAPARABRIZAS					
Trico, comprobar estado y funcionamiento.	X				
Plumillas, comprobar estado y funcionamiento. Cambiar de ser necesario.	X				
SISTEMA DE ALARMAS					
Alarma de retroceso, comprobar estado y funcionamiento.	X				
Luz estroboscópica, comprobar estado y funcionamiento.	X				
SISTEMA DE LUCES					
Faros delanteros, comprobar estado y luces.	X				
Faros posteriores, comprobar estado y luces.	X				
Faros adicionales, comprobar estado y luces.	X				
SISTEMA DE CABINA					
Ventilador de cabina, comprobar estado y funcionamiento.	X				

ANEXO N°22: Formato de historial de mantenimientos

<p align="center">FORMATO DE HISTORIAL DE MANTENIMIENTOS</p> <p align="center">N° <u>000007</u></p>					
EQUIPO:	Tractor de cadena		MODELO:	D155AX6-6	
TIPO DE MANTENIMIENTO:	Mantenimiento preventivo PM1				
N° O.T.	000007				
HORÓMETRO:	250 HRS.				
FECHA:	9/02/2019				
MECÁNICO:	Carlos Mantilla Gutiérrez				
FECHA	TIEMPO	ACTIVIDAD REALIZADA	REPUESTOS REEMPLAZADOS	ENCARGADO	OBSERVACIONES
9/02/2019	2.66 HRS.	Mantenimiento de lubricación	Filtro de aceite de motor, filtro de combustible, filtro separador de agua. Cambio de aceites de motor.	William Huaman	Filtro de aceite de motor sucio y obstruido.
9/02/2019	2.66 HRS.	Mantenimiento mecánico	Filtro de aire primario y secundario, filtro de aire acondicionado, manguera hidráulica.	William Huaman	Manguera hidráulica del cilindro del ripper reseca.
9/02/2019	2.65 HRS.	Mantenimiento eléctrico	Sensor de temperatura del aceite de transmisión.	William Huaman	Sensor de temperatura del aceite de transmisión dañado por variación de voltaje.

FIRMA DEL MECÁNICO

ANEXO N°23: Formato de control de combustibles

FORMATO DE CONTROL DE COMBUSTIBLE N° <u>000010</u>		
EQUIPO:	Tractor de cadena	
MODELO:	D155AX6-6	
SERIE:	81613	
FECHA:	9/02/2019	
MECÁNICO:	Luis Moya Lizarraga	
FECHA DE SALIDA	HORA DE SALIDA	HORÓMETRO DE SALIDA
9/02/2019	08:00	248.16 HRS.
FECHA DE REGRESO	HORA DE REGRESO	HORÓMETRO DE REGRESO
9/02/2019	10:24:15	250 HRS.
TRABAJO REALIZADO:		
Cambio de aceites a las 250 horas según programa de mantenimiento PM1.		
Material	Cantidad	
Aceite mobil delvac MX 15W/40	2.53 galones	
Aceite mobiltrans HD 30	1.17 galones	

FIRMA DEL OPERADOR

ANEXO N°24: Hoja de mantenimiento diaria a cargo del operador

HOJA DE MANTENIMIENTO DIARIA A CARGO DEL OPERADOR						
Equipo	Descripción de código					
D155AX6-6	Realizado	✓	Engrasado	E	Cambiado	C
	Limpiado	L	Drenado	D		
	Reparado	R	Pendiente	P		
A.	INSPECCIÓN					
1.	Motor: observar fugas de aceite o combustible, partes flojas, cables sueltos, exceso de suciedad.					✓
2.	Sistema de enfriamiento: observar fugas, abolladuras, suciedad, estado de mangueras, abrazaderas flojas.					✓
3.	Sistema hidráulico: observar fugas, estado de mangueras, roturas o rozamientos, varillas flojas.					✓
4.	Hoja topadora: observar si las cuchillas y cantoneras presentan desgaste mayor.					✓
5.	Ripper: observar si hay desgaste mayor en puntas de penetración.					✓
6.	Cabina: comprobar desplazamiento de pedales de aceleración y freno.					✓
7.	Aire acondicionado: comprobar ventilación. Regular de ser necesario.					✓
8.	Sistema de control electrónico: comprobar que funcione correctamente.					✓
9.	Monitor electrónico: observar lectura de horómetro para ver si es momento de realizar algún mantenimiento.					✓
10.	Sistema de luces: comprobar funcionamiento de faros.					✓
11.	Limpiaparabrisas: comprobar nivel del líquido. Añadir de ser necesario.					✓
12.	Batería: verificar que no haya daños.					✓
B.	REVISIÓN DE ACEITES, COMBUSTIBLES Y LÍQUIDOS					
1.	Verificar nivel de aceite del motor.					✓
2.	Verificar nivel de combustible del motor.					✓
3.	Verificar líquido refrigerante del sistema de enfriamiento.					✓
4.	Verificar nivel y temperatura de aceite del sistema hidráulico.					✓
5.	Verificar nivel de aceite del tren de rodamiento.					✓
C.	LIMPIEZA, ENGRASE Y DRENADO					
1.	Limpiar cabina.					L
2.	Limpiar batería.					L
3.	Limpiar filtros.					L
4.	Limpiar tren de rodamiento.					L
5.	Engrasar pin de la hoja topadora.					E
6.	Engrasar pin del ripper.					E
7.	Engrasar bisagras de las puertas de cabina.					E
8.	Drenar acumulación de agua y sedimentos del tanque de combustible.					D
D.	REPARACIONES MENORES					
1.	Ajustar los intervalos de mantenimiento preventivo vía monitor electrónico.					✓
2.	Verificar si hay tuercas o pernos flojos en las partes del tren de rodamiento. De haber, reapretar a tensión adecuada.					R
3.	Sustituir piezas simples (aceite, combustible, líquido refrigerante, filtros, mangueras, sellos hidráulicos, o-ring).					C
E.	DETECCIÓN DE RUIDOS ANORMALES					
1.	Detectar exceso de ruido, calor o vibraciones.					✓
OBSERVACIONES: filtro de aceite de motor sucio y obstruido, manguera hidráulica del cilindro del ripper reseca y sensor de temperatura del aceite de transmisión dañado por variación de voltaje.						

ANEXO N°25: Plan de capacitación para personal mecánico: mantenimiento de maquinaria pesada

N°	Compromisos de la organización	Programa/ ejecución	Ene-19				Compromiso del personal		% personal capacitado
			2da semana				Invitados	Asistentes	
			Lun	Mar	Mier	Jue			
			7	8	9	10			
1	Mantenimiento de equipo pesado	Programado	X				2	100%	
		Ejecutado	X				2		
2	Análisis técnico	Programado		X			2	100%	
		Ejecutado		X			2		
3	Lubricación de equipos	Programado			X		2	100%	
		Ejecutado			X		2		
4	Introducción al análisis	Programado				X	2	100%	
		Ejecutado				X	2		

ANEXO N°26: Plan de capacitación para personal operador: formación y operación de tractor de cadenas

N°	Compromisos de la organización	Programa/ ejecución	Ene-19					Compromiso del personal		% personal capacitado
			3era semana					Invitados	Asistentes	
			Lun	Mar	Mie	Jue	Vie			
			14	15	16	17	18			
1	Características del equipo: especificaciones y componentes	Programado	X					6		100%
		Ejecutado	X						6	
2	Familiarización de mandos y controles	Programado		X				6		100%
		Ejecutado		X					6	
3	Sistema de monitor	Programado			X			6		100%
		Ejecutado			X				6	
4	Procedimientos operacionales	Programado				X		6		100%
		Ejecutado				X			6	
5	Operación básica de tractor de cadena	Programado					X	6		100%
		Ejecutado					X		6	

ANEXO N°27: Plan de capacitación para personal operador: mantenimiento autónomo de maquinaria pesada

N°	Compromisos de la organización	Programa/ ejecución	Ene-19			Compromiso del personal		% personal capacitado
			4ta semana			Invitados	Asistentes	
			Lun	Mier	Vie			
			21	23	25			
1	Teoría sobre mantenimiento autónomo	Programado	X			6	100%	
		Ejecutado	X					6
2	Actividades básicas de mantenimiento autónomo	Programado		X		6	100%	
		Ejecutado		X				6
3	Taller práctico de aplicación mantenimiento autónomo	Programado			X	6	100%	
		Ejecutado			X			6

ANEXO N°28: Performances mejorado de equipos después de la propuesta

TRACTOR D155AX6-1		TRACTOR D155AX6-2		TRACTOR D155AX6-3	
Descripción	Horas/Año	Descripción	Horas/Año	Descripción	Horas/Año
HORAS CALENDARIAS	2,880.00	HORAS CALENDARIAS	2,880.00	HORAS CALENDARIAS	2,880.00
HORAS NO DISPONIBLES		HORAS NO DISPONIBLES		HORAS NO DISPONIBLES	
Almuerzo	180.00	Almuerzo	180.00	Almuerzo	180.00
HORAS NO DISPONIBLES	180.00	HORAS NO DISPONIBLES	180.00	HORAS NO DISPONIBLES	180.00
HORAS DISPONIBLES	2,700.00	HORAS DISPONIBLES	2,700.00	HORAS DISPONIBLES	2,700.00
HORAS NO PROGRAMADAS		HORAS NO PROGRAMADAS		HORAS NO PROGRAMADAS	
Mantenimiento de rutina/lubricación	70.00	Mantenimiento de rutina/lubricación	70.00	Mantenimiento de rutina/lubricación	70.00
HORAS NO PROGRAMADAS	70.00	HORAS NO PROGRAMADAS	70.00	HORAS NO PROGRAMADAS	70.00
HORAS PROGRAMADAS	2,630.00	HORAS PROGRAMADAS	2,630.00	HORAS PROGRAMADAS	2,630.00
DEMORAS DE OPERACIÓN		DEMORAS DE OPERACIÓN		DEMORAS DE OPERACIÓN	
Encendido de equipo	46.80	Encendido de equipo	46.80	Encendido de equipo	46.80
DEMORAS DE OPERACIÓN	46.80	DEMORAS DE OPERACIÓN	46.80	DEMORAS DE OPERACIÓN	46.80
DEMORAS MECÁNICAS		DEMORAS MECÁNICAS		DEMORAS MECÁNICAS	
Reparación mecánica	308.45	Reparación mecánica	200.12	Reparación mecánica	202.88
DEMORAS ELÉCTRICAS		DEMORAS ELÉCTRICAS		DEMORAS ELÉCTRICAS	
Reparación eléctrica	205.63	Reparación eléctrica	133.42	Reparación eléctrica	135.25
TOTAL DEMORAS	560.88	TOTAL DEMORAS	380.34	TOTAL DEMORAS	384.93
HORAS OPERADAS	2,069.12	HORAS OPERADAS	2,249.66	HORAS OPERADAS	2,245.07
TRACTOR D155AX6-4		TRACTOR D155AX6-5		TRACTOR D155AX6-6	
Descripción	Horas/Año	Descripción	Horas/Año	Descripción	Horas/Año
HORAS CALENDARIAS	2,880.00	HORAS CALENDARIAS	2,880.00	HORAS CALENDARIAS	2,880.00
HORAS NO DISPONIBLES		HORAS NO DISPONIBLES		HORAS NO DISPONIBLES	
Almuerzo	180.00	Almuerzo	180.00	Almuerzo	180.00
HORAS NO DISPONIBLES	180.00	HORAS NO DISPONIBLES	180.00	HORAS NO DISPONIBLES	180.00
HORAS DISPONIBLES	2,700.00	HORAS DISPONIBLES	2,700.00	HORAS DISPONIBLES	2,700.00
HORAS NO PROGRAMADAS		HORAS NO PROGRAMADAS		HORAS NO PROGRAMADAS	
Mantenimiento de rutina/lubricación	70.00	Mantenimiento de rutina/lubricación	70.00	Mantenimiento de rutina/lubricación	70.00
HORAS NO PROGRAMADAS	70.00	HORAS NO PROGRAMADAS	70.00	HORAS NO PROGRAMADAS	70.00
HORAS PROGRAMADAS	2,630.00	HORAS PROGRAMADAS	2,630.00	HORAS PROGRAMADAS	2,630.00
DEMORAS DE OPERACIÓN		DEMORAS DE OPERACIÓN		DEMORAS DE OPERACIÓN	
Encendido de equipo	46.80	Encendido de equipo	46.80	Encendido de equipo	46.80
DEMORAS DE OPERACIÓN	46.80	DEMORAS DE OPERACIÓN	46.80	DEMORAS DE OPERACIÓN	46.80
DEMORAS MECÁNICAS		DEMORAS MECÁNICAS		DEMORAS MECÁNICAS	
Reparación mecánica	260.56	Reparación mecánica	239.14	Reparación mecánica	318.85
DEMORAS ELÉCTRICAS		DEMORAS ELÉCTRICAS		DEMORAS ELÉCTRICAS	
Reparación eléctrica	173.71	Reparación eléctrica	159.43	Reparación eléctrica	212.57
TOTAL DEMORAS	481.07	TOTAL DEMORAS	445.37	TOTAL DEMORAS	578.22
HORAS OPERADAS	2,148.93	HORAS OPERADAS	2,184.63	HORAS OPERADAS	2,051.78