

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO

FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO INDUSTRIAL

“PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA INCREMENTAR EL RENDIMIENTO TOTAL DE LA MAQUINARIA PESADA EN LA EMPRESA JAR AGREGADOS Y SERVICIOS EIRL, CAJAMARCA 2021.”

Línea de investigación:

Gestión Empresarial.

AUTOR:

Br. Ascón Rojas, Mary Hellen.

Br. Rossell Rodríguez, Andrés Teodocio

Jurado Evaluador:

Presidente: Dra. María Isabel Landeras Pilco

Secretario: Ms. Filiberto de la Rosa Anhuaman

Vocal: Dr. Paul Sato Nestares

ASESOR:

Dr. Ing. Urcia Cruz, Manuel

Código Orcid : : <http://orcid.org/0000000182860597>

TRUJILLO – PERÚ

2021

Fecha de sustentación: 2021/12/30

**UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONOR ORREGO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
INDUSTRIAL**



“PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA INCREMENTAR EL RENDIMIENTO TOTAL DE LA MAQUINARIA PESADA EN LA EMPRESA JAR AGREGADOS Y SERVICIOS EIRL, CAJAMARCA 2021.”

APROBADA EN CONTENIDO Y ESTILO
POR:

**Dra.Ing. María Isabel Landeras Pilco
PRESIDENTE
CIP:44282**

**ING. FILIBERTO DE LA ROSA ANHUAMAN
SECRETARIO
CIP: 90991**

**Dr. Ing. PAUL SATO NESTARES
VOCAL
CIP:24680**

**Dr. Ing. Manuel Urcia Cruz
ASESOR
CIP:27703**

DEDICATORIA

A Dios quien ha sido mi guía, fortaleza y su mano de fidelidad y amor han estado conmigo hasta el día de hoy. A mis padres Juan Alfredo y Betsy Del Pilar quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más. A mi amada esposa Sasha, por su apoyo y ánimo que me brinda día con día para alcanzar nuevas metas. A mi adorado hijo Aurelio, a quien siempre cuidaré para verlo hecho una persona de bien. A mis hermanos por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias. A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona. Finalmente quiero dedicar esta tesis a mi mamita Lilia y a mi tía Olga, por apoyarme cuando más las necesito, por extender su mano en momentos difíciles y por el amor brindado cada día durante mi formación profesional, de verdad mil gracias, siempre las llevo en mi corazón.

ANDRES

Dedico mi tesis, a mi padre Gilberto Ascón por ser fuente de sabiduría y por el apoyo incondicional en cada proyecto universitario, a mi madre por alentarme y ser ejemplo de perseverancia y optimismo en la vida, también quiero dedicar este proyecto a mi esposo Luis por ser mi compañero en cada paso que doy y a mi hijo Koa por ser fuente de motivación en mi vida y a mis suegros Betty y Enrique por darme su apoyo y tiempo cada vez que lo necesité

HELLEN

AGRADECIMIENTO

A Dios, por ser el guía en nuestro camino, por haberme dado la sabiduría y entendimiento y, haberme colocado las personas correctas en mi camino. Al Dr. Ing. Urcia Cruz, Manuel, por su apoyo constante para la mejora continua en la elaboración de la presente tesis, y sus enseñanzas como docente durante el proceso de formación universitaria. A todos mis docentes, quienes me inculcaron el conocimiento necesario para ser profesional de éxito. A todos mis familiares y amigos, por todo el apoyo brindado y el impulso para culminar con éxito y esfuerzo esta tesis. A la Universidad Privada Antenor Orrego, por ser mi Alma Mater, en cuyas aulas fui formado.

ANDRES

En primer lugar, a Dios por darme salud y los recursos para forjarme como profesional, al Dr. Ing. Urcia Cruz, Manuel, por su disposición, tiempo y apoyo en este proyecto. A mis padres por alentarme y motivarme a culminar este proyecto tan importante de la carrera. A la Universidad Privada Antenor Orrego, por darme la oportunidad de cumplir mis objetivos y a mis docentes por el compromiso mostrado en toda mi carrera universitaria. A mis amigos que siempre me han mostrado su apoyo humano en la profesión y mi vida personal.

HELLEN

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se enfoca en la propuesta y justificación de un plan de mantenimiento preventivo para incrementar el rendimiento total de la maquinaria pesada en la empresa JAR Agregados y Servicios E.I.R.L. El estudio consiste, en primer lugar, diagnóstico situacional de la maquinaria pesada, se determinó que la ocurrencia de fallas en la maquinaria pesada, presenta como principal problema el mantenimiento inadecuado (8.47%), tiempos de espera para el cambio de repuestos, ausencia de un plan preventivo de mantenimiento especializado según la maquinaria (6.88%), la falta de repuestos (5.82%), falta de evaluación constante de equipos (4.79%). La disponibilidad inicial de la maquinaria pesada es de 46%, asimismo durante la implementación de la mejora continua de los procesos se incrementó a 77%. Finalmente se determinó la viabilidad económica del plan de mantenimiento preventivo según las siguientes ratios financieros: VAN S/.106,709.84; TIR 32%, la relación costo beneficio es de 1.41.

Palabras Clave: Plan de mantenimiento preventivo, Indicadores financieros, Disponibilidad, maquinaria pesada.

ABSTRACT

This research paper focuses on the proposal and justification of a preventive maintenance plan to increase the total performance of heavy machinery in the company JAR Aggregates and Services E.I.R.L. The study consists, in the first place, situational diagnosis of heavy machinery, it was determined that the occurrence of failures in heavy machinery, presents as main inadequate maintenance (8.47%), waiting times for the change of spare parts, absence of a preventive plan of specialized maintenance according to the machinery (6.88%), the lack of spare parts (5.82%), lack of constant evaluation of equipment (4.79%). The initial availability of heavy machinery is 46%, also during the implementation of continuous process improvement it increased to 77%. Finally, the economic viability of the preventive maintenance plan was determined according to the following financial ratios: VAN S/.106,709.84; IRR 32%, cost-benefit ratio is 1.41.

Keywords: Preventive maintenance plan, financial indicators, Availability, heavy machinery.

ÍNDICE

DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
RESUMEN	V
ABSTRACT	VI
ÍNDICE	VII
ÍNDICE DE TABLAS	IX
I. INTRODUCCIÓN	12
1.1. Objetivos de la investigación.....	14
1.2. Justificación del estudio	15
II. MARCO DE REFERENCIA	16
2.1. Antecedentes del estudio.....	16
2.2. Marco Teórico.....	19
2.2.1. Mantenimiento	19
2.2.2. Tipos de Mantenimiento.....	20
2.2.3. Indicadores del Mantenimiento preventivo.....	21
2.2.4. Rendimiento total	23
2.2.5. Calidad	26
2.2.6. Rendimiento	27
2.2.7. Análisis modal de fallas y efectos (AMFE):.....	27
2.2.8. Metodología - AMFE	28
2.2.9. Diagrama de causa – efecto	32
2.2.10. Diagrama de Pareto.....	34
2.2.11. Diagrama de operaciones	35
2.2.12. Análisis de criticidad.....	37
2.2.13. Gestión de mantenimiento	38
2.3. Marco conceptual	41
2.4. Sistema de Hipótesis	42
2.5. Variables e Indicador	42
2.6. Operacionalización de variables.....	43
III. METODOLOGÍA	45
IV. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	50
V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	108

BIBLIOGRAFIA.....	112
ANEXOS	114

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de mantenimiento.....	20
Tabla 2. Beneficios método AMFE.....	28
Tabla 3. Tipos de método AMFE	28
Tabla 4. AMFE. Probabilidad de Ocurrencia	30
Tabla 5. AMFE. Gravedad del fallo	30
Tabla 6. AMFE. Probabilidad de no detección.....	31
Tabla 7. Procedimiento de elaboración diagrama de Pareto	35
Tabla 8. Operacionalización de variable independiente	43
Tabla 9. Operacionalización de variable dependiente.....	44
Tabla 10. Descripción de técnicas de recolección de información empleadas	48
Tabla 11. Procedimiento de elaboración de tesis	49
Tabla 12. Procedimiento de análisis de datos	49
Tabla 13. Información general	50
Tabla 14. Matiz actividad- Observación	53
Tabla 15. Diagrama de Pareto -Evaluación de fallas	54
Tabla 16. Cálculo del 80 -20 Diagrama de Pareto	55
Tabla 17. Inventario de maquinaria pesada.....	57
Tabla 18. Descripción de operatividad maquinaria	57
Tabla 19. Principales fallas identificadas.....	58
Tabla 20. Análisis de criticidad de maquinaria pesada.....	59
Tabla 21. Cálculo del tiempo de duración de fallas -PRE TEST	60
Tabla 22. Cálculo de la disponibilidad maquinaria pesada.....	61
Tabla 23. Escala de Valores OEE.....	61
Tabla 24. Rendimiento Pre Test	62
Tabla 25. Evaluación de procesos según plan de mantenimiento -PRE TEST.....	63
Tabla 26. % de cumplimiento criterios de evaluación -PRE TEST.....	64
Tabla 27. Diagrama de Pareto % de cumplimiento criterios de evaluación	64
Tabla 28. Evaluación de procesos según plan de mantenimiento -POS TEST	66
Tabla 29. % de cumplimiento criterios de evaluación -POS TEST.....	67
Tabla 30. % de variación de cumplimiento criterios de evaluación – PRE y POS TEST	68
Tabla 31. Diagnostico situacional Metodología 5S.....	69
Tabla 32. Nivel de cumplimiento Metodología 5S.....	69
Tabla 33. Metodología TPM – Estrategia de difusión.....	75
Tabla 34. Personal TPN – responsabilidades.....	78
Tabla 35. Lubricación.....	79
Tabla 36. Eléctricas	79
Tabla 37. Mecánicas.....	79
Tabla 38. Instrumentación.....	80
Tabla 39. Seguridad.....	80
Tabla 40. Guía de control de mantenimiento (50 hrs.)	81

Tabla 41. Guía de control de mantenimiento (250 hrs.)	83
Tabla 42. Guía de control de mantenimiento (100 hrs.)	85
Tabla 43. Ficha individual de maquinaria pesada	86
Tabla 44. Ficha individual de historial de fallas.....	87
Tabla 45. Ficha de control de inspección de maquinaria.....	88
Tabla 46. Ficha de orden de trabajo	89
Tabla 47. Ficha de trabajo realizado	90
Tabla 48. Ficha de repuestos y lubricantes utilizados	91
Tabla 49. Tablero de control propuesto.....	92
Tabla 50. Cálculo del tiempo de duración de fallas -POS TEST	93
Tabla 51. Cálculo de la disponibilidad maquinaria pesada -POS TEST	94
Tabla 52. Rendimiento Pos Test.....	95
Tabla 53. Variación del rendimiento Pre y Pos Test	95
Tabla 54. Proceso de evaluación productividad -Pre Test.....	96
Tabla 55. Proceso de evaluación productividad -Pos Test	97
Tabla 56. Inversión personal	98
Tabla 57. Inversión insumos.....	98
Tabla 58. Inversión equipos informáticos	99
Tabla 59. Resumen de inversión	99
Tabla 60. Estado de resultados	100
Tabla 61. Resumen de inversión	101
Tabla 62. Indicadores financieros	102
Tabla 63. Cálculo FNE	102
Tabla 64. Cálculo B/C	103
Tabla 65. Monetización de pérdidas – según disponibilidad.....	104
Tabla 66. Variación de monetización de pérdidas – según disponibilidad.....	105
Tabla 67. Prueba de hipótesis T de Student- resultados descriptivos.....	106
Tabla 68. Prueba de hipótesis T de Student.....	106
Tabla 69. Matriz de operacionalización de variables.....	115
Tabla 70. Formulario de auditoría de rutina 5S- PRE TEST	116
Tabla 71. Formulario de auditoría de rutina 5S- POS TEST.....	119
Tabla 72. Especificaciones técnicas Cargador frontal.....	126
Tabla 73. Especificaciones técnicas excavadora hidráulica	128
Tabla 74. Especificaciones técnicas retroexcavadora.....	130
Tabla 75. Especificaciones técnicas retroexcavadora.....	132

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de indicadores de desempeño.....	24
Figura 2. Diagrama de causa efecto	33
Figura 3. Diagrama de Pareto	34
Figura 4. Diagrama de operaciones	36
Figura 5. Componentes flujo grama	37
Figura 6. Análisis de criticidad	38
Figura 7. Diseño de contrastación	47
Figura 8. Diagrama de causa – efecto espina de pescado maquinaria pesada.....	52
Figura 9. % Acumulado de Pareto	55
Figura 10. Diagrama Pareto Fallas 80-20.....	56
Figura 11. Cumplimiento de procesos plan de mantenimiento preventivo -PRE TEST	64
Figura 12. Diagrama de Pareto importancia de procesos plan de mantenimiento	65
Figura 13. Cumplimiento de procesos plan de mantenimiento preventivo -POS TEST.....	67
Figura 14. Comparación de procesos plan de mantenimiento preventivo – PRE y POS TEST	68
Figura 15. Organigrama propuesto empresa JAR Agregados -Cajamarca.....	72
Figura 16. Equipos de trabajo.....	77
Figura 17. Pérdidas económicas periodo de evaluación	105
Figura 18. Prueba T de Student - Evaluación de igualdad de varianzas	107

I. INTRODUCCIÓN

Problema de Investigación

A nivel mundial las empresas incurren en elevados costos por paralizaciones imprevistas de sus máquinas y equipos que interrumpen los procesos productivos y cumplimiento de actividades. La preocupación constante de los empresarios es como disminuir estos fallos y paradas usando una planificación de actividades de mantenimiento sin tener que paralizar la producción.

A nivel nacional esta problemática no es ajena a las empresas de cualquier rubro. En efecto, se estima que las paralizaciones imprevistas de las máquinas y equipos afecta en la estructura de costos en un 5.3% según reportes de la revista Maquinaria pesada.

Los distribuidores de maquinarias pesadas como Ferreyros y Perkins señalan que los mantenimientos correctivos de estas máquinas implican desgaste de piezas críticas y su vida útil se ve afectada cuando la unidad se paraliza por desperfectos. El reemplazo de piezas afecta aún más la vida útil y la maquinaria sufre desniveles en la calibración. Por tanto, el rendimiento de la maquinaria a largo plazo se ve afectada. Es más ventajoso realizar un mantenimiento preventivo que asumir efectos colaterales en un mantenimiento correctivo.

A nivel regional, existen empresas que cuentan con maquinaria pesada y tercerizan sus servicios a otras empresas para la ejecución de proyectos mineros, de construcción o de obras públicas. En este tipo de servicios, la maquinaria trabaja en horario continuado sin el mantenimiento respectivo. Cuando una obra o proyecto concluye, las maquinarias se someten a un mantenimiento correctivo, muchas volviendo operativa a la maquinaria con cambios de repuestos alternativos o refaccionados. El funcionamiento ya nunca será el mismo. Aquí se inicia la disminución progresiva del rendimiento de la maquinaria pesada. Pero, esto ya no solo afecta a la maquinaria; sino, los costos asociados inducen a los propietarios a forzar aún más el trabajo

de las máquinas para recuperar los costos acelerando la depreciación rápida de estas maquinarias.

Enunciado del Problema.

La empresa JAR Agregados y Servicios E.I.R.L, con dirección fiscal en Jr. Luis Reyna Farge Nro. 835 Br Aranjuez, Distrito/Provincia de Cajamarca, Departamento de Cajamarca, tiene como actividades comerciales el alquiler de maquinaria pesada, venta al por mayor de materiales de construcción y otras actividades del tipo de servicio NCP, ejerce sus servicios en distintas regiones a nivel nacional, trabajando con una flota de equipos de maquinaria pesada conformada por excavadoras, cargadores frontales, volquetes, motoniveladoras, etc.

La empresa en la actualidad tiene un sistema de mantenimiento preventivo no adecuado para sus maquinarias pesadas, logrando con esto que el rendimiento actual de las mismas sea deficiente, ya que no existe un plan preventivo para atender y detectar las fallas e incidencias de las máquinas oportunamente. El bajo rendimiento de la maquinaria pesada se debe a que no se aprovecha al máximo las horas máquinas de cada una de ellas alterando la disponibilidad real, eventualmente se induce a paros no planificados a consecuencia de una falla en el sistema o infraestructura de estas que retrasan las operaciones; a su vez el tiempo de espera para solucionar este incidente es a veces alto ya que el operario no está correctamente capacitado para dar solución rápida al problema.

La empresa en la actualidad no cuenta con un plan de mantenimiento preventivo para atender y detectar las fallas e incidencias de las máquinas oportunamente.

Que los valores de la producción real estén por debajo de la teórica por cifras muy alejadas, genera que el rendimiento sea bajo. Esto se debe a que no se cumple con la atención de un producto en un parámetro de tiempo establecido ya que la maquina no puede trabajar por algún imperfecto. Otro motivo de tener como resultado un bajo rendimiento en la maquinaria pesada, son por los costos elevados en la producción. Esto se debe a que los operarios tienen que dejar de trabajar en horario laborable ya que la maquina con la cual están trabajando se encuentra inoperativa por alguna falla y detuvieron la producción.

Los costos altos también se deben por una compra improvisada de repuestos ante una falla de las máquinas, el costo de hora máquina al estar inoperativa ocasiona un rendimiento bajo, es por eso que la presente investigación tiene como objetivo determinar las causas de las problemáticas, dando como alternativas el uso de herramientas propias de la Ingeniería Industrial para incrementar el rendimiento total de las máquinas.

Formulación del problema:

¿En qué medida la implementación de un plan de mantenimiento preventivo incrementara el rendimiento total de la maquinaria pesada en la empresa JAR Agregados y servicios EIRL, Cajamarca 2021?

1.1. Objetivos de la investigación

Objetivo general

Implementar un plan de mantenimiento preventivo para incrementar el rendimiento total de la maquinaria pesada en la empresa JAR Agregados y Servicios E.I.R.L.

Objetivos específicos

- Realizar el diagnóstico situacional de la maquinaria pesada y determinar el rendimiento total actual.
- Diseñar el Plan de mantenimiento preventivo de la maquinaria pesada en la empresa JAR Agregados y Servicios E.I.R.L.
- Calcular el índice de disponibilidad de maquinaria pesada en la empresa JAR Agregados y Servicios E.I.R.L. con la implementación del plan de mantenimiento preventivo.
- Determinar el rendimiento total de la maquinaria pesada con la implementación del plan de mantenimiento preventivo.
- Determinar la viabilidad económica del sistema de mantenimiento preventivo para la mejora del rendimiento de la maquinaria pesada en la empresa JAR Agregados y Servicios E.I.R.L.

1.2. Justificación del estudio

El aporte del proyecto para los empresarios consiste en demostrar la importancia de la implementación de un sistema de mantenimiento preventivo y como esta se relaciona con el rendimiento de los equipos incidiendo en la productividad de la empresa. En la actualidad el sector construcción de la ciudad de Cajamarca presenta un crecimiento considerable, se observa el empirismo con el que los empresarios operan sus equipos de maquinaria pesada sin ningún tipo de planificación y control adecuado, que repercute en el rendimiento de las mismas. En la actualidad son muchas las empresas que inician operación en busca de nuevas oportunidades en este sector de la construcción y alquiler de maquinaria pesada, pero al mismo tiempo son muchas las que no llegan a obtener una rentabilidad esperada por diversos problemas durante la prestación del servicio, debido a la falla de equipos relacionada a la mala planificación de sus mantenimientos. El desarrollo de un sistema de mantenimiento preventivo permitirá prevenir paralizaciones de la maquinaria pesada en la empresa y así lograr un mayor rendimiento.

II. MARCO DE REFERENCIA

2.1. Antecedentes del estudio

Como parte de los antecedentes de esta investigación, se tomarán en consideración trabajos previos, tales como proyectos de pregrado que exponen temas similares y relacionados con el objetivo de estudio.

Buelvas y Martínez (2016), en su trabajo de investigación “Elaboración de un plan de mantenimiento preventivo para la maquinaria pesada de la Empresa L&L”. Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma del Caribe, Barranquilla – Colombia. Esta tesis está planteada como método estratégico para optimizar los planes de mantenimiento preventivo en las maquinarias de la empresa. Enfocándose en la detección de posibles falencias antes de un suceso no programado, o que estas fallas tengan un aumento en el grado de dificultad al momento de querer reparar componentes relacionados con estos. De manera general los autores buscan con esta investigación poder aumentar la vida útil de las máquinas pesadas, disminuir los costos de reparación, detectar de manera oportuna los puntos débiles para su rápida acción correctiva evitando las desviaciones operativas.

El aporte de la investigación es la implementación de la metodología PMP (Plan de Mantenimiento Preventivo) con la finalidad de la detección oportuna de fallas que originen paradas no programadas de las máquinas y el uso de recursos no planificados, además se enfoca en los objetivos de disponibilidad, fiabilidad, reducción de costos, y el incremento de la vida útil de la máquina.

Maldonado y Sigüenza (2015), en su trabajo de investigación “Propuesta de un plan de mantenimiento para maquinaria pesada de la empresa Minera Dynasty Mining del cantón Portovelo”. Facultad de ingenierías, Universidad Politécnica Salesiana, Sede Cuenca – Ecuador. Esta tesis tiene por finalidad permitir que la maquinaria pesada esté disponible para su uso en el momento oportuno, con un

máximo rendimiento y un mínimo costo, esto a través de un análisis del estado de la maquinaria para conocer su disponibilidad y la evaluación para mantener un correcto stock de repuestos en bodega, este proyecto tiene como estrategia controlar y planificar las acciones llevadas a cabo en el mantenimiento para así reducir los costos en mano de obra y paros en máquinas.

El aporte de esta tesis es la implementación de un programa de mantenimiento ya que esta herramienta al seguir estrictamente todos los procedimientos y recomendaciones permite aprovechar al máximo la vida útil de la máquina.

Calderón Osorio (2018), en su investigación “Plan de mantenimiento preventivo para la maquinaria pesada para la empresa METALPAR S.A.S”, Facultad de ingeniería, Universidad Cooperativa de Colombia. Esta investigación tiene por finalidad diseñar y documentar el plan de mantenimiento preventivo para disminuir los costos en mantenimiento correctivos, además de prolongar la vida útil de la maquinaria, para llevar a cabo esto se parte por la identificación detallada de los equipos por medio de fichas además de una rigurosa inspección al estado actual de la maquinaria llegando así a programar los mantenimientos de cada máquina por medio de tablero de control.

El aporte de la investigación es el diagrama de procesos instructivo que permite facilitar el suministro de la información y plantear de manera gráfica el mantenimiento.

Barrientos (2017), en su trabajo de investigación “Mejora de la gestión de mantenimiento de maquinaria pesada con la metodología AMEF”, Facultad de Ingeniería, Universidad San Ignacio de Loyola, Lima – Perú. Esta investigación tiene por finalidad demostrar los problemas ocasionados por falta de una buena gestión en los planes de mantenimiento, enfocándolos en consecuencias económicas y uso de recursos no planificados por desviaciones operacionales causadas por fallas mecánicas en las maquinarias pesadas. En este estudio se

propone a reducir el porcentaje de mantenimiento correctivo, tomando medidas preventivas para poder reducir los costos más impactantes y ajustar sus planes a los presupuestos de la organización.

El aporte de la investigación es la recolección de datos mediante un diagrama de Pareto para poder focalizar las fallas que originan mayor gasto en la empresa. Se aplica el Diagrama de Ishikawa identificando los principales causantes del problema principal y el uso de la metodología MEF demostrando las acciones tomadas para los causales de mayor impacto económico en la empresa.

Tuesta(2016), en su trabajo de investigación “Plan de mantenimiento para mejorar la disponibilidad de los equipos de la empresa OBRAINSA”, Facultad de Ingeniería Mecánica Energía, Universidad Nacional del Callao, Callao – Perú. Este estudio está enfocado en proponer acciones de ingeniería como propuestas de mejora en el área de mantenimiento para sus equipos pesados y de esta manera puedan incrementar la tasa de disponibilidad de estos. Para llevar a cabo esto, se diagnosticó la situación actual de las gestiones de mantenimiento, analizando los indicadores y planes de acción actuales, dejando saber que antes del estudio su gestión arroja como resultado para la disponibilidad de equipos un valor por debajo del 88%, y cuáles son las fallas críticas que ocasionan paros no planificados.

El aporte de la investigación es el uso del indicador OEE (Efectividad Total de los equipos) como herramienta para mejorar el rendimiento total de las máquinas, trabajando en la disponibilidad, rendimiento y calidad de los equipos, y bajo el enfoque de la prevención de fallas, cero defectos, cero accidentes, y participación de las personas.

Añazco y Salazar(2016), en su trabajo de investigación “Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo planificado de máquinas y equipos, para incrementar la rentabilidad en consorcio A&A SRL- Cajamarca- 2016”, Facultad

de Negocios, Universidad Privada del Norte, Cajamarca – Perú. Este estudio está enfocado como problema principal la pérdida de horas maquina por parada de la maquinaria pesada y equipos sin planificación, dando como respuesta baja rentabilidad en costos de la empresa. Donde se identifica como los principales causantes los métodos inapropiados, fallas en la mano de obra, etc. Por eso busca dar solución a este fenómeno con el compromiso de todas las partes involucradas en las gestiones de mantenimiento, desarrollando formularios y capacitaciones para que el personal detecte y atienda a tiempo las fallas más críticas de las máquinas y así poder cumplir con su objetivo de optimizar la rentabilidad de la empresa que estudiaron.

APORTE: Esta tesis nos aporta con el uso de fichas y formularios para el control de las gestiones de mantenimiento preventivo.

2.2. Marco Teórico

2.2.1. Mantenimiento

Se define como la disciplina cuya finalidad consiste en mantener las máquinas y el equipo en un estado de operación, lo que incluye servicio, inspecciones, ajustes, remplazo, reinstalación, calibración, reparación y reconstrucción (Buelvas y Martinez 2016)

2.2.2. Tipos de Mantenimiento

En palabras de Buelvas y Martínez (2016) existen 3 tipos de mantemeinto:

Tabla 1.

Tipos de mantenimiento

Tipo	Descripcion	Ventajas	Desventajas
Predictivo	El mantenimiento predictivo consiste en la búsqueda de indicios o síntomas que permitan identificar una falla antes de que ocurra.	<ul style="list-style-type: none"> - Más confiabilidad, al utilizar aparatos y personal calificado, los resultados deben ser más exactos. - Requiere menos personal. Esto genera una disminución en el costo de personal y en los procesos de contratación. - Los repuestos duran más. Como las revisiones son en base a resultados, y no a percepción, se busca que los repuestos duren exactamente el tiempo que debe ser. 	<ul style="list-style-type: none"> - Siempre que hay un daño, necesita programación. - Posible requerimiento de equipos especiales y costosos. - Es importante contar con personal más calificado.
Preventivo	El mantenimiento preventivo se refiere a aquellas tareas de sustitución hechas a intervalos fijos independientemente del estado del elemento o componente.	<ul style="list-style-type: none"> - Bajo costo en relación con el mantenimiento predictivo - Reducción importante del riesgo por fallas o fugas. - Reduce la probabilidad de paros imprevistos. - Permite llevar un mejor control y planeación sobre el propio mantenimiento a ser aplicado en los equipos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Se requiere tanto de experiencia del personal de mantenimiento como de las recomendaciones del fabricante para hacer el programa de mantenimiento a los equipos. - No permite determinar con exactitud el desgaste o depreciación de las piezas de los equipos.
Correctivo	Se entiende por mantenimiento correctivo la corrección de las averías o fallas, cuando éstas se presentan. Existen dos formas diferenciadas de mantenimiento correctivo: el programado y no programado.	<ul style="list-style-type: none"> - Máximo aprovechamiento de la vida útil de los sistemas. - No se requiere una gran infraestructura técnica ni elevada capacidad de análisis. 	<ul style="list-style-type: none"> - Las averías se presentan de forma imprevista y afectan a la producción - Riesgo de fallos de elementos difíciles de adquirir - Baja calidad del mantenimiento como consecuencia del poco tiempo disponible para reparar

Nota: elaboración propia según lo propuesto por Doménech,2016.

La decisión entre corregir una falla de una manera planificada inmediata generalmente está marcada por la importancia del equipo en el sistema de producción: si la falla da como resultado el apagado de un equipo necesario, la reparación comienza sin planificación previa. Si, por el contrario, el equipo o la instalación pueden permanecer operativos con este defecto, la reparación puede posponerse hasta que llegue el momento más adecuado. La distinción entre mantenimiento programado y no programado afecta en primer lugar a la producción.

2.2.3. Indicadores del Mantenimiento preventivo

A. Indicador de costos de mantenimiento preventivos

Este indicador pone de manifiesto el grado de utilización de técnicas preventivas frente a las correctivas (Buelvas y Martínez,2016).

$$CPTC = \frac{CP}{CTM}$$

Donde:

CPTC= Costo de Mantenimiento Preventivo por Mantenimiento Totales

CP= Costo Preventivo

CTM= Costo Totales de Mantenimiento (Preventivo + Correctivo)

B. Indicador de ratio costo de mantenimiento por hora trabajada.

El Costo de Mantenimiento se refiere al costo erogado por concepto de las tareas realizadas para conservar o restaurar un bien o un producto a un estado específico (Maint, 2016).

$$\text{Ratio Costo de Mtto} = \frac{\text{Total Costo de Mtto preventivo}}{\text{Horas trabajadas}}$$

C. Indicador de tiempo promedio entre fallas

Del concepto de **Fiabilidad** se dice que es la probabilidad de que un equipo desempeñe satisfactoriamente las funciones para lo que fue diseñado, durante el periodo de tiempo especificado y bajo las condiciones de operaciones dadas (Buelvas y Martínez,2016).

El análisis de fallas constituye otra medida del desempeño de los sistemas, para ello se utiliza lo que denominamos la tasa de falla, por tanto, la media de tiempos entre fallas (TPEF) caracteriza la fiabilidad de la máquina. El tiempo promedio entre falla mide el tiempo promedio que es capaz de operar el equipo a capacidad, sin interrupciones dentro de un periodo considerado de estudio (Buelvas y Martínez,2016).

$$TPEF = \frac{HROP}{N.T. FALLAS}$$

También se puede usar la siguiente ecuación

$$MTBF = \frac{\textit{Tiempo total de operación en el periodo}}{\textit{número total de fallas}}$$

Donde:

MTBF = Mean Time Between Failures (Tiempo Promedio de Fallas “TPEF”).

HROP = Horas de operación.

N.T. FALLAS = Número total de fallas detectadas.

D. Indicador de tiempo promedio de reparación

Del concepto de **Mantenibilidad** se dice que es la probabilidad de que un equipo en estado de fallo, pueda ser reparado a una condición especificada en un periodo de tiempo dado, y usando unos recursos determinados (Buelvas y Martínez,2016). El tiempo promedio para reparación se relaciona entre el tiempo total de intervención correctiva y el número total de fallas detectadas, en el periodo observado. La relación existente entre el Tiempo Promedio Entre Fallas debe estar asociada con el cálculo del Tiempo Promedio Para la Reparación.

$$TPPR = \frac{TTF}{N.T.FALLAS}$$

Donde:

TTF = Tiempo total de fallas.

N.T. FALLAS = Número total de fallas detectadas.

2.2.4. Rendimiento total

Se refiere al rendimiento total al indicador obtenido de la cantidad producida con satisfacción entre la cantidad total producida en un espacio de tiempo. El rendimiento total considera además la producción descartada por alguna falla irreparable y la que aún puede ser rescatada. Toma en cuenta la cantidad de piezas descartadas y de piezas que requieren reparación al final de un proceso.

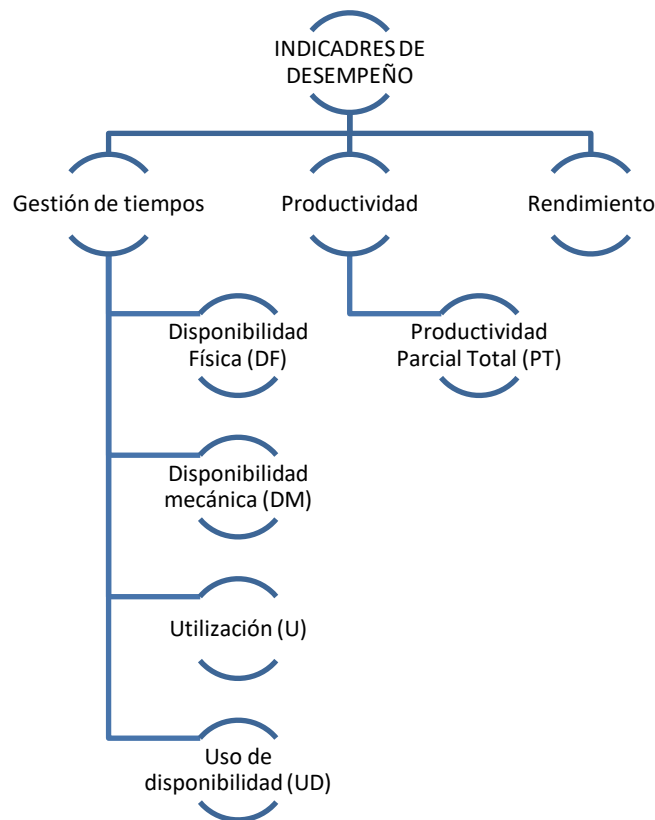
A. Indicadores claves de desempeño

La medición de indicadores (KPI's "Key performance indicator") es de mucha importancia para poder medir el desempeño de una actividad y con ello se puede tomar decisiones de mejora en base a objetivos internos o externos de la organización (Buelvas y Martínez,2016).

El indicador principal que utilizaremos en este estudio para poder medir el rendimiento total de las maquinarias pesadas es Overall Equipment Effectiveness (OEE), bajo el enfoque de Disponibilidad, Calidad y Rendimiento.

Figura 1.

Diagrama de indicadores de desempeño



Nota. Elaborado según a Ramírez (2006).

En la Figura 1, se muestra un diagrama de indicadores de desempeños, los cuales serán empleados de forma relativa a los indicadores propios de Overall Equipment Effectiveness (OEE) que sirve para poder medir el rendimiento total de las maquinarias pesadas en la investigación.

La Gestión de tiempos, habla esencialmente de la disponibilidad horaria de la maquinaria al igual que el primer indicador de OEE. La productividad en este esquema, habla de la capacidad de cumplimiento en un proceso determinado; lo cual será relativamente comparado con el indicador de Calidad de OEE que mide esencialmente la producción real aprovechada en comparación a toda la producción en un determinado espacio de tiempo (Buelvas y Martínez,2014).

B. OEE (Eficiencia Global del Equipo)

El OEE es un método de medición de desempeño productivo que integra datos de la disponibilidad del equipamiento, de la eficiencia del desempeño y de la tasa de calidad que se logra. (Buelvas y Martínez,2014). Los rangos de calificación son los siguientes:

- OEE < 65% Inaceptable. Se producen importantes pérdidas económicas. Muy baja competitividad.
- 65% < OEE < 75% Regular. Aceptable sólo si se está en proceso de mejora. Pérdidas económicas. Baja competitividad.
- 75% < OEE < 85% Aceptable. Continuar la mejora para superar el 85% y avanzar hacia la World Class. Ligeras pérdidas económicas. Competitividad ligeramente baja
- 85% < OEE < 95% Buena. Entra en Valores World Class. Buena competitividad.
- OEE > 95% Excelencia. Valores World Class. Excelente competitividad.

Calculo:

$$OEE = Disponibilidad \times Rendimiento \times Calidad$$

C. Disponibilidad

La disponibilidad es el principal parámetro asociado al mantenimiento, dado que limita la capacidad de producción (Buelvas y Martínez,2014). Se define como la probabilidad de que una máquina esté preparada para producción en un período de tiempo determinado, o sea que no esté parada por averías o ajustes (Buelvas y Martínez,2014). Los periodos de tiempo nunca incluyen paradas planificadas, ya sea por mantenimientos planificados, o por paradas de producción, dado a que estas no son debidas al fallo de la máquina (Buelvas y Martínez,2014).

La disponibilidad es un valor entre 0 y 1 por lo que suele expresar porcentualmente.

$$Disponibilidad = \frac{TO}{TPO} \times 100$$

Donde:

TPO = Tiempo planificado de operación.

TPO=Tiempo total de trabajo – Tiempo de paradas planificadas

TO = Tiempo de operación.

TO = TPO – Paradas y/o averías.

2.2.5. Calidad

La calidad resulta de comparar la cantidad de bienes o servicios producidos dentro de los parámetros de calidad establecidos con la cantidad total de bienes o servicios producidos en la realidad (Tuesta, 2016).

$$Calidad = \frac{Volumen\ de\ producción - (defectos + reproceso)}{Volumen\ de\ producción} \times 100$$

2.2.6. Rendimiento

Representa la propiedad del mantenimiento de acercarse lo más posible a la conservación de la capacidad productiva para alcanzar su capacidad potencial. El rendimiento se mide entonces como una división entre la producción real y potencial (Tuesta, 2014).

$$Rendimiento = \frac{Hr\ trabajadas}{Hr\ trabajadas + Hr\ mantenimiento + Hr\ Stand\ By} \times 100$$

2.2.7. Análisis modal de fallas y efectos (AMFE):

El Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMFE) es un método de prevención dirigido hacia la consecución del aseguramiento de la Calidad, que mediante un análisis sistemático permite evaluar, desde la fase de diseño de un producto, servicio o proceso, la probabilidad de ocurrencia de un fallo, la gravedad del mismo y la posibilidad de su detección (Domenech, 2016).

El método AMFE es uno de los más utilizados para agrupar la experiencia y el conocimiento colectivo, además de las previsiones del área de Diseño, con objeto de asegurar que los nuevos diseños se hacen bien (Doménech, 2016).

Tabla 2.

Beneficios método AMFE

	Método AMFE
Beneficios	Potencia la atención del cliente. Potencia la comunicación entre los departamentos. Facilita el análisis de los productos y los procesos. Mejora la calidad de los productos y los procesos. Reduce los costes operativos.

Nota: elaboración propia según lo propuesto por Doménech,2016.

En palabras de Doménech(2016), existen tipos de metodo AMFE, los cuales presentan sus propias caracterticas que se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 3.

Tipos de método AMFE

Tipo	Descripción
AMFE de diseño:	En el AMFE de diseño el objeto del estudio es el producto y todo lo relacionado con su definición. Se analiza por tanto la elección de los materiales, su configuración física, las dimensiones, los tipos de tratamientos a aplicar y los posibles problemas de realización.
AMFE de proceso:	En el AMFE de proceso se analizan los fallos del producto derivados de los posibles fallos del proceso hasta su entrega al cliente. Se analizan, por tanto, los posibles fallos que pueden ocurrir en los diferentes elementos del proceso (materiales, equipo, mano de obra, métodos y entorno) y cómo éstos influyen en el producto resultante.

Nota: elaboración propia según lo propuesto por Doménech,2016.

2.2.8. Metodología - AMFE

A. Identificación de los componentes.

La identificación de los componentes del producto, bien sea desde el punto de vista de diseño del producto o del proceso que se vaya a utilizar para su

fabricación, y de las funciones que desempeña cada uno de ellos (Doménech,2016).

B. Identificación del modo de fallo.

Dado que el estudio es sobre modos potenciales de fallo, se deben indicar todos los fallos susceptibles de producirse. Para el AMFE de proceso, se reflejan los Modos de Fallo del proceso en cada etapa del mismo (Doménech,2016).

C. Determinación del efecto del fallo.

Se determina para cada Modo de Fallo analizado, el o los efectos que el fallo produce en el producto para el usuario (por ejemplo: Ruidos, fugas, mal funcionamiento) y en el proceso (por ejemplo: Parada del proceso, producto defectuoso, menor eficiencia) según se esté realizando un AMFE de diseño o de proceso (Doménech,2016).

D. Identificación de las causas del fallo.

Se determina para cada Modo de Fallo analizado, las posibles causas que lo pueden ocasionar. Este es uno de los elementos críticos del AMFE, ya que su conocimiento permite el establecimiento de Acciones Correctoras a priori para evitar la aparición de los fallos, eliminando las causas que los provocan (Doménech,2016).

E. Identificación de los controles actuales.

Se identifican los diferentes controles existentes o previstos, con objeto de evitar que se produzcan los diversos fallos y detectarlos en el caso de que aparezcan (Doménech,2016).

F. Determinación de la probabilidad de ocurrencia.

La probabilidad de ocurrencia es un valor entre 1 (mínima probabilidad) y 10 (máxima probabilidad) que indica la probabilidad de que el fallo ocurra. Si bien no existen unas reglas normalizadas para la valoración de la probabilidad de ocurrencia, en la tabla de abajo se indican unos criterios de valoración que pueden servir de referencia (Doménech,2016).

Tabla 4.

AMFE. Probabilidad de Ocurrencia

Criterio	Probabilidad
Casi probable	1 – 2
Baja probabilidad	3 – 4
Probable	5 – 6
Alta probabilidad	7 – 8
Casi con certeza	9 - 10

Nota: elaboración propia según lo propuesto por Doménech,2016.

G. Determinación de la gravedad del fallo.

La gravedad del fallo es un valor entre 1 y 10, que indica la influencia del fallo en el grado de satisfacción del cliente, o la perturbación que el fallo pueda producir en el proceso productivo. Los criterios que se incluyen en la tabla de abajo pueden servir de referencia en la valoración de la gravedad (Doménech,2016).

Tabla 5.

AMFE. Gravedad del fallo

Criterio	Probabilidad
Muy leve (casi imperceptible)	1 – 2
Leve	3 – 4
Gravedad moderada	5 – 6
Gravedad alta	7 – 8
Muy grave	9 - 10

Nota: elaboración propia según lo propuesto por Doménech,2016.

H. Determinación de la probabilidad de no detección.

Indica la probabilidad de no detectar el fallo antes de entregar el producto al cliente, o durante su fabricación. Al igual que en los casos anteriores toma valores comprendidos entre 1 y 10. La tabla de abajo muestra un criterio de clasificación que puede servir de referencia en la valoración de la probabilidad de no detección (Doménech,2016).

Tabla 6.

AMFE. Probabilidad de no detección

Criterio	Probabilidad
Casi improbable que los controles no detecten el fallo.	1 – 2
Baja probabilidad de no detección.	3 – 4
Probabilidad media.	5 – 6
Alta probabilidad de no detección.	7 – 8
Probabilidad muy alta de no detectar el fallo.	9 - 10

Nota: elaboración propia según lo propuesto por Doménech,2016.

I. Determinación del índice de prioridad de riesgo (IPR).

Se calcula el I.P.R. de acuerdo a la fórmula:

$$IPR= P \cdot G \cdot D$$

Donde

P= probabilidad de ocurrencia.

G= gravedad del fallo.

D= probabilidad de no detección.

El IPR permite evaluar los diferentes niveles de riesgo y ordenarlos según sus prioridades. Estas prioridades determinan sobre qué modos de fallo es necesario tomar acciones correctoras, con objeto de reducir el correspondiente IPR(Doménech,2016).

- Acciones correctoras: Se indican las acciones correctoras propuestas para reducir el IPR de los modos de fallo seleccionados (Doménech,2016).
- Responsable: Se indican los responsables de las diferentes acciones propuestas y, si se cree preciso, las fechas previstas de implantación de las mismas (Doménech,2016).
- Acción implantada: Se reflejan las acciones realmente implantadas que pueden, en algunos casos, no coincidir con las propuestas inicialmente (Doménech,2016).

J. Nuevo índice de prioridad de riesgo

Como consecuencia de las acciones correctoras implantadas, los valores de la probabilidad de ocurrencia, la gravedad y/o la probabilidad de no detección habrán disminuido, reduciéndose, por tanto, el Índice de Prioridad de Riesgo (Doménech,2016).

Si a pesar de la implantación de las acciones correctoras, no se cumplen los objetivos definidos en algunos Modos de Fallo, es necesario investigar, proponer e implantar nuevas acciones correctoras, hasta conseguir que el IPR sea menor que el definido en los objetivos. Una vez conseguido que los IPR de todos los Modos de Fallo estén por debajo del valor establecido, se da por concluido el AMFE(Doménech,2016).

2.2.9. Diagrama de causa – efecto

Es considerado por Nunes (2016) como una herramienta eficaz utilizada para mejorar los procesos y lograr un adecuado control de calidad en las organizaciones. Este diagrama funciona agrupando y presentando, de manera visual, las causas que dan origen a problemas que se estén analizando y se pretendan mejorar. Además, es de utilidad al identificar los

elementos causales de un sistema que contribuyen a un problema o efecto en un proceso.

Figura 2.

Diagrama de causa efecto



Nota: Técnicas de resolución de problemas (Sacristán,2003)

Para la elaboración de este de diagramas se debe identifico claramente el problema en el que se sustenta el estudio como es la falta de planificación de mantenimiento de preventivo de los equipos de maquinaria pesada; siguiendo con el procedimiento se desarrolló una lista de las distintas causas que producen el problema, se empezó por el nivel más alto y a continuación se establecieron las sub- causas del mismo.

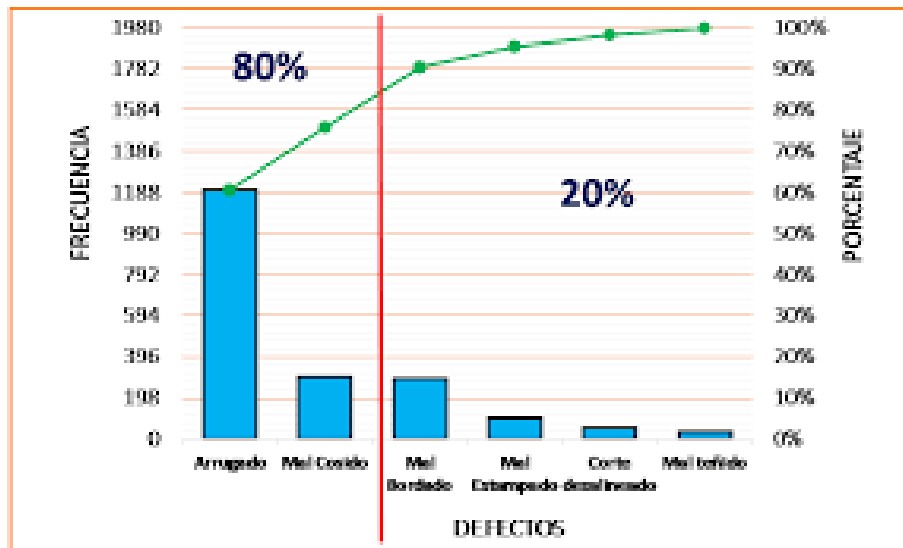
La elaboración de este diagrama permitió poder ampliar la visión de las posibles causas de la falta de planificación, al ser una herramienta que permite de manera más sistémica y completa, las posibles soluciones al problema se plantearon en función a los recursos asignados en el proceso de mantenimiento, asimismo la implementación de esta genero una, mejora sustancial de los procesos.

2.2.10. Diagrama de Pareto

Es una herramienta de análisis de causas ante un problema identificado. Sacristán (2003), expresa que los elementos del diagrama son causas ordenadas de forma descendente, con el objetivo de identificar los factores más relevantes que generan el problema.

Figura 3.

Diagrama de Pareto



Nota: Técnicas de resolución de problemas (Sacristán,2003)

La elaboración de este diagrama durante la investigación nos permitió poder asignar un orden de prioridades en relación a la búsqueda de la solución de los problemas identificados en la matriz del pescado, es decir se identifican problemas de importancia frente a unos pocos muy importantes, al desarrollar se pudo identificar los principales problemas, que brindaran solución al problema central como es la falta de rendimiento de la maquinaria pesada.

El principal uso que se le dio en la investigación fue el poder establecer un orden de prioridades en la toma de decisiones. evaluar todas las fallas, saber si se pueden resolver o mejor evitarlas. El procedimiento desarrollado para la elaboración del diagrama, se describe en la siguiente tabla:

Tabla 7.

Procedimiento de elaboración diagrama de Pareto

Actividad	Procedimiento	Descripción
PASO 1	Identificar el Problema	Identificar el problema sobre el cual se va a trabajar.
PASO 2	Identificar los factores	Elaborar una lista de los factores que Que inciden en el problema.
PASO 3	Definir el periodo de recolección	Periodo de recolección de información
PASO 4	Recolección de Datos	Evaluación de las causas o factores identificados
PASO 5	Ordenar los datos	De mayor a menor según Frecuencia
PASO 6	Calcular los porcentajes	Obtener el porcentaje relativo de cada causa o factor, con respecto al total
PASO 7	Calcular Los Porcentajes acumulados	Calcular el porcentaje relativo acumulado, sumando en forma consecutiva
PASO 8	Identificar los ejes	Eje horizontal se anotan los factores El eje vertical izquierdo la frecuencia de cada factor.

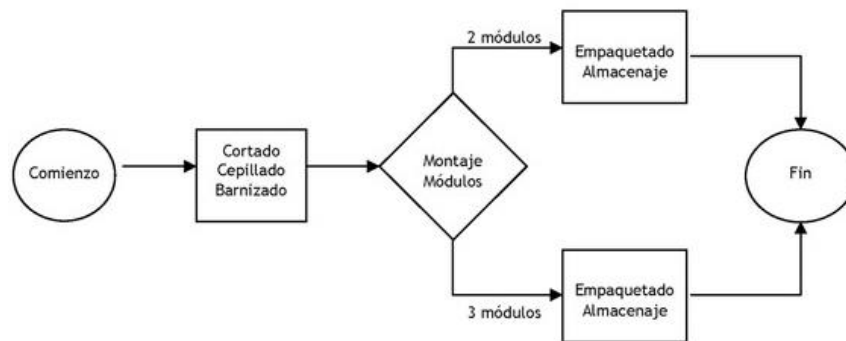
Nota: Elaborado según Técnicas de resolución de problemas (Sacristán,2003)

2.2.11. Diagrama de operaciones

Representa gráficamente un cuadro general de cómo se realizan procesos, según lo expuesto por Sacristán (2003), quien considera que sirve para diferenciar a las principales operaciones e inspecciones

Figura 4.

Diagrama de operaciones



Nota: Técnicas de resolución de problemas (Sacristán,2003)





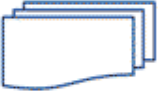


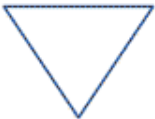


Las líneas verticales indican el flujo general del proceso a medida que se realiza el trabajo, mientras que las líneas horizontales que alimentan a las líneas de flujo vertical indican materiales. En general, el diagrama del proceso operativo se construye de tal manera que las líneas de flujo verticales y las líneas de materiales horizontales no se crucen.

El diagrama de flujo es una de las herramientas más extendidas para el análisis de los procesos, para expresar que se debe a la visión gráfica del proceso, lo cual facilita la comprensión integral del mismo y la detección de puntos de mejora.

En la siguiente figura se detalla cada uno de los componentes que nos permiten poder desarrollar un flujograma, esta herramienta fue desarrollada con la finalidad de poder conocer y describir cada uno de los procedimientos relacionados con el desarrollo y ejecución del mantenimiento preventivo

Figura 5.

Componentes flujo grama

SÍMBOLO	SIGNIFICADO	SÍMBOLO	SIGNIFICADO
	Terminal: Indica el inicio o la terminación del flujo del proceso.		Actividad: Representa la actividad llevada a cabo en el proceso.
	Decisión: Señala un punto en el flujo donde se produce una bifurcación del tipo "Sí" – "No".		Documento: Documento utilizado en el proceso.
	Multidocumento: Refiere un conjunto de documentos. Por ejemplo, un expediente.		Inspección / Firma: Aplicado en aquellas acciones que requieren de supervisión.
	Conector de un Proceso: Conexión o enlace con otro proceso, en el que continúa el diagrama de flujo. Por ejemplo, un subproceso.		Archivo: Se utiliza para reflejar la acción de archivo de un documento o expediente.
	Base de Datos: Empleado para representar la grabación de datos.		Línea de Flujo: Indica el sentido del flujo del proceso.

Nota: Técnicas de resolución de problemas (Sacristán,2003)

2.2.12. Análisis de criticidad

El análisis de criticidad es una metodología que permite establecer la jerarquía o prioridades de procesos, sistemas y equipos, creando una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas, direccionando el esfuerzo y los recursos en áreas donde sea más importante y/o necesario mejorar la fiabilidad (Sacristán,2003).

Figura 6.

Análisis de criticidad



Nota: Técnicas de resolución de problemas (Sacristán,2003)

El desarrollo de este método nos permitió poder cuantificar el impacto de las fallas las unidades de maquinaria pesada en la ejecución del servicio prestado por la empresa, y la frecuencia con que se presentan para establecer tareas de mantenimiento en aquellas áreas que están generando mayor repercusión en la funcionalidad, confiabilidad, mantenibilidad, riesgos y costos totales, con el fin de mitigarlas o eliminarlas por completo.

2.2.13. Gestión de mantenimiento

La gestión de mantenimiento puede ser definida como la efectiva y eficiente utilización de los recursos materiales, económicos, humanos y de tiempo para alcanzar los objetivos del mantenimiento (Tuesta, 2014)

La gestión del mantenimiento industrial moderno se presenta como un conjunto de técnicas para cuidar la tecnología de los sistemas de producción a lo largo de todo su ciclo de vida, llegando a utilizarlos con la máxima disponibilidad y siempre al menor costo, garantizando entre otras cuestiones, una asistencia técnica eficaz a través de una buena formación y gestión de

competencias en el uso y mantenimiento de dichos sistemas asegurando la disponibilidad planeada dentro de las recomendaciones de garantía y uso de los fabricantes de los equipos(Tuesta, 2014)

En una gestión de mantenimiento, la planificación y programación representan el punto de partida. Ella lleva involucrada la necesidad de imaginar y relacionar las actividades probables que habrán de cumplirse para lograr los objetivos y resultados esperados (Tuesta, 2014).

A. Planificación

Es un proceso que consiste en la definición de rutinas, procedimientos y en la elaboración de los planes detallados para horizontes relativamente largos, usualmente semanal, mensual, trimestrales o anuales, lo cual implica la determinación de las operaciones necesarias, mano de obra requerida, materiales a emplear, equipos a utilizar y duración de las actividades (Tuesta, 2014). En la planificación del mantenimiento se debe considerar los siguientes aspectos:

- Se deben tener establecidos objetivos y metas en cuanto a los objetos a mantener.
- Se debe garantizar la disponibilidad de los equipos.
- Establecer un orden de prioridades para la ejecución de las acciones de mantenimiento.
- Sistema de señalización y codificación lógica.
- Inventario técnico.
- Procedimientos y rutinas de mantenimiento.
- Registros de fallas y causas.
- Indicadores de gestión, estadísticas de tiempo de parada y tiempo de reparación.

B. Programación

El proceso consiste en establecer las frecuencias para las asignaciones del mantenimiento preventivo, las fechas programadas son esenciales para que exista una continua disponibilidad de equipos e instalaciones. Se inicia con la solicitud y envío de la orden de trabajo (Tuesta, 2014).

C. Ejecución, control y evaluación

Ejecución, control y evaluación. Estos procesos vinculan dos acciones administrativas de singular importancia como son la dirección y la coordinación de los esfuerzos del grupo de realizadores de las actividades generadas en los procesos de planificación y programación cuya finalidad es garantizar el logro de los objetivos propuestos (Tuesta, 2014).

D. Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)

El mantenimiento centrado en confiabilidad es una filosofía de gestión de mantenimiento que sirve de guía para identificar las actividades de mantenimiento. El RCM es una técnica de organización de las actividades y de la gestión de manteamiento en donde se desarrolla programas organizados que se basan en la confiabilidad de los equipos en función al diseño y de su construcción (Mora, 2016).

Es un proceso utilizado para determinar qué se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual – John Moubray (Campos, 2018).

E. Maquinaria pesada:

Es todo equipo móvil diésel, hidráulico o eléctrico utilizadas exclusivamente en obras industriales en el sector de la construcción, minería, transporte, naval o portuario. Se encuentran constituidas por diversos sistemas mecánicos e hidráulicos para trabajos de gran capacidad de carga o esfuerzo. (Barrientos, 2017)

2.3. Marco conceptual

- Demoras:

Son los tiempos de retraso que presenta la maquina por factores diversos al equipo, originando que no se cumpla con las actividades productivas en el tiempo establecido.

- Gestión de tiempos:

Es el análisis detallado a las funciones productivas con el fin de determinar alguna deficiencia para corregirla y poder optimizar el tiempo aplicado a las labores.

- Mantenimiento preventivo:

Es una serie de actividades que busca alargar la vida útil de una maquinaria y previene desvíos laborales por imprevistos no detectados a tiempo.

- Maquinaria pesada:

Es un vehículo de mayor tamaño utilizado comúnmente para actividades de construcción y minería para desarrollar tareas como el movimiento de tierra, levantamiento de objetos pesados, demolición, excavación, etc.

- Plan de mejora:

Es una secuencia de modificaciones a los procesos existentes en una organización para optimizarlos.

- Producción:

Es la cantidad de productos que se han elaborado en un proceso productivo, empleando diversos recursos.

- Productividad:

Es el indicador para medir el índice de producción obtenido de la división de la cantidad de las salidas entre los recursos empleados.

- Ratio:

Valor comparativo cuantitativo entre dos fenómenos que refleja una situación concreta de productividad, eficiencia, rentabilidad, etc.

- Rendimiento:

Es la capacidad de trabajo que presenta un recurso (maquina, persona, etc) en función a una unidad de tiempo.

2.4. Sistema de Hipótesis

La implementación de un plan de mantenimiento preventivo incrementara el rendimiento total de la maquinaria pesada en la empresa JAR Agregados y Servicios E.I.R.L,2021.

2.5. Variables e Indicador

- Variable Independiente, cuantitativa:

El mantenimiento preventivo se refiere a que no se debe esperar a que las máquinas fallen para hacerles una reparación, sino que se programen los recambios con el tiempo necesario antes de que se presente la falla; esto se puede lograr conociendo las especificaciones técnicas de los equipos a través de los manuales.

- Variable Dependiente, cuantitativa:

Rendimiento: En Física este concepto se define como el cociente entre el trabajo útil que realiza una máquina en un intervalo de tiempo determinado y el trabajo total entregado a la máquina en ese intervalo.

2.6. Operacionalización de variables

Tabla 8.

Operacionalización de variable independiente

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicador	Escala
Independiente: Plan de mantenimiento preventivo	El mantenimiento preventivo se refiere a aquellas tareas de sustitución hechas a intervalos fijos independientemente del estado del elemento o componente.	Un plan de mantenimiento preventivo para controlar las fallas críticas de las maquinarias pesada considerando el Análisis Modal de Fallas y Efectos (AMFE)	Ejecución de mantenimiento preventivo EMP	$\frac{\text{Ordenes preventivas emitidas}}{\text{Total de ordenes emitidas}}$	Razón continua
			Órdenes de trabajo atendidas ODT	$\frac{\text{Nro orden atendidas}}{\text{Nro de orden vencidas}}$	Razón continua
		Mean Time Between Failure MTBF	$\frac{\text{Tiempo total de operación en el periodo}}{\text{número total de fallas}}$	Razón continua	
		Tiempo promedio para reparación	$TPPR = \frac{TTF}{N.T.FALLAS}$	Razón continua	
		Costo de Mtto x hr trabajada.	$\frac{\text{Total Costo de Mtto preventivo}}{\text{Horas trabajadas}}$	Razón continua	
		Costos de mantenimientos preventivos	$\frac{CP}{CTM}$	Razón continua	
		Capacitación del personal del mantenimiento CPM	$\frac{\sum HH \text{ Capacitaciones}}{\sum HH \text{ Disponible}}$	Razón continua	

Nota: elaboración propia según manual de investigación UPAO.

Tabla 9.

Operacionalización de variable dependiente

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicador	Escala
Dependiente: Rendimiento	Representa la propiedad del mantenimiento de acercarse lo más posible a la conservación de la capacidad productiva para alcanzar su capacidad potencial.	Cantidad porcentual del rendimiento de las maquinarias pesadas de la empresa JAR Agregados y Servicios EIRL	Overall Equipment Effectiveness (OEE)	Disponibilidad * Rendimiento * Calidad	Razón continua
			Disponibilidad	$Disponibilidad = \frac{TO}{TPO} \times 100$	Razón continua
			Rendimiento	$\frac{Trabajo\ útil}{Trabajo\ Total}$	Razón continua
			Calidad	$\frac{Volumen\ de\ producción\ (defectos + reproceso)}{Volumen\ de\ producción}$	Razón continua

Nota: elaboración propia según manual de investigación UPAO.

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y nivel de investigación

3.1.1. Enfoque de investigación.

Según Hernández (2018) el enfoque cuantitativo es cuando la investigación se utiliza la recolección de datos mediante instrumentos previamente diseñados, asimismo se realiza el análisis estadístico a través de una medición numérica.

3.1.2. Tipo de investigación

La investigación aplicada es el tipo de investigación en la cual el problema está establecido y es conocido por el investigador, por lo que utiliza herramientas existentes durante la investigación para dar respuesta a preguntas específicas (Lozada, 2014).

3.1.3. Nivel de investigación

Explicativo este nivel está dirigido a responder a las causas de los eventos físicos o sociales. Se centra en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones este se da. (Lozada, 2014).

3.1.4. Alcance de la investigación

Longitudinal es un tipo de investigación que se realiza cuando se requiere analizar cambios a través del tiempo en determinadas variables o en las relaciones entre estas. Este tipo de estudios se recolectan datos a través del tiempo en puntos y periodos especificados, para hacer inferencias con respecto al cambio, a sus determinantes y a sus consecuencias (Hernández,2018)

3.1.5. Manipulación de la variable de investigación

Cuasi experimental, sigue la lógica y los procedimientos de un experimento, pero establece algunas diferencias con este. Estudia relaciones causa-efecto de todos los factores que puedan afectar el experimento, pero no en condiciones de control y precisión rigurosos. Es decir, el investigador diseña un experimento, pero la diferencia consiste en que no se pueden controlar ni manipular con rigor todas las variables (Lozada, 2014).

La investigación es una investigación es de tipo aplicada con un nivel de profundidad explicativo debido que se analizaremos las características necesarias para el diseño de un sistema de mantenimiento preventivo y como este incide en rendimiento de las unidades de maquinaria pesada, además presenta un enfoque cualitativo se analizaran datos históricos sobre la planificación de mantenimientos, según el nivel de manipulación de variable es cuasi experimental debido a que no se contara con el control de las variables de estudio en su totalidad.

3.2. Población y muestra de la investigación

3.2.1. Población

Está conformada por todas las maquinarias pesadas de la empresa que es igual a 16 unidades.

3.2.2. Muestra

Está conformada por las maquinarias pesadas con mayor índice de criticidad en la empresa.

3.3. Método de la investigación

El modelo hipotético-deductivo. En breve, consiste en la generación de hipótesis a partir de dos premisas, una universal y otra empírica, para llevarla a la contrastación empírica (Popper, 2008).

3.4. Diseño de la Investigación

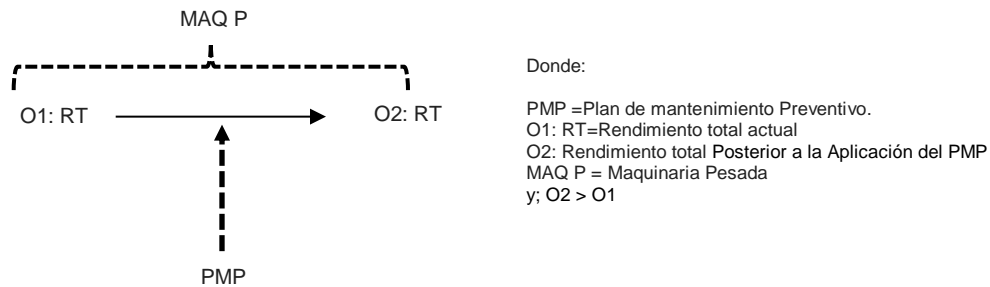
Es No Experimental, pues sólo se sustrae a contemplar los fenómenos en su estado natural para luego analizarlos, sin manipular directamente las variables (Lozada, 2014).

3.5. Diseño de Contrastación

Se representa a través del siguiente esquema:

Figura 7.

Diseño de contrastación



3.6. Técnicas e instrumentos de investigación

A continuación, se detallan las técnicas empleadas en el proceso de recolección de información.

- **Observación directa:** esta técnica es un método de recolección de datos que consiste básicamente en observar el objeto de estudio dentro de una situación particular (Sabino, 1996).
- **Análisis documental:** es un conjunto de operaciones encaminadas a representar un documento y su contenido bajo una forma diferente de su

forma original, con la finalidad posibilitar su recuperación posterior e identificarlo (Sabino, 1996).

- **Estudio de campo:** algunas ciencias requieren que el investigador conozca una realidad de manera directa y presencial. Esto implica que debe tomar notas (existen los cuadernos de campo), recoger muestras u observar una realidad en su propio medio (Sabino, 1996).

Tabla 10.

Descripción de técnicas de recolección de información empleadas

TÉCNICA	INSTRUMENTO	JUSTIFICACIÓN	APLICACIÓN
Observación directa	Guía de observación	Permite identificar los problemas más resaltantes y notorios en el área de estudio	Se identificaron los procesos, problemas relacionados con el mantenimiento de la maquinaria pesada de la empresa.
Análisis documental	Registro de datos de costos	Se utiliza el registro de costos por la empresa para los mantenimientos preventivos de la maquinaria pesada.	Se aplican en todas las áreas involucradas en la realización del proceso de mantenimiento preventivo, con la finalidad de determinar para los costos asociados al proceso.
Análisis documental	Registro de datos de inventarios	Permite analizar la situación en la que se encuentra la empresa con respecto al manejo y control de inventarios y stock de repuestos.	Se aplica en el área logística del taller, considerando las herramientas de manejo existentes y el registro de compras de la empresa.

Nota: elaboración propia según manual de investigación UPAO.

3.7. Procedimiento y análisis de datos

- Para la revisión documental: Se analizaron los contenidos de los reportes de sobre los stocks, lista de chequeo, registro de datos en relación al mantenimiento, se ordenó y dispuso según el contenido del propio documento por actividad del proceso. Se estudiaron los datos obtenidos y se interpretaron los datos mediante diagramas e histogramas.
- Para la realización del documento de tesis: Se siguieron las etapas fundamentales para la elaboración del documento de tesis mediante la tabla siguiente.

Tabla 11.

Procedimiento de elaboración de tesis

Pasos	Detalle
Trabajo de gabinete	Se analizaron los reportes del proceso de mantenimiento, información bibliográfica y se elaboró los instrumentos.
Trabajo de campo	Se realizó visitas a las instalaciones de la empresa, taller de mantenimiento, para aplicar la ficha de observación y para observar el proceso de mantenimiento.
Trabajo de gabinete	Se analizó y decidió la implementación de la mejora con el mantenimiento preventivo de la maquinaria pesada.

Nota: elaboración propia según manual de investigación UPAO.

- C. Para análisis de datos: Se siguieron las etapas fundamentales para el análisis de datos se presentan en la tabla.

Tabla 12.

Procedimiento de análisis de datos

Fases	Detalle
Estadística descriptiva	Se describieron la distribución de frecuencias de tiempos de mantenimiento preventivo, se desarrolló estudio de tiempos del proceso con la finalidad de determinar el rendimiento de la maquinaria pesada.
Pruebas estadísticas	Se utilizaron coeficientes de correlación antes y después de la propuesta.
Ishikawa	Análisis de las causas del problema principal.
Diagrama AMFE	Estimar y predecir los fallos que puedan suceder en un proceso, enfocado a la minimización de fallas.
Diagrama de procesos	Representación gráfica del flujo de actividades actuales

Nota: elaboración propia según manual de investigación UPAO.

IV. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1. RESULTADO DEL OBJETIVO ESPECIFICO N°1 Realizar el diagnostico situacional de la maquinaria pesada y determinar el rendimiento total actual.

Para el cumplimiento del presente objetivo se estableció el siguiente procedimiento desde el conocimiento de la empresa hasta el diagnóstico del estado de la maquinaria pesada. Por tanto, detallaremos paso a paso iniciando con las generalidades de la empresa, análisis de las causas del problema, análisis de criticidad.

4.1.1. Generalidades de la empresa

La empresa JAR Agregados y Servicios E.I.R.L, es una organización empresarial considerada PYMES y con 10 años de experiencia en el rubro de movimiento de tierras y construcción, desarrollados bajo estándares de seguridad y un alto nivel de conciencia medioambiental, tiene como actividades comerciales el alquiler de maquinaria pesada, venta al mayor de materiales de construcción y otras actividades del tipo de servicio NCP, ejerce sus servicios en distintas regiones a nivel nacional, trabajando con una flota de equipos de maquinaria pesada conformada por excavadoras, cargadores frontales, volquetes, motoniveladoras, etc.

4.1. 2. Información comercial

Tabla 13.

Información general

Nombre comercial	Jar Agregados y Servicios E.I.R.L.
Razón Social	JAR AGREGADOS Y SERVICIOS E.I.R.L
Tipo Empresa	Empresa Individual de Resp. Ltda
RUC	20496182121
Actividades Comerciales	Alquiler Maqui. y Equip. Construcción. Vta. May. Materiales de Construcción
CIUU	71221
Dirección Legal	Jr. Luis Reyna Farge Nro. 835 Br Aranjuez
Ubicación	Distrito / Ciudad: Cajamarca Departamento: Cajamarca, Perú

Nota: Elaborado según información obtenida de SUNAT (2021)

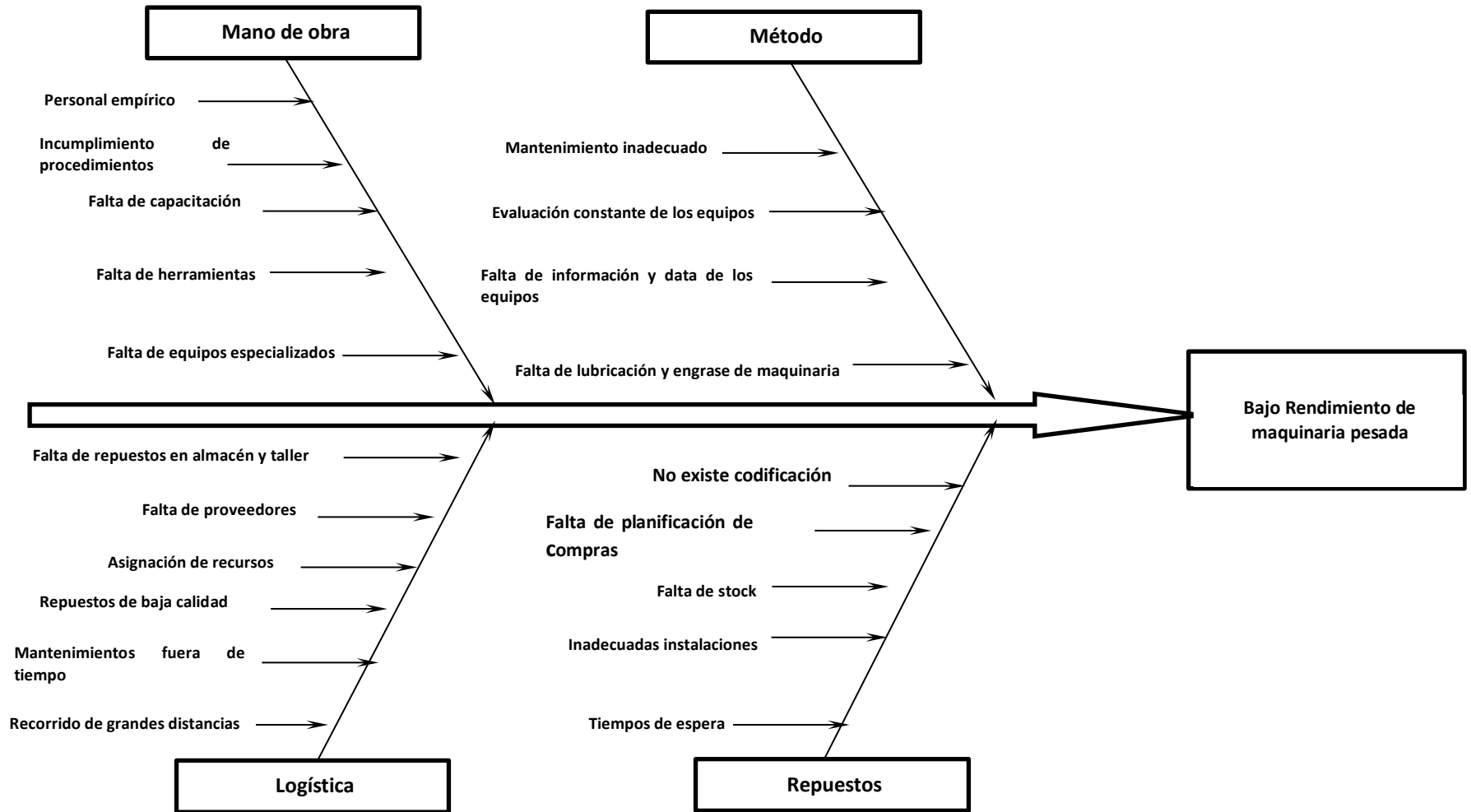
4.1.3 Diagnóstico del área de mantenimiento de la empresa

Como se mencionó en la realidad problemática en el área de mantenimiento de la empresa JAR AGREGADOS Y SERVICIOS E.I.R.L; se enfrenta al bajo rendimiento y disponibilidad de la maquinaria pesada, por lo cual para la identificación del problema se elaboró el Diagrama de Ishikawa. Se ha tomado como base el método de las 6M y tiene como objeto agrupar las causas potenciales en 6 ramas principales: métodos de trabajo, mano de obra, materiales, maquinaria, medición y medio ambiente.

El Pool de maquinarias de la empresa está compuesto por 32 unidades excavadoras, motoniveladora, rodillo entre otros equipos, que les permiten realizar el servicio de construcción a disponibilidad de sus clientes, En la actualidad las unidades de maquinaria pesada trabajan en condiciones severas sin mantenimientos adecuados que generan problemas mecánicos en los sistemas transmisión, hidráulicos, motor, la falta de capacitación en maniobrabilidad y operatividad de los equipos genera un incremento en el consumo de combustible, estos factores inciden en los costos de mantenimiento.

Figura 8.

Diagrama de causa – efecto espina de pescado maquinaria pesada



Nota: Elaboración propia

Posterior a identificar las causas y efectos del problema identificado que no permite el rendimiento de las maquinarias, se diseñó la siguiente matriz, que inciden en el rendimiento de la maquinaria.

Tabla 14.

Matiz actividad- Observación

Actividad		POOL DE MAQUINARIA JAR AGREGADOS																
		OBSERVACIONES DE EQUIPOS																
		O1	O2	O3	O4	O5	O6	O7	O8	O9	O10	O11	O12	O13	O14	O15	O16	SUMA
Asignación de recursos	AC1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	10
Calidad de los repuestos	AC2	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	9
Evaluación de los equipos	AC3	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	9
Falta de capacitación conductor	AC4	1	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0	10
Falta de herramientas	AC5	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	10
Información Maquinaria	AC6	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	9
Lubricación y engrase	AC7	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0	9
Plan preventivo	AC8	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	13
Planificación de compras	AC9	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1	7
Selección proveedores	AC10	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	8
Falta de equipos especializados	AC11	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	10
Falta de repuestos en almacén	AC12	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	11
Stock inadecuado	AC13	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	11
Procedimientos incompletos	AC14	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	8
Mala conducción	AC15	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	9
Mantenimiento inadecuado	AC16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	16
Ausencia de codificación	AC17	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	7
Personal mecánico empírico	AC18	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	10
Tiempos de espera repuestos	AC19	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	13

Nota: Elaboración propia

Se procede a elaborar el diagrama de Pareto:

Tabla 15.

Diagrama de Pareto -Evaluación de fallas

ACTIVIDAD	Fallas	PORC %	PORC ACUM%
Mantenimiento inadecuado	16	8.47%	8.47%
Tiempos de espera repuestos	13	6.88%	15.34%
Plan preventivo	13	6.88%	22.22%
Falta de repuestos en almacén	11	5.82%	28.04%
Asignación de recursos	10	5.29%	33.33%
Evaluación de los equipos	9	4.76%	38.10%
Stock inadecuado	11	5.82%	43.92%
Falta de capacitación conductor	10	5.29%	49.21%
Falta de herramientas	10	5.29%	54.50%
Falta de quipos especializados	10	5.29%	59.79%
Personal mecánico empírico	10	5.29%	65.08%
Información Maquinaria	9	4.76%	69.84%
Lubricación y engrase	9	4.76%	74.60%
Mala conducción	9	4.76%	79.37%
Calidad de los repuestos	9	4.76%	84.13%
Planificación de compras	7	3.70%	87.83%
Selección proveedores	8	4.23%	92.06%
Procedimientos incompletos	8	4.23%	96.30%
Ausencia de codificación	7	3.70%	100.00%

Nota: Elaboración propia

En la tabla anterior se detalla la ocurrencia de fallas en la maquinaria pesada en el área de mantenimiento de la empresa, en ella se evidencia que una de las principales causas de las falla de la maquinaria son los mantenimientos inadecuados(8.47%), los tiempos de espera relacionados con el cambio de repuestos y ausencia de un plan preventivo de mantenimiento (6.88%), la falta de repuestos en los almacenes (5.82%), la escasa asignación de recursos (5.29%), la evaluación constante de quipos (4.79%), asimismo se determinaron otras fallas como son la falta de capacitación de los operarios, mala conducción, la calidad de repuestos utilizados, la usencias de una adecuada planificación de compras de los repuestos, inadecuada selección de proveedores, procedimientos incompletos de mantenimiento, ausencia de una adecuada gestión administrativa de los Stock en almacenes de los repuestos requeridos por los equipos de maquinaria pesada.

Tabla 16.

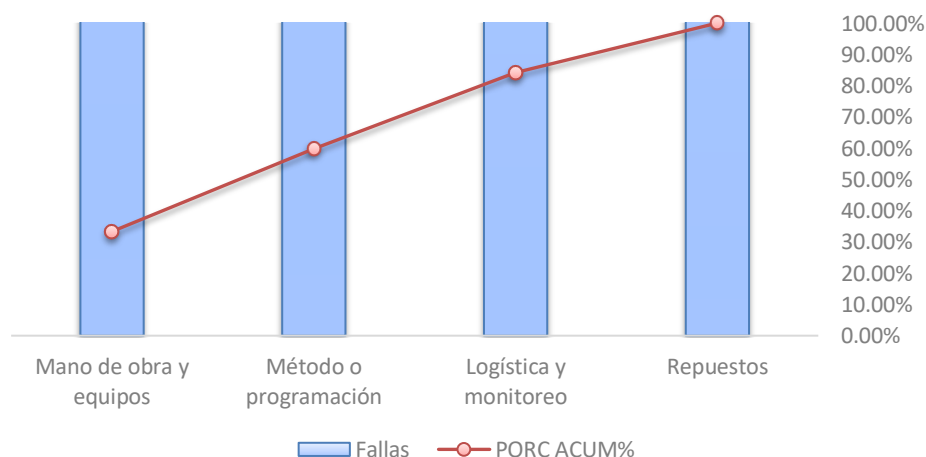
Cálculo del 80 -20 Diagrama de Pareto

ACTIVIDAD	Fallas	PORC %	PORC ACUM%
Mano de obra y equipos	63	33.33%	33.33%
Método o programación	50	26.46%	59.79%
Logística y monitoreo	46	24.34%	84.13%
Repuestos	30	15.87%	100%

Nota: Elaboración propia

Figura 9.

% Acumulado de Pareto

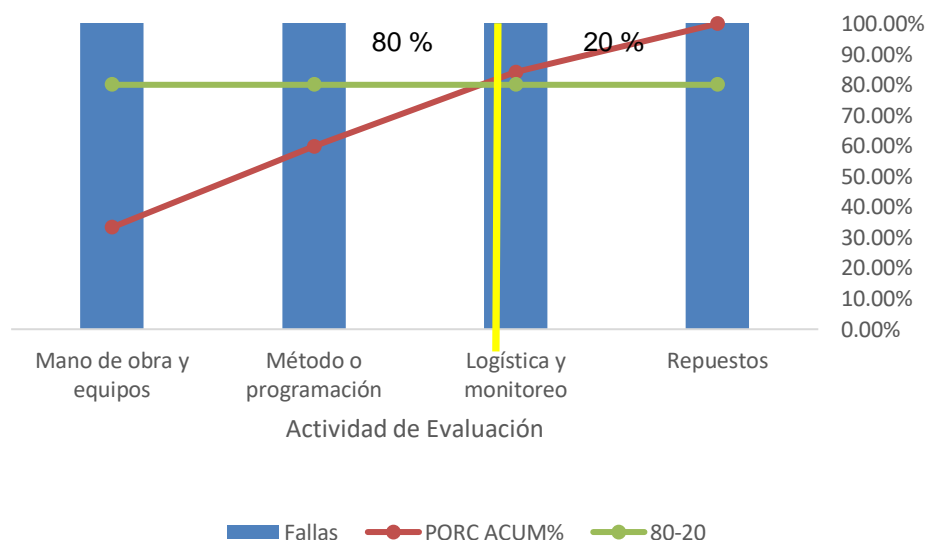


Nota: Elaboración propia

En la figura anterior, se muestra el diagrama de Pareto de acuerdo a la ocurrencia de fallas identificadas en la maquinaria pesada de la empresa, en ella se evidencia que la mano de obra y equipos asignados al mantenimiento presenta un total de 63 fallas identificadas(33.33%), seguido por el método o programación 50 fallas (26.46%), la logística y monitoreo presenta 46 fallas claramente identificadas(24.34%), y un relación a los repuestos se identificaron 30 fallas (15.87%) son consideradas las principales fallas que influyen en la disponibilidad de la maquinaria.

Figura 10.

Diagrama Pareto Fallas 80-20



Nota: Elaboración propia

En la figura se muestra el diagrama de Pareto 80-20, dentro del 80% podemos identificar y concluir que una de las principales causas que afectan la disponibilidad de la maquinaria pesada son la falta de mano de obra, equipos especializados, método de programación del mantenimiento, en relación al 20% se identifica que la logística y la adquisición de repuestos, son actividades complementarias al sistema de mantenimiento preventivo.

4.4. Equipos de línea amarilla

En la siguiente tabla se describe las características del pool de maquinaria de la empresa.

Tabla 17.

Inventario de maquinaria pesada

Maquinaria	Código	Marca	Año de fabricación	Modelo	Unidades
Cargador frontal	CAT-001	Caterpillar	2010	938G	05
Cargador frontal	KOM-002	Komatsu	2008	WA380	04
Retroexcavadora	RET-003	Komatsu	2011	WB97R	03
Rodillo	ROD-004	Caterpillar	2008	cs533e	02
Motoniveladora	MOT-005	Komatsu	2010	gd555	02

Nota: Elaboración propia según registros de la empresa JAR agregados

4.5. Análisis situacional maquinaria pesada

Tabla 18.

Descripción de operatividad maquinaria

	UNIDAD DE MAQUINARIA		SITUACIÓN	DESCRIPCIÓN
1	CAT-001	Cargador frontal	operativa	
2	CAT-002	Cargador frontal	operativa	
3	CAT-003	Cargador frontal	operativa	
4	CAT-004	Cargador frontal	operativa	
5	CAT-005	Cargador frontal	operativa	
6	KOM-001	Cargador frontal	operativa	
7	KOM-002	Cargador frontal	operativa	
8	KOM-003	Cargador frontal	inoperativa por falta de mantenimiento	Mantenimiento general
9	KOM-004	Cargador frontal	inoperativa por falta de mantenimiento	Sistema de inyección
10	RET-001	Retroexcavadora	inoperativa por falta de mantenimiento	Sistema de hidráulico
11	RET-002	Retroexcavadora	inoperativa por falta de mantenimiento	Motor recalentado
12	RET-003	Retroexcavadora	inoperativa por falta de mantenimiento	Sistema de hidráulico
13	ROD-004	Rodillo	inoperativa por falta de mantenimiento	Sistema de hidráulico
14	ROD-004	Rodillo	inoperativa por falta de mantenimiento	
15	MOT-001	Motoniveladora	operativa	
16	MOT-002	Motoniveladora	inoperativa por falta de mantenimiento	mantenimiento general

Nota: Elaboración propia según registros de la empresa JAR agregados

Como podemos observar en la anterior, en la actualidad del total pool de maquinaria de la empresa 8 están operativas, lo que limita la disponibilidad de las unidades. A continuación, describimos las características de las fallas de identificadas.

Tabla 19.

Principales fallas identificadas

Falla	Descripción
Sistema de inyección	Falla de inyectores de combustible que cumplen un papel muy importante en el funcionamiento de maquinaria, al proporcionar petróleo hacia motor, tenido como consecuencia perdida de potencia, fallo en el encendido del motor, en las revoluciones del motor, fugas de combustible, aumento del consumo de combustible.
Motor recalentado	Existen diversas causas que provocan el sobrecalentamiento del motor del carro, siendo estas las más comunes. En consecuencia, no soportaría la presión del radiador y provocaría una fuga del líquido refrigerante, provocando el calentamiento, faltarle refrigerante al motor.
Sistema hidráulico	Los sistemas hidráulicos no requieren de un trabajo extremadamente complejo para su mantenimiento y conservación, puesto que en ambos casos se cuenta con medios lubricantes que protegen sus elementos y accesorios.
Mantenimiento general	El objetivo del mantenimiento es revisar el correcto funcionamiento de la maquinaria y cambiar las partes que sufrieron desgaste.

Nota: Elaboración propia según registros de la empresa JAR agregados

Con la finalidad de poder realizar el análisis de criticidad de la maquinaria pesada de la empresa, se evaluará bajo los siguientes criterios: riesgo de lesión del personal policial, el impacto generado en el servicio, la frecuencia de fallas y el impacto social que genera la inoperatividad de la maquinaria pesada. Con la finalidad de poder evaluar el riesgo de criticidad se calificará del 1 a 5 según el riesgo considerado.

Tabla 20. Análisis de criticidad de maquinaria pesada

MAQUINARIA CONSIDERADA PARA ANÁLISIS											
	UNIDAD DE MAQUINARIA		RIESGO DE LESIÓN	IMPORTANCIA	IMPACTO EN LA SERVICIO	IMPORTANCIA	FRECUENCIA DE FALLAS	IMPORTANCIA	IMPACTO AMBIENTAL	IMPORTANCIA	PUNTAJE DE CRITICIDAD PONDERADO
1	CAT-001	Cargador frontal	2	0.2	4	0.3	1	0.4	4	0.1	2.4
2	CAT-002	Cargador frontal	2	0.2	4	0.3	1	0.4	4	0.1	2.4
3	CAT-003	Cargador frontal	2	0.2	4	0.3	1	0.4	4	0.1	2.4
4	CAT-004	Cargador frontal	2	0.2	4	0.3	1	0.4	5	0.1	2.5
5	CAT-005	Cargador frontal	2	0.2	4	0.3	1	0.4	5	0.1	2.5
6	KOM-001	Cargador frontal	2	0.2	4	0.3	1	0.4	4	0.1	2.4
7	KOM-002	Cargador frontal	2	0.2	5	0.3	1	0.4	4	0.1	2.7
8	KOM-003	Cargador frontal	2	0.2	4	0.3	1	0.4	4	0.1	2.4
9	KOM-004	Cargador frontal	3	0.2	4	0.3	3	0.4	5	0.1	3.5
10	RET-001	Retroexcavadora	2	0.2	4	0.3	3	0.4	5	0.1	3.3
11	RET-002	Retroexcavadora	3	0.2	4	0.3	3	0.4	5	0.1	3.5
12	RET-003	Retroexcavadora	3	0.2	3	0.3	3	0.4	5	0.1	3.2
13	ROD-004	Rodillo	3	0.2	3	0.3	3	0.4	5	0.1	3.2
14	ROD-004	Rodillo	2	0.2	4	0.3	1	0.4	4	0.1	2.4
15	MOT-001	Motoniveladora	2	0.2	4	0.3	1	0.4	4	0.1	2.4
16	MOT-002	Motoniveladora	2	0.2	4	0.3	1	0.4	4	0.1	2.4

Nota: Elaboración propia según registros de la empresa JAR agregados

Se concluye que las unidades de maquinaria pesadas críticas son: KOM-004, RET-001, RET-002, RET-003, ROD-004, KOM-002.

En la tabla siguiente se describen el tienen de duración de fallas de la maquinaria pesada durante el PRE TEST, en estado de inoperativas. Se ha determinado un periodo evaluación contemplado desde el 1 de mayo a 30 de mayo del 2021. Donde se evaluará las:

- Horas de operación.
- Fallas: Número de fallas que se presentaron durante las horas de operación.
- TTF: Tiempo de duración de fallas hasta ser corregidas en minutos.

Tabla 21.

Cálculo del tiempo de duración de fallas -PRE TEST

FECHA DE REGISTRO	KOM-004			RET-001			RET-002			RET-003			ROD-004			KOM-002			TOTAL		
	Horas	Fallas	TTF	Horas	Fallas	TTF	Horas	Fallas	TTF	Horas	Fallas	TTF	Horas	Fallas	TTF	Horas	Fallas	TTF	Horas	Fallas	TTF(min)
1/05/2021	7	2	60	2	1	30	3	2	75	1	2	170	1	1	30	0	0	0	14	8	365
2/05/2021	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	3	240	0	0	0	6	3	240
5/05/2021	12	3	360	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	3	360
9/05/2021	0	0	0	2	3	240	10	1	70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	4	310
12/05/2021	3	2	180	0	0	0	1	1	90	0	0	3	2	75	0	3	2	55	9	80	328
15/05/2021	2	1	60	0	0	0	0	0	0	4	3	120	0	0	0	0	0	0	6	4	180
21/05/2021	0	0	0	3	2	165	5	2	60	3	1	30	0	0	0	0	0	0	11	5	255
23/05/2021	3	1	480	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	40	0	0	0	5	2	520
28/05/2021	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	1	70	10	1	70
29/05/2021	0	0	0	3	3	165	0	0	0	2	1	50	0	0	0	0	0	0	5	4	215
30/05/2021	5	2	60	0	0	0	1	1	20	0	0	0	0	0	0	4	2	85	10	5	165
31/05/2021	0	0	0	2	1	45	0	0	0	6	1	420	0	0	0	0	0	0	8	2	465

Nota: Elaboración propia según registros de la empresa JAR agregados

Tabla 22.**Cálculo de la disponibilidad maquinaria pesada**

Fecha de registro	Fallas	TTF Horas	Mantenibilidad	Horas OP	Fiabilidad	Disponibilidad
1/05/2021	8	6.08	0.76	14	1.75	0.70
2/05/2021	3	4.00	1.33	6	2.00	0.60
5/05/2021	3	6.00	2.00	12	4.00	0.67
9/05/2021	4	5.17	1.29	12	3.00	0.70
12/05/2021	80	5.47	0.07	9	0.11	0.62
15/05/2021	4	3.00	0.75	6	1.50	0.67
21/05/2021	5	4.25	0.85	11	2.20	0.72
23/05/2021	2	8.67	4.33	5	2.50	0.37
28/05/2021	1	1.17	1.17	10	10.00	0.90
29/05/2021	4	3.58	0.90	5	1.25	0.58
30/05/2021	5	2.75	0.55	10	2.00	0.78
31/05/2021	2	7.75	3.88	8	4.00	0.51
	121	57.88	0.48	108	0.89	0.65

Nota: Elaboración propia según registros de la empresa JAR agregados

En la tabla anterior, se presentan los datos correspondientes: al TTF (tiempo total de fallas convertido en horas):57.88, Horas OP:108 (horas de operación). De los datos y registros de la maquinaria pesada de la empresa. Teniendo respecto al sistema una fiabilidad de 0.89 horas/falla, una mantenibilidad de 0.48 horas/falla y una disponibilidad del 65%.

El valor de la OEE permite clasificar el equipo de maquinaria pesada analizado, con respecto a las mejores de su clase y que ya han alcanzado el nivel de excelencia.

Tabla 23.**Escala de Valores OEE**

Escala	Rango	Descripción	Nivel de competitividad
OEE < 65%	Inaceptable	Se producen importantes pérdidas económicas	Muy baja competitividad
65% < OEE < 75%	Regular	Aceptable sólo si se está en proceso de mejora. Pérdidas económicas	Baja competitividad
75% < OEE < 85%	Aceptable	Continuar la mejora para superar el 85 % y avanzar hacia la World Class. Ligeras pérdidas económicas	Competitividad ligeramente baja
85% < OEE < 95%	Buena	Entra en Valores World Class	Buena competitividad
OEE > 95%	Excelencia	Valores World Class	Excelente competitividad

Nota: Valores World Class

La disponibilidad de la maquinaria pesada actual es de 65% considerada regular, es decir que la empresa presenta una baja competitividad, se considera este nivel si se está en proceso de mejora continua. La empresa presenta pérdidas económicas elevadas. Podemos concluir que la disponibilidad de las unidades de maquinaria pesada de la empresa se encuentra por debajo del rango de excelencia 97% - 99%.

Evaluación y cálculo del rendimiento del pool de maquinarias:

Tabla 24.

Rendimiento Pre Test

Registro	HORAS TRABAJADAS	HORAS SEMANALES	RENDIMIENTO
Semana 1	22	48	46%
Semana 2	15	48	31%
Semana 3	12	48	25%
Semana 4	12	48	25%
Semana 5	16	48	33%
Semana 6	12	48	25%
Semana 7	11	48	23%
Semana 8	12	48	25%
Semana 9	10	48	21%
Semana 10	15	48	31%
Semana 11	10	48	21%
Semana 12	22	48	46%
TOTAL, HORAS	169	576	29%

Nota: Elaboración propia según registros de la empresa JAR agregados

Como se observa en la tabla anterior el total de horas trabajadas es de 169, el rendimiento actual del pool de maquinarias es del 29% del total de horas semanales mínimas (576).

4.6. Evaluación de procesos relacionados al plan de mantenimiento.

En la siguiente tabla se detalla las observaciones realizadas en relación a asignación de las unidades de maquinaria pesada a un plan general de mantenimiento, el control de lubricaciones, la realización de inspecciones y asimismo la realización del mantenimiento de las u maquinaria pesada de la empresa. La recolección de información se llevó en un periodo de 2 meses.

Tabla 25.

Evaluación de procesos según plan de mantenimiento -PRE TEST

N.º	Maquinaria pesada	Plan de mantenimiento		Lubricación		Inspecciones preventivas		Mantenimiento general		
		Asignado	Mo asignado	Realizado	No realizado	Realizado	No realizado	Realizado	No realizado	
1	CAT-001	Cargador frontal	1	0	1	0	1	0	1	0
2	CAT-002	Cargador frontal	1	0	0	1	1	0	1	0
3	CAT-003	Cargador frontal	1	0	1	0	1	0	1	0
4	CAT-004	Cargador frontal	1	0	0	1	1	0	1	0
5	CAT-005	Cargador frontal	1	0	0	1	1	0	1	0
6	KOM-001	Cargador frontal	0	1	0	1	0	1	0	1
7	KOM-002	Cargador frontal	0	1	0	1	0	1	0	1
8	KOM-003	Cargador frontal	0	1	1	0	1	0	0	1
9	KOM-004	Cargador frontal	0	1	1	0	1	0	1	0
10	RET-001	Retroexcavadora	1	0	1	0	0	1	1	0
11	RET-002	Retroexcavadora	0	1	1	0	0	1	0	1
12	RET-003	Retroexcavadora	0	1	0	1	1	0	0	1
13	ROD-004	Rodillo	0	1	1	0	1	0	0	1
14	ROD-004	Rodillo	1	0	1	0	0	1	0	1
15	MOT-001	Motoniveladora	1	0	0	1	0	1	0	1
16	MOT-002	Motoniveladora	1	0	0	1	0	1	0	1
TOTAL			9	7	8	8	9	7	7	9

Nota: Elaboración propia según registros de la empresa JAR agregados

A continuación, se detalla el % de cumplimiento de las actividades propuestas como pilares de la propuesta de mantenimiento preventivo.

Tabla 26. %

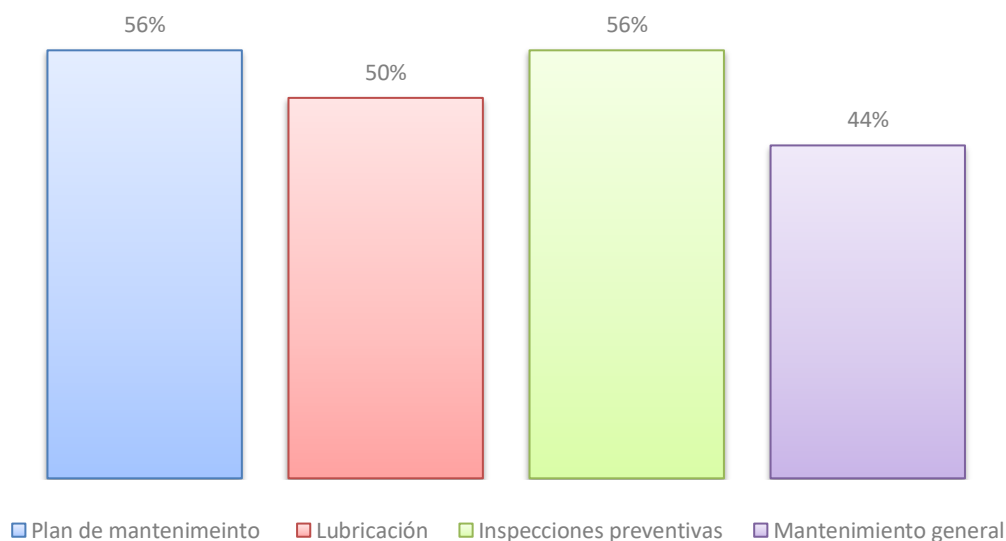
de cumplimiento criterios de evaluación -PRE TEST

Proceso	Maquinaria	Total unidades	cumplimiento
1 Plan de mantenimiento	MPM	9	56%
2 Lubricación	LR	8	50%
3 Inspecciones preventivas	IR	9	56%
4 Mantenimiento general	MR	7	44%

Nota: Elaboración propia según registros de la empresa JAR agregados

Figura 11.

Cumplimiento de procesos plan de mantenimiento preventivo -PRE TEST



Nota: Elaboración propia según registros de la empresa JAR agregados

Como observamos en la figura anterior del 100 % (16) de unidades de maquinaria pesada el porcentaje de cumplimiento en relación a MPM es de 56% Plan de mantenimiento, LR (50%) Lubricación; IR (56%) Inspecciones preventivas, MR (44%) Mantenimiento general.

Tabla 27.

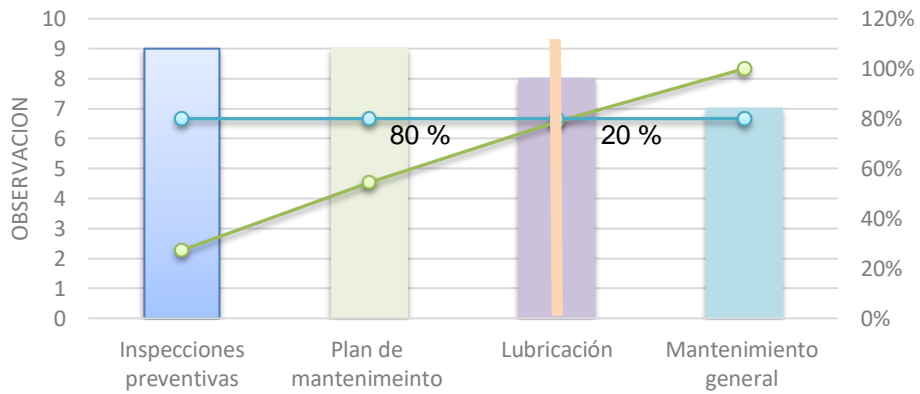
Diagrama de Pareto % de cumplimiento criterios de evaluación

ACTIVIDAD	Actividad	PORC %	PORC ACUM%	80-20
Inspecciones preventivas	9	27%	27%	80%
Plan de mantenimiento	9	27%	55%	80%
Lubricación	8	24%	79%	80%
Mantenimiento general	7	21%	100%	80%
TOTAL	33	100%		

Nota: Elaboración propia según registros de la empresa JAR agregados

Figura 12.

Diagrama de Pareto importancia de procesos plan de mantenimiento



Nota: Elaboración propia según registros de la empresa JAR agregados

En la figura anterior, se muestra el diagrama de Pareto 80-20, dentro del 80% podemos identificar que los principales pilares en los que se debería desarrollar el plan de mantenimiento son el desarrollo de inspecciones preventivas y la ejecución correcta del plan de mantenimiento y en el 20% está relacionado la lubricación y mantenimiento general.

Tabla 28.

Evaluación de procesos según plan de mantenimiento -POS TEST

N.º	Maquinaria pesada	Plan de mantenimiento		Lubricación		Inspecciones preventivas		Mantenimiento general		
		Asignado	Mo asignado	Realizado	No realizado	Realizado	No realizado	Realizado	No realizado	
1	CAT-001	Cargador frontal	1	0	1	0	1	0	1	0
2	CAT-002	Cargador frontal	1	0	1	0	1	0	1	0
3	CAT-003	Cargador frontal	1	0	1	0	1	0	1	0
4	CAT-004	Cargador frontal	1	0	1	0	1	0	1	0
5	CAT-005	Cargador frontal	1	0	0	1	1	0	1	0
6	KOM-001	Cargador frontal	1	0	0	1	1	0	1	0
7	KOM-002	Cargador frontal	1	0	0	1	1	0	0	1
8	KOM-003	Cargador frontal	0	1	1	0	1	0	1	0
9	KOM-004	Cargador frontal	0	1	1	0	1	0	1	0
10	RET-001	Retroexcavadora	1	0	1	0	0	1	0	0
11	RET-002	Retroexcavadora	1	0	1	0	0	1	0	1
12	RET-003	Retroexcavadora	0	1	1	0	0	1	1	0
13	ROD-004	Rodillo	0	1	1	0	0	1	0	1
14	ROD-004	Rodillo	1	0	1	0	0	1	1	0
15	MOT-001	Motoniveladora	0	1	0	1	0	1	1	0
16	MOT-002	Motoniveladora	0	1	0	1	1	0	0	1
TOTAL			10	6	11	5	10	6	11	4

Nota: Elaboración propia según registros de la empresa JAR agregados

Tabla 29.

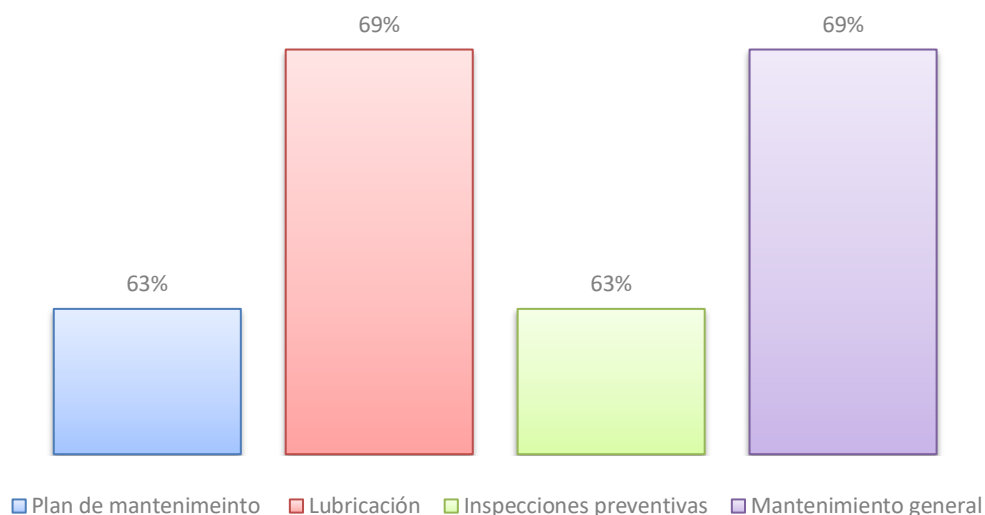
% de cumplimiento criterios de evaluación -POS TEST

Proceso	Maquinaria	Unidades asignadas	% cumplimiento
1 Plan de mantenimiento	MPM	10	63%
2 Lubricación	LR	11	69%
3 Inspecciones preventivas	IR	10	63%
4 Mantenimiento general	MR	11	69%

Nota: Elaboración propia según registros de la empresa JAR agregados

Figura 13.

Cumplimiento de procesos plan de mantenimiento preventivo -POS TEST

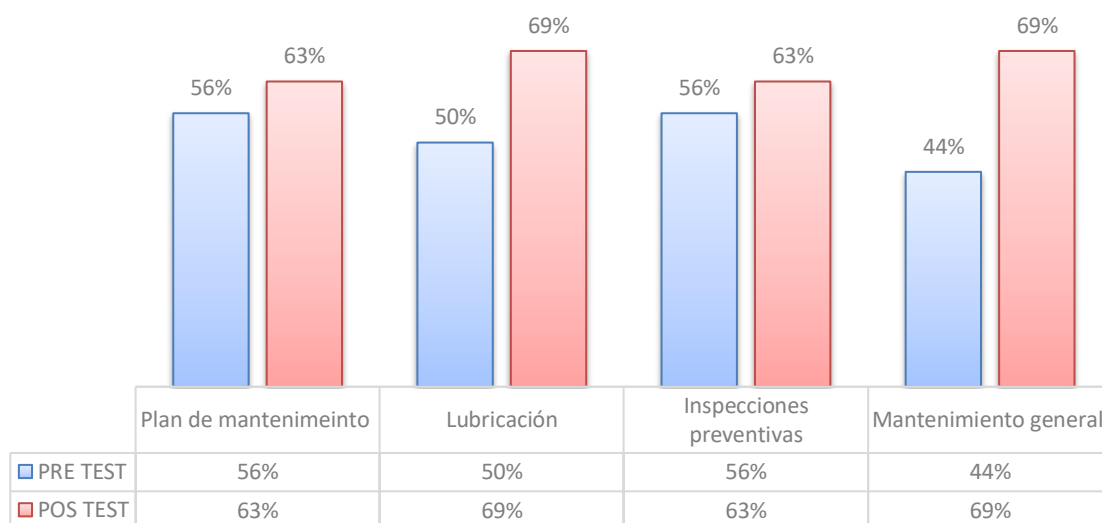


Nota: Elaboración propia según registros de la empresa JAR agregados

Como observamos en la figura anterior del 100 % (16) de unidades de maquinaria pesada el porcentaje de cumplimiento en relaciona MPM es de 63% Plan de mantenimiento, LR 69% Lubricación; IR 63% Inspecciones preventivas, MR 69% Mantenimiento general.

Figura 14.

Comparación de procesos plan de mantenimiento preventivo – PRE y POS TEST



Nota: Elaboración propia según registros de la empresa JAR agregados

Tabla 30.

% de variación de cumplimiento criterios de evaluación – PRE y POS TEST

Proceso		Pre test	Pos test	VAR %	
		% cumplimiento	% cumplimiento		
1	Plan de mantenimiento	MPM	56%	63%	12%
2	Lubricación	LR	50%	69%	38%
3	Inspecciones preventivas	IR	56%	63%	12%
4	Mantenimiento general	MR	44%	69%	56%

Nota: Elaboración propia según registros de la empresa JAR agregados

Como se observa en la tabla anterior posterior al proceso de implementación y análisis de el plan de mantenimiento preventivo de la maquinaria pesada de la empresa en relación a la aplicación de un plan mantenimiento existe un incremento 12%, en relación al proceso de lubricación el incremento es de 38%, el desarrollo de inspecciones preventivas presenta un incrementó de 12% y en relación al mantenimiento general de la empresa existe un incremento significativo del 56%; repercutiendo en la disponibilidad y rendimiento de la maquinaria de la empresa.

Evaluación de procesos complementarios del mantenimiento según metodología 5S.

La metodología 5S mejora las relaciones interpersonales y ayuda en la gestión de crisis cuando es necesario. La metodología 5S es una filosofía de trabajo marcada por la cultura japonesa. Se trata de un método pensado para dar orden y sentido a las dinámicas de trabajo, atendiendo situaciones de desorganización (Ver Anexo 2).

Tabla 31.

Diagnostico situacional Metodología 5S

Evaluación metodología 5s			
Id	Nivel de cumplimiento	post	pre
S1	Clasificar (Seiri)	60%	40%
S2	Ordenar (Seiton)	80%	50%
S3	Limpiar (Seiso)	60%	40%
S4	Estandarizar (Seiketsu)	90%	50%
S5	Disciplinar (Shitsuke)	80%	50%
Puntuación 5S		74%	46%

Nota: Resultados evaluación metodología 5S- aplicada en la empresa JAR agregados

Como se observa en la tabla anterior, durante la aplicación del pre test de la metodología de las 5S se determinó que el nivel implementación en el área de mantenimiento de la empresa del 46%, mientras que en el pos test es de 74%; se concluye que la implementación de las 5s aún no se encuentra implantadas antes del desarrollo de propuesta de mejora.

Tabla 32.

Nivel de cumplimiento Metodología 5S

Escala	Cumplimiento	Pre test	Pos test
76% - 100%	Adecuado	0%	0%
51%-75%	Satisfactorio	0%	74%
21%-50%	Deficiente	46%	0%
0%-20%	Inadecuado	0%	0%

Nota: Resultados evaluación metodología 5S- aplicada en la empresa JAR agregados

Durante el proceso de recolección de información se determinó que el desarrollo de la metodología de las 5S es deficiente (46%), posterior al desarrollo de políticas de mejora del proceso de mantenimiento es satisfactorio (74%).

4.2 RESULTADO DEL OBJETIVO ESPECIFICO N°2

Diseñar el Plan de mantenimiento preventivo de la maquinaria pesada en la empresa JAR Agregados y Servicios E.I.R.L.; elaborada según la metodología TPM.

4.2.1. Propuesta de mantenimiento preventivo

Durante la gestión adecuada de la maquinaria pesada, es importante conocer el funcionamiento y operación, para poder incrementar su rendimiento, la reducción de costos de servicios de mantenimiento. La adecuada implementación de un plan de mantenimiento preventivo es exitosa, cuando las personas que estén involucradas en él, como los operarios, encargados del mantenimiento de las mismas, persigan el fin del cumplimiento de las recomendaciones dadas, tanto por el fabricante como el de personas con experiencia. Se considera que la implementación un sistema de gestión de mantenimiento preventivo de las unidades de maquinaria pesada de la empresa JAR AGREGADOS, permitirá el incrementó, del rendimiento del Pool de Maquinaria pesada en la empresa, la presente propuesta se sustenta en las necesidades de cambio en la estructura de la empresa, lo que permitirá una reducción de costos relacionadas al mantenimiento de la maquinaria.

4.2.2. Mejora continua de los procesos

La mejora continua es un proceso mejora los productos, servicios y procesos de una organización mediante una actitud general, la cual configura la base para asegurar la estabilización de los circuitos productivos y una continuada detección de errores o áreas de mejora.

Para dar inicio al proceso de la mejora continua se debe identificar el principal problema, estos problemas identificados en la actualidad son los que afectan la disponibilidad y rendimiento del Pool de maquinaria pesada que afecta la

rentabilidad de la empresa. El proceso de implementación de la mejora continua afecta los siguientes procesos:

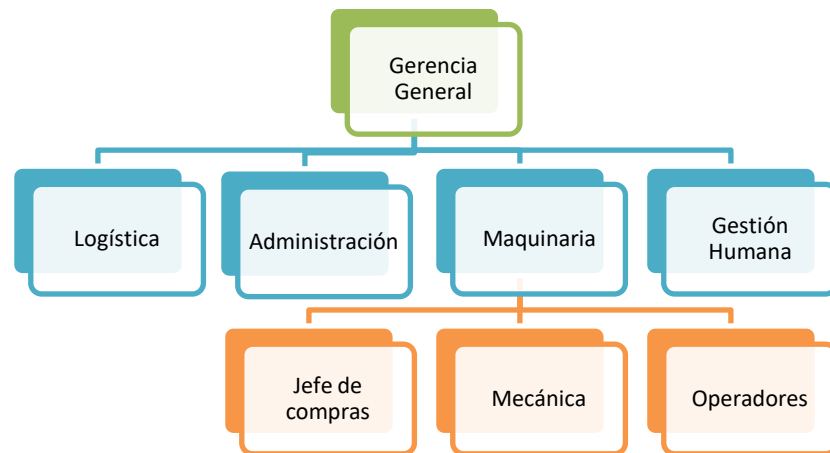
- I. La nueva estructura funcional debe definir el tema y a que áreas afecta la implementación, asimismo buscar que todo el personal esté involucrado en el proceso.
- II. El análisis situacional permitirá la identificación de las pérdidas asociada con el problema para eso se debe investigar los historiales de las fallas, reporte de paradas, etc.
- III. Establecer las condiciones básicas que aseguren el funcionamiento correcto de la maquinaria pesada.
- IV. Es importe poder identificar las causas de la deficiencia y el deterioro acelerado de la maquinaria pesada.
- V. La asignación de recursos que permitan poder corregir el estado de la mantenibilidad existente en el pool de maquinaria de la empresa.

4.2.3. Estructura organizacional

A continuación, se presenta un organigrama estructural para la empresa, que va acorde a las necesidades según las actividades incurridas en el proceso del mantenimiento preventivo. De igual forma es importante recalcar que el personal asignado al área de mantenimiento de la empresa, debe estar calificado, especializado en el proceso operativo de mantenimiento.

Figura 15.

Organigrama propuesto empresa JAR Agregados -Cajamarca.



Nota: elaboración según diagnóstico situacional de la empresa JAR agregados

4.2.4. Objetivos de la propuesta

Objetivo general

- A. Desarrollar una propuesta de un plan de mantenimiento preventivo para la maquinaria en la empresa JAR Agregados - Cajamarca.
- B. Capacitar al personal en la operación, la reparación y el mantenimiento de la diferente maquinaria pesada en funcionamiento.

Objetivos específicos

- A. Asistencia en la resolución de los problemas técnicos y administrativos que permitirán el incremento del rendimiento de la maquinaria pesada.
- B. Evitar el deterioro que sufre la maquinaria pesada por falta de mantenimiento.

4.2.5. Situación actual de la maquinaria

Se identificaron los principales problemas por los que atraviesa el área de mantenimiento de la empresa JAR agregados, los cuales se describen a continuación: Problemas mecánicos en el sistema de transmisión, hidráulicos, motor; Inadecuado control de repuestos; Falta de capacitación en maniobrabilidad y operatividad de la maquinaria pesada.

La propuesta se basa en el desarrollo e implementación de la metodología TPM - TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE. El TPM es una filosofía de mantenimiento cuyo objetivo es eliminar las pérdidas en producción debidas al estado de los equipos, mantener los equipos en disposición para producir a su capacidad máxima productos de la calidad esperada, sin paradas no programadas. Esto supone: cero averías, cero tiempos muertos, cero defectos achacables a un mal estado de los equipos, Sin pérdidas de rendimiento o de capacidad productiva debidos al estado de la maquinaria pesada.

El mantenimiento ha sido visto tradicionalmente con una parte separada y externa al proceso productivo. TPM emergió como una necesidad de integrar el área de mantenimiento y el de operación para mejorar el rendimiento y disponibilidad de la maquinaria. En una empresa en la que TPM se ha implantado toda la organización trabaja en el mantenimiento y en la mejora de los equipos.

Desde la filosofía del TPM se considera que una máquina parada para efectuar un cambio, una máquina averiada, una máquina que no trabaja al 100% de su capacidad o que fabrica productos defectuosos está en una situación intolerable que produce pérdidas a la empresa. La máquina debe considerarse improductiva en todos esos casos y deben tomarse las acciones correspondientes.

Durante la etapa del diagnóstico situacional el cual fue desarrollado bajo la TPM, el que fue aplicado con la finalidad de poder brindar una solución adecuada a los problemas identificados durante esta etapa de la investigación, donde se analizaron la criticidad de los equipos y de las fallas, se elaboró el diagrama Pareto y un análisis de fallas, que permitió poder llegar a la raíz de los mismos y además para tener un panorama general de la situación.

Se presentan los datos correspondientes Pos Test: al TTF (tiempo total de fallas convertido en horas):10.18, Horas OP:34 (horas de operación). De los datos y registros de la maquinaria pesada de la empresa. Teniendo respecto al sistema una fiabilidad de 0.30 horas/falla, una mantenibilidad de 0.09 horas/falla y una disponibilidad del 77%.

Se presentan los datos correspondientes Pre Test: al TTF (tiempo total de fallas convertido en horas):57.88, Horas OP:108 (horas de operación). De los datos y registros de la maquinaria pesada de la empresa. Teniendo respecto al sistema una fiabilidad de 0.89 horas/falla, una mantenibilidad de 0.48 horas/falla y una disponibilidad del 65%.

4.2.6. Metodología TPM

Una de las principales características de implementar TPM - TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE, es la promoción del trabajo en equipo, con la finalidad de cumplir con los objetivos en relación al mantenimiento preventivo y tenido como resultado la mejora de los indicadores de mantenibilidad y disponibilidad del pool de maquinaria; para cumplir el programa de TPM - TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE, se debe seguir las siguientes etapas básicas que se detallan a continuación:

Diagnostico situacional según la metodología TPM

En la actualidad la empresa, busca alternativas de mejora que le permita poder cumplir con sus indicadores financieros y de rentabilidad, al contar con una disponibilidad de sus equipos pesados inferior al 65% considerada deficiente, para obtener incrementar la disponibilidad o rendimiento de la maquinaria, es necesario proponer un programa TPM - TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE.

Difusión metodología TPM

Con la finalidad de difundir el TPM, se coordinó con la gerencia de la empresa, se permita poder capacitar al personal asignado al área de mantenimiento en materia de la metodología TPM - TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE; el proceso de capacitación tendrá una duración de 2 meses, siendo un proceso permanente, el cual tendrá un proceso de evaluación y retroalimentación constante.

Tabla 33.

Metodología TPM – Estrategia de difusión

		Semana de capacitación							
Descripción		1	2	3	4	5	6	7	8
1	Diseño de la estrategia de difusión metodología TPM	■							
2	Diseño y elaboración del material de difusión		■						
3	Implementación de material didáctico			■					
4	Realización de charlas informativas				■				
5	Evaluación de metodología TPM					■			
6	Retroalimentación de metodología TPM						■		

Nota: elaboración propia

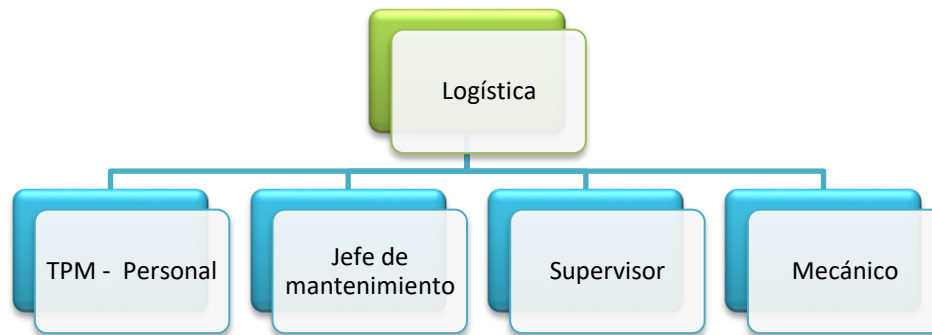
Durante el proceso de difusión de la metodología TPM se utilizaron los diversos medios didácticos que facilitaron el desarrollo de los procesos como son: pizarra, resumen e informes de la metodología TPM, medios audiovisuales, desarrollado en el área administrativa de la empresa. El proceso de capacitación a permitido dar a conocer a los encargados del área administrativa de adquisiciones; los principales problemas que afectan e inciden en la disponibilidad y rendimiento de la maquinaria pesada, y como a la implementación del TPM permite mejorar y corregir dichos problemas. El proceso de difusión de la metodología TPM fue desarrollado bajo los siguientes parámetros como son: Introducción y generalidades, características del mantenimiento preventivo, responsabilidades y funciones del personal, indicadores de calidad, cada uno de los temas conto con talleres de trabajo para reforzar lo aprendido.

Definición de equipos de trabajo

A través de la gerencia general y en coordinación con el área de logística del área se establecieron las necesidades y las características del personal para el desarrollo de la metodología TPM, asimismo se procedió a establecer los principales grupos de trabajo que permitan la mejora continua del área de mantenimiento. En la siguiente figura se detalla la propuesta del personal necesario para la implementación de la metodología TPM, de igual forma el área de dependencia.

Figura 16.

Equipos de trabajo



Nota: elaboración propia

El objetivo principal del personal -TPM; es identificar y dar solución a los problemas que se presenten en los equipos de trabajo. El responsable de los equipos de trabajo es quien dirigirá cada una de las actividades del equipo TPM. A continuación, se detalla, las atribuciones y responsabilidades del personal involucrado en el proceso de mantenimiento preventivo:

- ✓ Supervisión de toda la maquinaria.
- ✓ Llevar el control de gastos de combustibles y lubricantes de la maquinaria.
- ✓ Llevar el control de los neumáticos de la maquinaria o accesorios de rodamiento.
- ✓ Supervisar los proyectos de construcción y mantenimiento.

Tabla 34.

Personal TPN – responsabilidades

Personal	Actividades o responsabilidades
Inspector de maquinaria	<ul style="list-style-type: none">- Administrar las actividades que se realizan en la sección de maquinaria.- Coordinar con los jefes de zona la programación de los trabajos con maquinaria.- Distribuir las actividades con los operadores.- Evaluar solicitudes de trabajo- Supervisar toda la maquinaria que se encuentren trabajando en los proyectos.
Encargado de inventarios	<ul style="list-style-type: none">- Llevar el control de la maquinaria que se encuentra trabajando en el campo.- Llevar el control del inventario anual de maquinaria.- Llevar el control de movimientos y traslados de la maquinaria.

Nota: elaboración propia

Objetivos de metodología TPM

Los principales objetivos de implementar TPM - TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE en el área de mantenimiento son:

1. La mejora de la gestión de la planificación del mantenimiento preventivo.
2. Fomentar nuevas estrategias que permitan la capacitación constante del personal asignado al área de mantenimiento.
3. Establecer estándares sobre los cuales se realice el mantenimiento preventivo.
4. Optimizar los procesos del mantenimiento. preventivo basado en la metodología TPM.

4.2.7. Metodología LEMIS

La metodología LEMIS describe de forma organiza las respectivas actividades que se deben realizar en el mantenimiento de equipos y maquinaria. Estas actividades están clasificadas de la siguiente manera: Lubricación, Eléctricas, Mecánicas, Instrumentación, seguridad. Para fines de este trabajo se utilizarán las siguientes actividades principales:

Tabla 35.

Lubricación

Actividad	Código
Cambio de aceite	L-01
Revisión del nivel y fugas de aceite	L-02
Revisión y lubricación de rodamientos	L-03
Engrase y lubricación	L-04

Nota: elaborado según metodología LEMIS

Tabla 36.

Eléctricas

Actividad	Código
Revisión de motor eléctrico	E-01
Revisión tarjeta electrónica	E-02
Revisión de voltaje y amperaje	E-03
Revisión del estado de los cables y general	E-04

Nota: elaborado según metodología LEMIS

Tabla 37.

Mecánicas

Actividad	Código
Cambio filtro de combustible	M-01
Revisión y/o cambio filtro de aceite	M-02
Revisión y/o cambio filtro de aire	M-03
Limpieza general	M-04

Nota: elaborado según metodología LEMIS

Tabla 38.

Instrumentación

Actividad	Código
Calibración de presostato, manómetro y válvula de seguridad	I-01
Comprobación de presión de servicio	I-02

Nota: elaborado según metodología LEMIS

Tabla 39.

Seguridad

Actividad	Código
Inspección de elementos de protección personal	S-01
Limpieza del taller	S-02

Nota: elaborado según metodología LEMIS

4.2.8. Formatos propuestos

Tabla 40.

Guía de control de mantenimiento (50 hrs.)

FICHA DE MANTENIMIENTO - REPORTE DE MANTENIMIENTO SEMANAL (CADA 50 HRS.)

HORÓMETRO: _____ FECHA: _____

MÁQUINA: _____ MODELO: _____ SERIE: _____

DESCRIPCIÓN: BUENO AJUSTADO NECESITA REPARACIÓN

I. Check list

Actividad		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
01	Revisar nivel de aceite de la transmisión			
02	Revisar nivel de aceite de los mandos finales			
03	Revisar nivel de aceite de embragues direccionales			
04	Revisar nivel de aceite del motor			
05	Revisar nivel de aceite del sistema hidráulico			
06	Revisar las terminales y el nivel de agua de la batería			
07	Revisar nivel de aceite del tándem			
08	Revisar nivel de aceite de la caja de circulo			
09	Revisar las condiciones del turbo cargador			
10	Revisar el sistema de enfriamiento			
11	Revisar los rodajes, zapatas, y pernos			
12	Revisar tensión de las cadenas			
13	Drenar el agua de los filtros de combustible			
14	Drenar el agua y la basura del tanque de combustible			
15	Limpiar el pre filtro del purificador de aire			
16	Revisar las fajas del ventilador y alternador			
17	Lubricar las puntas de engrase			
18	Revisar visualmente los implementos (Fugas de aceite, agua, partes rotas, etc.)			
19	Otros:			

II. Observaciones complementarias:

III. Consumo de lubricantes en servicio

LUBRICANTES	LITROS	GALONES
ACEITE DE MOTOR		
ACEITE DE TRANSMISION		
ACEITE HIDRÁULICO		
ACEITE DE MANDOS FINALES		
COMBUSTIBLE		
GRASA		
OTROS		

Firma de responsable:

Tabla 41.

Guía de control de mantenimiento (250 hrs.)

**FICHA DE MANTENIMIENTO - REPORTE DE MANTENIMIENTO
SEMANAL (CADA 250 HRS.)**

HORÓMETRO: _____ FECHA: _____

MÁQUINA: _____ MODELO: _____ SERIE: _____

DESCRIPCIÓN: BUENO AJUSTADO NECESITA REPARACIÓN

I. Check list

	Actividad	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
01	Drenar el agua y la basura del tanque de combustible			
02	Ajustar los tornillos y tuercas del sistema de entrada de aire al manifold			
03	Limpiar la rejilla del tapón del tanque de combustible			
04	Ajustar los frenos direccionales			
05	Limpiar el filtro de aire			
06	Limpiar los tornillos y tuercas de la barra de tiro			
07	Limpiar los tornillos y tuercas de la barra niveladora			
08	Limpiar y aceitar el respirador del embrague principal			
09	Limpiar y aceitar el respirador de los embragues direccionales			
10	Limpiar y aceitar el respirador de la transmisión			
11	Limpiar y aceitar el respirador del motor principal			
12	Cambiar el aceite del motor principal			
13	Cambiar el filtro de aceite del motor principal			
14	Cambiar todos los filtros de Diesel			
15	Cambiar el filtro del sistema hidráulico y su aceite			
16	Engrasar las poleas de ajuste de las fajas			
17	Cambiar el aceite de la transmisión			
18	Cambiar el filtro de la transmisión			
19	Limpiar el filtro magnético de la transmisión			
20	Revisar visualmente los implementos (Fugas de aceite, agua, partes rotas, etc.)			
21	Revisar y ajustar los embragues direccionales			
22	Revisar y ajustar el embrague principal			
23	Revisar y ajustar el sistema hidráulico (Empaques, tuberías, mangueras, etc.)			
24	Revisar los indicadores (Presión de aceite, temperatura, horómetro, etc.)			
25	Limpiar la gabacha			
26	Revisar el nivel de electrolito de la batería			

II. Observaciones complementarias:

III. Consumo de lubricantes en servicio

LUBRICANTES	LITROS	GALONES
ACEITE DE MOTOR		
ACEITE DE TRANSMISION		
ACEITE HIDRÁULICO		
ACEITE DE MANDOS FINALES		
COMBUSTIBLE		
GRASA		
OTROS		

Firma de responsable

Tabla 42.

Guía de control de mantenimiento (100 hrs.)

**FICHA DE MANTENIMIENTO - REPORTE DE MANTENIMIENTO
SEMANAL (CADA 1000 HRS.)**

HORÓMETRO: _____ FECHA: _____

MÁQUINA: _____ MODELO: _____ SERIE: _____

DESCRIPCIÓN: BUENO AJUSTADO NECESITA REPARACIÓN

I. Check list

Actividad		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
01	Engrasar los cojinetes de la varilla del control de los frenos y del embrague			
02	Ajustar las válvulas del motor			
03	Cambiar aceite de la transmisión y lavar el compartimiento			
04	Cambiar aceite del embrague direccional y lavar compartimiento			
05	Limpia el filtro de aire			
06	Engrasar la cruz y la palanca de freno del embrague principal			
07	Ajustar tornillos y tuercas de la cabina			
08	Lubricación de los cojinetes de la horquilla del cilindro de levantamiento			
09	Cambiar aceite hidráulico y lavar compartimiento			
10	Cambiar aceite de los mandos finales			
11	Lubricar las puntas de engrase			
12	Revisar visualmente los implementos (Fugas de aceite, agua, partes rotas, etc.)			
13	Otros			

II. Observaciones complementarias:

III. Consumo de lubricantes en servicio

LUBRICANTES	LITROS	GALONES
ACEITE DE MOTOR		
ACEITE DE TRANSMISION		
ACEITE HIDRÁULICO		
ACEITE DE MANDOS FINALES		
COMBUSTIBLE		
GRASA		
OTROS		

Firma de responsable

Tabla 43.

Ficha individual de maquinaria pesada

FECHA: _____

TIPO DE MÁQUINA	
MARCA	
MODELO	
SERIE	
MOTOR MARCA	
MODELO	
SERIE	

Tabla 46.

Ficha de orden de trabajo

ORDEN DE TRABAJO

Fecha: _____

Lugar de trabajo: _____

No. D.G.C.	TIPO DE MÁQUINA	MARCA	MODELO	HORÓMETRO

1	Motor	11	Sistema hidráulico
2	Sistema de enfriamiento	12	Convertidor
3	Sistema de combustible	13	Transmisión
4	Sistema de lubricación	14	Servo transmisión
5	Sistema eléctrico	15	Mandos finales
6	Sistema de frenos	16	Diferencial delantero
7	Sistema de rodaje	17	Diferencial trasero
8	Sistema de dirección	18	Instrumentos
9	Suspensión	19	Accesorios
10	Cabina	20	Otros

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

RESPONSABLE: _____

Tabla 48.

Ficha de repuestos y lubricantes utilizados

REPUESTOS UTILIZADOS

Fecha: _____

RESPONSABLE: _____

No. D.G.C.	TIPO DE MÁQUINA	MARCA	MODELO	HORÓMETRO

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN REPUESTO	PARTE No.	UNITARIO	TOTAL
			TOTAL	

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN DEL LUBRICANTE	UNITARIO	TOTAL
		TOTAL	

RESPONSABLE: _____

4.2.9. Tableros de control

Los tableros de control son de gran utilidad para llevar, de manera organizada el control de los mantenimientos de cada equipo o máquina. La frecuencia de mantenimiento está sujeta a las propiedades que contiene el aceite que se usa en las máquinas. Con esto se quiere decir que algunos lubricantes son más fuertes que otros, por lo tanto, se puede expandir el tiempo de mantenimiento.

Tabla 49.

Tablero de control propuesto

	Tablero de control								
	Horas	25	50	75	100	125	150	175	200
Actividad									
E-01									
E-02									
E-03									
E-04									
M-01									
M-02									
M-03									
M-04									

Nota: elaboración propia según metodología LEMIS

4.3 RESULTADO DEL OBJETIVO ESPECIFICO N°3 Calcular el índice de disponibilidad de maquinaria pesada en la empresa JAR Agregados y Servicios E.I.R.L. con la implementación del plan de mantenimiento preventivo.

En la tabla siguiente se tienen los datos de las unidades de maquinaria pesada durante el POS TEST, en estado de inoperativas según datos estadísticos en el área de mantenimiento. Se ha determinado un periodo evaluación contemplado desde el 1 de junio a 30 de junio del 2021. Donde se evaluará las Horas de operación de cada una de la maquinaria pesada. Fallas: Número de fallas que se presentaron durante las horas de operación. TTF: Tiempo de duración de fallas hasta ser corregidas en minutos.

Tabla 50.

Cálculo del tiempo de duración de fallas -POS TEST

Fecha de registro	KOM-004			RET-001			RET-002			RET-003			ROD-004			KOM-002			TOTAL		
	Horas	Fallas	TTF	Horas	Fallas	TTF	Horas	Fallas	TTF	Horas	Fallas	TTF	Horas	Fallas	TTF	Horas	Fallas	TTF	Horas	Fallas	TTF(min)
1/07/2021	0	0	0	10	1	70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	1	70
2/07/2021	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	2	30	0	0	0	4	2	30
5/07/2021	2	3	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	80
9/07/2021	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5	10	1	5	10
12/07/2021	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	10	0	0	0	0	0	0	3	1	10
15/07/2021	0	0	0	0	0	0	3	2	95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2	95
21/07/2021	0	0	0	2	3	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	120
23/07/2021	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	40	0	0	0	2	1	40
28/07/2021	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	25	0	0	0	0	0	0	2	2	25
29/07/2021	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	65	0	0	0	1	1	65
30/07/2021	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	90	0	0	0	0	0	0	0	1	90	1
31/07/2021	3	1	65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	65

Nota: Elaboración propia según registros de la empresa JAR agregados

Tabla 51.

Cálculo de la disponibilidad maquinaria pesada -POS TEST

Fecha de registro	Fallas	TTF Horas	Mantenibilidad	Horas OP	Fiabilidad	Disponibilidad
1/07/2021	1	1.17	1.17	10	10.00	0.90
2/07/2021	2	0.50	0.25	4	2.00	0.89
5/07/2021	3	1.33	0.44	2	0.67	0.60
9/07/2021	5	0.17	0.03	1	0.20	0.86
12/07/2021	1	0.17	0.17	3	3.00	0.95
15/07/2021	2	1.58	0.79	3	1.50	0.65
21/07/2021	3	2.00	0.67	2	0.67	0.50
23/07/2021	1	0.67	0.67	2	2.00	0.75
28/07/2021	2	0.42	0.21	2	1.00	0.83
29/07/2021	1	1.08	1.08	1	1.00	0.48
30/07/2021	90	0.02	0.00	1	0.01	0.98
31/07/2021	1	1.08	1.08	3	3.00	0.73
	112	10.18	0.09	34	0.30	0.77

Nota: Elaboración propia según registros de la empresa JAR agregados

En la tabla anterior, se presentan los datos correspondientes: al TTF (tiempo total de fallas convertido en horas):10.18, Horas OP:34 (horas de operación). De los datos y registros de la maquinaria pesada de la empresa. Teniendo respecto al sistema una fiabilidad de 0.30 horas/falla, una mantenibilidad de 0.09 horas/falla y una disponibilidad del 77%.

4.4 RESULTADO DEL OBJETIVO ESPECIFICO N°4 Determinar el rendimiento total de la maquinaria pesada con la implementación del plan de mantenimiento preventivo.

Tabla 52.

Rendimiento Pos Test

Registro	HORAS TRABAJADAS	HORAS SEMANALES	RENDIMIENTO
Semana 1	22	48	46%
Semana 2	18	48	38%
Semana 3	12	48	25%
Semana 4	11	48	23%
Semana 5	15	48	31%
Semana 6	30	48	63%
Semana 7	18	48	52%
Semana 8	26	48	54%
Semana 9	33	48	69%
Semana 10	22	48	46%
Semana 11	12	48	25%
Semana 12	23	48	48%
TOTAL, HORAS	242	576	43%

Nota: Elaboración propia según registros de la empresa JAR agregados

Como se observa en la tabla anterior el total de horas trabajadas es de 249, el rendimiento pos test del pool de maquinarias es del 43% del total de horas semanales mínimas (576).

Tabla 53.

Variación del rendimiento Pre y Pos Test

VAR.	Evaluación Rendimiento			
	Pre	ABS	%	POS
Horas trabajadas	169	73	43%	242
Total	169	73	33%	242

Nota: Elaboración propia según registros de la empresa JAR agregados

Como se observa en la tabla anterior la variación pos test del rendimiento del pool de maquinarias de la empresa presenta un incremento del 43% en comparación al pre test.

Tabla 54.

Proceso de evaluación productividad -Pre Test

N°	Elementos	Tiempos observados (en minutos)				Tiempo promedio	Valoración (%)	Tiempo básico	Suplementos	Tiempo tipo
		T1	T2	T3	T4					
1	Verificar que la maquina se encuentre parada	4	3	3.5	4	3.63	75	2.72	0.35	3.07
2	Retirar la tapa del drenaje del carter	4	5	4.5	5.5	4.75	75	3.56	0.46	4.03
3	Lavar el tapón del carter	4	3.5	4	3	3.63	75	2.72	0.35	3.07
4	instalar nuevamente el tapón	4	3	4	4	3.75	75	2.81	0.37	3.18
5	Retirar la tapa del depósito de aceite	6	3	4	5.5	4.63	75	3.47	0.45	3.92
6	Adicionar el aceite	6	5	6	3	5.00	75	3.75	0.49	4.24
7	Instalar tapa del depósito de aceite	4	3.5	6	4	4.38	75	3.28	0.43	3.71
8	Verificar el nivel de aceite en su respectivo indicador	4	3.8	5	5.5	4.58	75	3.43	0.45	3.88
Tiempo ciclo (Minutos)										29.09

Nota: Elaboración propia

Tabla 55.

Proceso de evaluación productividad -Pos Test

N°	Elementos	Tiempos observados (en minutos)				Tiempo promedio	Valoración (%)	Tiempo básico	Suplementos	Tiempo tipo
		T1	T2	T3	T4					
1	Verificar que la maquina se encuentre parada	4	3	3.5	4	3.63	75	2.72	0.35	3.07
2	Retirar la tapa del drenaje del carter	4	5	4	5	4.50	75	3.38	0.44	3.81
3	Lavar el tapón del carter	4	3	3	3	3.25	75	2.44	0.32	2.75
4	instalar nuevamente el tapón	4	3	4	4	3.75	75	2.81	0.37	3.18
5	Retirar la tapa del depósito de aceite	5	3	3	5	4.00	75	3.00	0.39	3.39
6	Adicionar el aceite	4	5	6	3	4.50	75	3.38	0.44	3.81
7	Instalar tapa del depósito de aceite	4	3	6	4	4.25	75	3.19	0.41	3.60
8	Verificar el nivel de aceite en su respectivo indicador	4	3	5	4	4.00	75	3.00	0.39	3.39
Tiempo ciclo (Minutos)										27.01
Tiempo ciclo original		T0=				29.09				
Tiempo ciclo mejorado		T1=				27.01				
Variación porcentual		VP				-8%				

Nota: Elaboración propia

Como se observa en la tabla anterior existe una reducción del 8% del tiempo del proceso, es decir que se incrementa la productividad en un 8%.

4.5 RESULTADO DEL OBJETIVO ESPECIFICO N°5 Determinar la viabilidad económica del sistema de mantenimiento preventivo para la mejora del rendimiento de la maquinaria pesada en la empresa JAR Agregados y Servicios E.I.R.L.

La propuesta de implementación de un plan de mantenimiento preventivo para el área de mantenimiento preventivo, consta de la siguiente inversión.

I. Personal

Tabla 56.

Inversión personal

Recursos	Tiempo- meses	Cantidad	Remuneración	Costo total s/.
PERSONAL				
Ing. Industrial	12	1	S/1,800.00	S/21,600.00
Asistente mecánico	12	1	S/1,500.00	S/18,000.00
TOTAL				S/39,600.00

Nota: elaboración propia

II. Insumos

Tabla 57.

Inversión insumos

Recursos	Cantidad	Costo unitario s/.	Costo total s/.
Aceite de motor	10 unidades	S/270.00	S/2,700.00
Filtro de aceite	10 unidades	S/120.00	S/1,200.00
Filtros de inyección	10 unidades	S/90.00	S/900.00
Filtros de hidráulico	10 unidades	S/170.00	S/1,700.00
Filtro de transmisión	10 unidades	S/160.00	S/1,600.00
Aceite de mandos finales	10 unidades	S/280.00	S/2,800.00
Aceite de transmisión	10 unidades	S/400.00	S/4,000.00
Aceite de diferenciales	10 unidades	S/400.00	S/4,000.00
Filtro de aire secundario	10 unidades	S/160.00	S/1,600.00
Aceite hidráulico	10 unidades	S/375.00	S/3,750.00
Trapos industriales	10 unidades	S/10.00	S/100.00
Herramientas	10 kit	S/200.00	S/2,000.00
Filtro de aire primario	10 unidades	S/250.00	S/2,500.00
TOTAL			S/28,850.00

Nota: elaboración propia

III. Equipos informáticos

Tabla 58.

Inversión equipos informáticos

Recursos	Cantidad	Costo unitario s/.	Costo total s/.
Impresora	1	S/450.00	S/450.00
Laptop Core i5	1	S/1,600.00	S/1,600.00
Sistema de mantenimiento	1	S/15,000.00	S/15,000.00
		TOTAL	S/17,050.00

Nota: elaboración propia

IV. Resumen de inversión

Tabla 59.

Resumen de inversión

Descripción	Costo total s/.
Equipos y mobiliarios	S/17,050.00
insumos	S/28,850.00
Personal	S/39,600.00
Total	S/85,500.00

Nota: elaboración propia

La inversión anual de del plan de mantenimiento se estima en un valor S/85,500.00.

IV. Estado de resultados

El estado de resultados, estado de rendimiento económico o estado de pérdidas y ganancias, es un estado financiero que muestra ordenada y detalladamente la forma de cómo se obtuvo el resultado del ejercicio durante un periodo determinado

Tabla 60.

Estado de resultados

Descripción	0	1	2	3	4	5	6
Ingresos		S/. 699,000.00	S/. 712,980.00	S/. 727,239.60	S/. 741,784.39	S/. 756,620.08	S/. 779,318.68
Costos		S/. 538,560.00	S/. 538,560.00	S/. 538,560.00	S/. 538,560.00	S/. 538,560.00	S/. 538,560.00
Margen de contribución		S/. 160,440.00	S/. 174,420.00	S/. 188,679.60	S/. 203,224.39	S/. 218,060.08	S/. 240,758.68
Costos fijos		S/. 5,280.00	S/. 5,280.00	S/. 5,280.00	S/. 5,280.00	S/. 5,280.00	S/. 5,280.00
Utilidad antes de impuestos		S/. 155,160.00	S/. 169,140.00	S/. 183,399.60	S/. 197,944.39	S/. 212,780.08	S/. 235,478.68
Utilidad antes de impuestos		S/. 155,160.00	S/. 169,140.00	S/. 183,399.60	S/. 197,944.39	S/. 212,780.08	S/. 235,478.68
Impuestos	30%	S/. 46,548.00	S/. 50,742.00	S/. 55,019.88	S/. 59,383.32	S/. 63,834.02	S/. 70,643.60
Utilidad Neta antes de dividendos		S/. 108,612.00	S/. 118,398.00	S/. 128,379.72	S/. 138,561.07	S/. 148,946.06	S/. 164,835.08
Dividendos	10%	S/. 10,861.20	S/. 11,839.80	S/. 12,837.97	S/. 13,856.11	S/. 14,894.61	S/. 16,483.51
Utilidad neta después de dividendos		S/. 119,473.20	S/. 130,237.80	S/. 141,217.69	S/. 152,417.18	S/. 163,840.66	S/. 181,318.59

Nota: elaboración propia

V. Flujo de caja libre

En las finanzas corporativas, el flujo de efectivo libre o flujo de efectivo libre para la empresa es la cantidad por la cual el flujo de efectivo operativo de una empresa excede sus necesidades de capital de trabajo y los gastos en activos fijos.

Tabla 61.

Resumen de inversión

Flujos	Flujo de Caja Libre						
	0	1	2	3	4	5	6
Utilidad antes de intereses e impuestos	S/. 155,160.00	S/. 169,140.00	S/. 183,399.60	S/. 197,944.39	S/. 212,780.08	S/. 235,478.68	
Impuestos	-S/. 46,548.00	-S/. 50,742.00	-S/. 55,019.88	-S/. 59,383.32	-S/. 63,834.02	-S/. 70,643.60	
Depreciación	S/. 4,262.50	S/. 8,525.00	S/. 12,787.50	S/. 17,050.00	S/. 21,312.50	S/. 25,575.00	
Flujo de caja operativo	S/. 112,874.50	S/. 126,923.00	S/. 141,167.22	S/. 155,611.07	S/. 170,258.56	S/. 190,410.08	
Inversión en proyecto	S/. 85,500.00						
Flujo de caja de inversión	S/. 85,500.00	-S/. 85,500.00	-S/. 85,500.00	-S/. 85,500.00	-S/. 85,500.00	-S/. 85,500.00	-S/. 85,500.00
Flujo de caja económico	-S/. 85,500.00	S/. 27,374.50	-S/. 41,423.00	S/. 55,667.22	S/. 70,111.07	S/. 84,758.56	S/. 104,910.08
Servicio de la deuda	S/. 0.00	S/. 0.00	S/. 0.00	S/. 0.00	S/. 0.00	S/. 0.00	S/. 0.00
Escudo tributario		S/. 0.00	S/. 0.00	S/. 0.00	S/. 0.00	S/. 0.00	S/. 0.00
Dividendos		-S/. 2,737.45	-S/. 4,142.30	-S/. 5,566.72	-S/. 7,011.11	-S/. 8,475.86	-S/. 10,491.01
Flujo de caja financiero	-S/. 85,500.00	S/. 24,637.05	S/. 37,280.70	S/. 50,100.50	S/. 63,099.97	S/. 76,282.70	S/. 94,419.07

Nota: elaboración propia

VI. Indicadores financieros

- El valor actual neto, también conocido como valor actualizado neto o valor presente neto, cuyo acrónimo es VAN, corresponde al valor presente de los flujos de caja netos originados por una inversión.
- La tasa interna de retorno, tasa interna de rentabilidad o tasa de rentabilidad interna de una inversión es la media geométrica de los rendimientos futuros esperados de dicha inversión
- El período de recuperación de la inversión (PRI) es un indicador que mide en cuánto tiempo se recuperará el total de la inversión a valor presente.

Tabla 62.

Indicadores financieros

VAN	S/106,709.84
TIR	32%

Nota: elaboración propia

5.5. Costo beneficio de la inversión

- El análisis coste/beneficio mide la relación entre el coste por unidad producida de un bien o servicio y el beneficio obtenido

Tabla 63.

Cálculo FNE

Periodo	Inversión	Ingresos	Egresos	FNE
0	-S/. 85,500.00	0	0	S/. 85,500.00
1		S/. 699,000.00	S/. 538,560.00	S/. 160,440.00
2		S/. 712,980.00	S/. 538,560.00	S/. 174,420.00
3		S/. 727,239.60	S/. 538,560.00	S/. 188,679.60
4		S/. 741,784.39	S/. 538,560.00	S/. 203,224.39
5		S/. 756,620.08	S/. 538,560.00	S/. 218,060.08
6		S/. 779,318.68	S/. 538,560.00	S/. 240,758.68

Nota: elaboración propia

Tabla 64.

Cálculo B/C

Ingresos	S/. 3,187,435.43
Costos	S/. 2,345,569.20
C+INV	S/. 2,260,069.20
<hr/>	
B/C	1.41

Conclusiones:

El Valor Actual Neto obtenido es de S/.106,709.84. En cuanto a la Tasa Interna de Retorno es 32%. El Costo Beneficio obtenido es de 1.41, por cada Nuevo Sol invertido en el proyecto, se obtendrá un beneficio de S/. 0.41.

Descripción de causa raíces y monetización de perdida

El principal factor observado en el área de mantenimiento de la empresa son los períodos no productivos debido a la indisponibilidad de maquinaria pesada, existen muchos casos en los que es necesario máquinas de alquiler, solo están disponibles debido a mantenimiento preventivo y no están listas según el requerimiento de los clientes esto debido a una falta de planificación del mantenimiento preventivo. Finalmente, en la actualidad es imperativo automatizar la información de las órdenes de trabajo y las necesidades de repuestos, y materiales, para un mejor control de las órdenes gracias al software de mantenimiento.

Tabla 65.

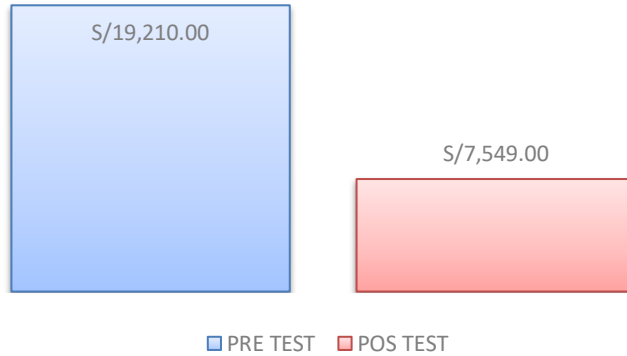
Monetización de pérdidas – según disponibilidad

Unidad	PRE TEST			POS TEST		
	HORAS	PRECIO X HORA	TOTAL, PERDIDAS	HORAS	PRECIO X HORA	TOTAL, PERDIDAS
1 KOM-004	32	S/220.00	S/7,040.00	5	S/220.00	S/1,100.00
2 RET-001	12	S/160.00	S/1,920.00	12	S/221.00	S/2,652.00
3 RET-002	20	S/160.00	S/3,200.00	3	S/222.00	S/666.00
4 RET-003	16	S/160.00	S/2,560.00	6	S/223.00	S/1,338.00
5 ROD-004	11	S/130.00	S/1,430.00	7	S/224.00	S/1,568.00
6 KOM-002	17	S/180.00	S/3,060.00	1	S/225.00	S/225.00
TOTAL			S/19,210.00	S/7,549.00		

Nota: Elaboración propia según registros de la empresa JAR agregados

Figura 17.

Pérdidas económicas periodo de evaluación



Nota: Elaboración propia según registros de la empresa JAR agregados

Tabla 66.

Variación de monetización de pérdidas – según disponibilidad

Perdidas	Monetización de Perdidas mensual			
	Pre Test	ABS	%	Pos Test
	S/19,210.00	-11,661	-61%	S/7,549.00
Total	S/19,210.00	-11,661	-61%	S/7,549.00

Nota: Elaboración propia según registros de la empresa JAR agregados

Como se observa en la tabla anterior la comparación de la variación de pérdidas económicas durante el periodo de evaluación y recolección de información, posterior a la aplicación y desarrollo de un plan de mantenimiento preventivo por parte de la empresa se logra una reducción del 61% o su equivalente en S/. 11,661.00.

4.6. Contrastación de hipótesis.

Se formulan las hipótesis estadísticas:

H1: La implementación de un plan de mantenimiento preventivo incrementara el rendimiento total de la maquinaria pesada en la empresa JAR Agregados y Servicios E.I.R.L,2021.

H0: La implementación de un plan de mantenimiento preventivo no incrementara el rendimiento total de la maquinaria pesada en la empresa JAR Agregados y Servicios E.I.R.L,2021.

Tabla 67.

Prueba de hipótesis T de Student- resultados descriptivos

	Estudio	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Minutos	Pre Test	12	289,42	128,405	37,067
	Pos Test	12	50,92	37,406	10,798

Nota: elaboración propia

Tabla 68.

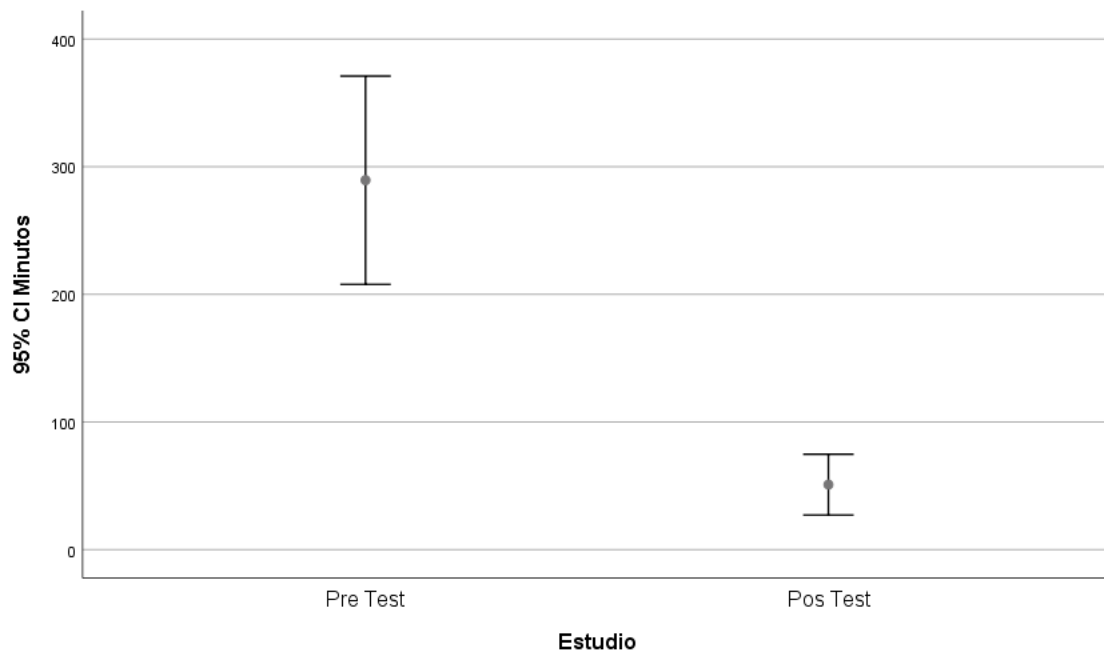
Prueba de hipótesis T de Student

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
								Inferior	Superior	
Minutos	Se asumen varianzas iguales	10,857	,003	6,177	22	,000	238,500	38,608	158,432	318,568

Nota: elaboración propia

Figura 18.

Prueba T de Student - Evaluación de igualdad de varianzas



Nota: elaboración propia

Considerando que el p valor es menor a 0.05 y siendo el nivel si bilateral (0.000) se acepta la hipótesis alternativa es decir que. La implementación de un plan de mantenimiento preventivo incrementara el rendimiento total de la maquinaria pesada en la empresa JAR Agregados y Servicios E.I.R.L,2021.

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. Discusión

Con respecto al objetivo específico N 1: Realizar el diagnostico situacional de la maquinaria pesada en la empresa JAR Agregados y Servicios E.I.R.L.

Al igual que Buelvas y Martínez (2014), en su trabajo de investigación “Elaboración de un plan de mantenimiento preventivo para la maquinaria pesada de la Empresa L&L”. Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma del Caribe, Barranquilla – Colombia. Enfocándose en la detección de posibles falencias antes de un suceso no programado, se establecieron que durante el la aplicación del PRE TEST, se identificaron que la mano de obra y equipos asignados al mantenimiento presenta un total de 63 fallas identificadas (33.33%), seguido por el método o programación 50 fallas (26.46%), la logística y monitoreo presenta 46 fallas claramente identificadas (24.34%) y una relación a los repuestos se identificaron 30 fallas (15.87%). Indicadores como TTF :57.88, Horas OP:108. Respecto a la fiabilidad de 0.89 es de horas/falla, mantenibilidad de 0.48 horas/falla. Estos indicadores presentan un incremento durante el procesos e implementación de la mejora de los procesos TTF :10.18, Horas OP:34. Respecto a la fiabilidad de 0.30 es de horas/falla, mantenibilidad de 0.09 horas/falla.

Con respecto al objetivo específico N 2: Diseñar el sistema de mantenimiento preventivo de la maquinaria pesada en la empresa JAR Agregados y Servicios E.I.R.L.

Al igual que Barrientos (2017), en su trabajo de investigación “Mejora de la gestión de mantenimiento de maquinaria pesada con la metodología AMEF”, Facultad de Ingeniería, Universidad San Ignacio de Loyola, Lima – Perú. En este estudio se propone a reducir el porcentaje de mantenimiento correctivo, tomando medidas preventivas para poder reducir los costos más impactantes y ajustar sus planes a los presupuestos de la organización. La comparación de la variación de pérdidas económicas, posterior a la aplicación y desarrollo de un plan de mantenimiento preventivo por parte de la empresa se logra una reducción del 61% o su equivalente en S/. 11,661.00.

Con respecto al objetivo específico N 3: Calcular el índice de disponibilidad de maquinaria pesada en la empresa JAR Agregados y Servicios E.I.R.L. con la implementación del sistema de mantenimiento preventivo.

Al igual que Añazco y Salazar(2016), en su trabajo de investigación “Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo planificado de máquinas y equipos, para incrementar la rentabilidad en consorcio A&A SRL- Cajamarca- 2016”. Donde se identifica como los principales causantes los métodos inapropiados, fallas en la mano de obra, etc. Por eso busca dar solución a este fenómeno con el compromiso de todas las partes involucradas en las gestiones de mantenimiento. La aplicación del pre test de la metodología de las 5S se determinó que el nivel implementación en el área de mantenimiento de la empresa es deficiente 46%, mientras que en el pos test es de 74% satisfactorio. La disponibilidad de la maquinaria es 65% durante el Pre Test, la disponibilidad de la maquinaria es de 77% durante el Pos Test.

Con respecto al objetivo específico N 4: Determinar la viabilidad económica del sistema mantenimiento preventivo para la mejora del rendimiento de la maquinaria pesada en la empresa JAR Agregados y Servicios E.I.R.L.

La viabilidad económica del sistema de mantenimiento preventivo se realizó a través del método de costeo directo que permite identificar, cuantificar y valorar los costos y beneficios que genera, en un determinado periodo de tiempo. Al igual que Tuesta (2014), en su trabajo de investigación “Plan de mantenimiento para mejorar la disponibilidad de los equipos de la empresa OBRAINSA”, Facultad de Ingeniería Mecánica Energía, Universidad Nacional del Callao, Callao – Perú. Para llevar a cabo esto, se diagnosticó la situación actual de las gestiones de mantenimiento, analizando los indicadores y planes de acción actuales. El Valor Actual Neto obtenido es de S/.106,709.84, por tanto, el proyecto de implementación de mejora de los procesos de mantenimiento. En cuanto a la Tasa Interna de Retorno, el valor obtenido es de 32%, lo cual indica que es superior a la Tasa de Descuento de 10%, es por ello que la implementación de mejora de los procesos de mantenimiento. El Costo Beneficio

obtenido es de 1.41, ello indica que, por cada Nuevo Sol invertido en el proyecto, se obtendrá un beneficio de S/. 0.41. Finalmente, para el indicador financiero PRI se obtuvo 3, lo cual refiere a que el periodo de recuperación de la inversión será de 3 años.

Conclusiones

- Se concluye que existe viabilidad económica para el desarrollo de plan de mantenimiento preventivo: VAN S/.106,709.84; TIR 32%, la relación costo beneficio es de 1.41.
- Se estableció que la disponibilidad inicial de la maquinaria pesada es de 46%, asimismo durante la implementación de la mejora continua de los procesos se incrementó a 77%.
- Se determinaron que las pérdidas económicas de la empresa presentan una reducción del 61% o su equivalente en S/. 11,661.00. posterior al desarrollo e implementación del plan de mantenimiento preventivo.
- Se concluye que la ocurrencia de fallas en la maquinaria pesada el principal factor son mantenimientos inadecuados (8.47%), los tiempos de espera relacionados con el cambio de repuestos, ausencia de un plan preventivo de mantenimiento (6.88%), la falta de repuestos en los almacenes (5.82%), la escasa asignación de recursos (5.29%), la evaluación constante de quipos (4.79%).
- Se concluye que la eficiencia de los procesos de mantenimiento preventivo de la maquinaria pesada presenta un incremento 12%, en relación al proceso de lubricación el incrementó es de 38%, el desarrollo de inspecciones preventivas presenta un incrementó de 12% y en relación al mantenimiento general de la empresa existe un incremento significativo del 56%.

Recomendaciones

- Realizar un Plan de mantenimiento preventivo de maquinaria pesada de la empresa JAR Agregados- Cajamarca, utilizando los procesos de mejora y las metodologías establecidas.
- En futuras investigaciones se recomienda utilizar los formatos, cuadros estadísticos diseñados.
- Implementar el Software que permita automatizar e integrar los procesos de mantenimiento de la empresa.
- Para futuras investigaciones y partiendo de la propuesta del plan de mantenimiento preventivo, se pueden agregar otras variables de recursos tales como costos operativos, horas hombre.

BIBLIOGRAFIA

- Alavedra, C., Gastelu, Y., Méndez, G., Minaya, C., Pineda, B., Prieto, K., & Ríos, K. (2016). Gestión de mantenimiento preventivo y su relación con la disponibilidad de la flota de camiones 730e Komatsu-2013. Lima. Recuperado el 11 de Junio de 2021, de https://revistas.ulima.edu.pe/index.php/Ingenieria_industrial/article/view/529/1354
- Añazco Camus, J., & Salazar Cabanillas, L. (2016). Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo planificado de máquinas y equipos, para incrementar la resntabilidad en consorcio A&A SRL - Cajamarca - 2016. Tesis de grado, Cajamarca - Perú.
- Báez, A., & Caraballo, R. (2004). Desarrollo de un plan de mantenimiento para una industria textil basado en mantenimiento productivo total utilizando un sistema computarizado. Tesis de grado, Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- Barrientos Medina, G. (2017). Mejora de la gestión de mantenimiento de maquinaria pesada con la metodología AMEF. Lima - Perú.
- Buelvas Díaz, C. E., & Martínez Figueroa, K. J. (2014). Elaboración de un plan de mantenimiento preventivo para la maquinaria pesada de la empresa L&L. Tesis de grado, Barranquilla, Colombia.
- Buelvas Díaz, C. E., & Martínez Figueroa, K. J. (2014). Elaboración de un plan de mantenimiento preventivo para la maquinaria pesada de la empresa L&L. Barranquilla, Colombia.
- Campos Barrientos, J. (2018). Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM). Perú: Colegio de Ingenieros del Perú.
- Da Silva, J. (2008). Obtenido de <http://search.proquest.com/docview/199554699?accountid=43847>
- Domenech Roldán, J. M. (2016). Análisis modal de fallas y efectos. Obtenido de DOCPLAYER: <https://docplayer.es/20356359-Calidad-1-jose-manuel-domenech-roldan-profesor-de-ensenanza-secundaria.html>
- Hernández, R. (2018). Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. México: McGRAW-HILL INTERAMERICANA EDITORES, S.A.
- Kardek, A., & Nascif, J. (2002). Mantenimiento, Fucnión y Estratégica. Rio de Janeiro.
- Knezevic, J. (1996). Mantenimiento. España.
- Lafraia, J. (2001). Manual de confiabilidade Mantenabilidade e disponibilidade.
- Lozada, J. (2014). Investigación Aplicada: Definición, Propiedad Intelectual e Industria. Recuperado el 8 de Mayo de 2020, de www.dialnet.unirioja.es
- Lozada, J. (2014). Investigación Aplicada: Definición, Propiedad Intelectual e Industria. Recuperado el 11 de Julio de 2019, de <https://dialnet.unirioja.es>
- Maint, E. (13 de Julio de 2016). Easy Maint. Obtenido de http://easy-maint.net/blog_easymaint/2016/07/13/costo-de-mantenimiento/
- Mora Gutierrez, L. A. (2009). Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM). Ciudad de México: Alfaomega Grupo Editor.

- Pinto, K. (1997). Contratação por Disponibilidade. Sao Paulo.
- Popper, K. (2008). La lógica de la investigación científica (Tercera ed., Vol. III). Madrid: Tecnos.
- Sacristán, Francisco. (2003). Técnicas de Resolución de Problemas. Mexico. Recuperado el 10 de Marzo de 2021, de <https://books.google.com.pe/books?id=ybFi1m8IHTQC&pg=PA80&dq=diagrama+de+causa+y+efecto&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwiKvMa58O3mAhVJKLkGHQDWAcQ6AEILzAB#v=onepage&q=diagrama%20de%20causa%20y%20efecto&f=false>
- Tuesta Yliquin, J. M. (2014). Plan de mantenimiento para mejorar la disponibilidad de los equipos pesados de la empresa Obrainsa. Tesis de grado, Callao, Perú.
- Vargas, P., & Welder, U. (2004). Programa de mantenimiento para la maquinaria pesada de la zona vial 11, de caminos, en el Departamento de Izabal. Tesis de grado, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de operacionalización de variables

Tabla 69.

Matriz de operacionalización de variables

TITULO: PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA INCREMENTAR EL RENDIMIENTO TOTAL DE LA MAQUINARIA PESADA EN LA EMPRESA JAR AGREGADOS Y SERVICIOS E.I.R.L, CAJAMARCA 2021.*								
Problema de investigación	Objetivo general	Hipótesis de la investigación	Variable Independiente	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicador	Escala
¿En qué medida la implementación de un plan de mantenimiento preventivo, incrementará el rendimiento total de la maquinaria pesada en la empresa JAR Agregados y Servicios E.I.R.L,2021?	Implementar un plan de mantenimiento preventivo para incrementar el rendimiento total de la maquinaria pesada en la empresa JAR Agregados y Servicios E.I.R.L.	La implementación de un plan de mantenimiento preventivo incrementara el rendimiento total de la maquinaria pesada en la empresa JAR Agregados y Servicios E.I.R.L,2021.	Plan de mantenimiento preventivo	El mantenimiento preventivo se refiere a aquellas tareas de sustitución hechas a intervalos fijos independientemente del estado del elemento o componente.	Un plan de mantenimiento preventivo para controlar las fallas críticas de las maquinarias pesada considerando el Análisis Modal de Fallas y Efectos (AMFE)	Ejecución de mantenimiento preventivo EMP	$\frac{\text{Ordenes preventivas emitidas}}{\text{Total de ordenes emitidas}}$	Razón continua
						Órdenes de trabajo atendidas ODT	$\frac{\text{Nro orden atendidas}}{\text{Nro de orden vencidas}}$	
	Mean Time Between Failure MTBF					$\frac{\text{Tiempo total de operación en el periodo}}{\text{número total de fallas}}$		
	Tiempo promedio para reparación					$TPPR = \frac{TTF}{N.T.FALLAS}$		
	Costo de Mto x hr trabajada.					$\frac{\text{Total Costo de Mto preventivo}}{\text{Horas trabajadas}}$		
	Costos de mantenimiento preventivos					$\frac{CP}{CTM}$		
	Capacitación del personal del mantenimiento:CPM					$\frac{\sum HH Capacitaciones}{\sum HH Disponible}$		
	Variable dependiente		Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicador	Escala	
	Rendimiento		Representa la propiedad del mantenimiento de acercarse lo más posible a la conservación de la capacidad productiva para alcanzar su	Cantidad porcentual del rendimiento de las maquinarias pesada de la empresa JAR Agregados y Servicios E.I.R.L.	Overall Equipment Effectiveness (OEE)	Disponibilidad * Rendimiento * Calidad	Razón continua	
					Disponibilidad	$\text{Disponibilidad} = \frac{TO}{TPO} \times 100$		
Rendimiento		$\frac{\text{Trabajo útil}}{\text{Trabajo Total}}$						
Calidad		$\frac{\text{Volumen de producción (defectos + reproceso)}}{\text{Volumen de producción}}$						

Nota: Elaboración propia según manual de Investigación UPAO

Anexo 2. Evaluación metodología 5S

Tabla 70.

Formulario de auditoría de rutina 5S- PRE TEST

5S Formulario de auditoria rutinaria	
NOMBRE DE LA EMPRESA	JAR agregados
CIUDAD	CAJAMARCA
CUMPLIMIENTO DE PROCESOS (%)	46.00%

S1: Seiri	DESCRIPCIÓN DE PROCESOS	CUMPLE
Clasificar	¿Hay algún tipo de herramienta, pieza de repuesto, útiles o similar en el entorno de trabajo fuera de su lugar?	Si
	¿Hay materias primas, semi elaborados o residuos en el entorno de trabajo?	No
	¿Hay cosas inútiles que pueden molestar en el entorno de trabajo?	Si
	¿Están todos los objetos de uso frecuente ordenados, en su ubicación y correctamente identificados en el entorno laboral?	No
	¿Están todos los objetos en su ubicación y correctamente identificados en el entorno laboral?	Si
	¿Están todos los elementos de limpieza: trapos, escobas, guantes, productos en su ubicación y correctamente identificados?	Si
	¿Está todo el mobiliario: mesas, sillas, armarios ubicados e identificados correctamente en el entorno de trabajo?	No
	¿Existen equipos inutilizados en el entorno de trabajo?	No
	¿Existen elementos inutilizados: herramientas, útiles o similares en el entorno de trabajo?	No
	¿Están los elementos innecesarios identificados como tal?	No
	Cumplimiento (%)	40.00%

S2: Seiton

DESCRIPCION DE PROCESOS

CUMPLE

Ordenar

¿Están claramente definidos los pasillos, áreas de almacenamiento, lugares de trabajo?

Si

¿Son necesarias todas las herramientas disponibles y fácilmente identificables?

No

¿Están diferenciados e identificados los productos complementarios del producto final?

Si

¿Están todos los productos almacenados de forma adecuada?

No

¿Hay algún tipo de obstáculo cerca del elemento de extinción de incendios más cercano?

Si

¿Tiene el suelo algún tipo de desperfecto: ¿grietas, sobresalto

No

¿Están las estanterías u otras áreas de almacenamiento en el lugar adecuado y debidamente identificadas?

No

¿Tienen los estantes letreros identificatorios para conocer que materiales van depositados en ellos?

Si

¿Están indicadas las cantidades máximas y mínimas admisibles y el formato de almacenamiento?

No

¿Hay líneas blancas u otros marcadores para indicar claramente los pasillos y áreas de almacenamiento?

Si

Cumplimiento (%)

50.00%

S3: Seiso

DESCRIPCIÓN DE ACCIONES

CUMPLE

Limpiar

¿Revise cuidadosamente el suelo, los pasos de acceso y los alrededores de los equipos! ¿Puedes encontrar, polvo o residuos?

No

¿Hay partes de equipos sucios? ¿Puedes encontrar manchas de polvo o residuos?

No

¿Están las instalaciones sucias, deteriorada; en general en mal estado?

Si

¿Está el sistema de drenaje de los residuos obstruido (total o parcialmente)?

Si

¿Hay elementos de la luminaria defectuoso (total o parcialmente)?

Si

¿Se mantienen las paredes, suelo y techos limpios, libres de residuos?

No

¿Se limpian los equipos electrónicos con frecuencia y se mantienen libres polvos?

Si

¿Se realizan periódicamente tareas de limpieza conjuntamente con el mantenimiento de la planta?

No

¿Existe una persona o equipo de personas responsable de supervisar las operaciones de limpieza?

No

¿Se barre y limpia el suelo y los equipos normalmente sin ser dicho?

No

		Cumplimiento (%)	40.0%
S4: Seiketsu	DESCRIPCIÓN DE ACCIONES		CUMPLE
Estandarizar	¿La ropa que usa el personal es inapropiada o está sucia?		No
	¿Las diferentes áreas de trabajo tienen la luz suficiente y ventilación para la actividad que se desarrolla?		Si
	¿Hay algún problema con respecto a ruido, vibraciones o de temperatura (calor / frío)?		No
	¿Hay alguna ventana o puerta rota?		No
	¿Hay habilitadas zonas de descanso, comida?		Si
	¿Se generan regularmente mejoras en las diferentes áreas de la empresa?		Si
	¿Se actúa generalmente sobre las ideas de mejora?		No
	¿Existen procedimientos escritos estándar y se utilizan activamente?		Si
	¿Se consideran futuras normas como plan de mejora clara de las áreas de ventas?		No
	¿Se mantienen las 3 primeras S (¿eliminar innecesario, espacios definidos, limitación de pasillos, limpieza)?		Si
	Cumplimiento (%)		50.0%
S5: Shitsuke	DESCRIPCIÓN DE ACCIONES		CUMPLE
Disciplinar	¿Se realiza el control diario de limpieza?		No
	¿Se realizan los informes diarios correctamente y a su debido tiempo?		Si
	¿Se utiliza el uniforme reglamentario, así como el material de protección diario para las actividades que se llevan a cabo?		No
	¿Se utiliza el material de protección para realizar trabajos específicos (arnés)?		Si
	¿Cumple el área administrativa el cumplimiento de los horarios de las reuniones y capacitaciones?		No
	¿Está todo el personal capacitado y motivado para llevar a cabo los procedimientos estándares definidos?		Si
	¿Las herramientas y las piezas se almacenan correctamente?		No
	¿Se cumple el control de stocks?		No
	¿Existen procedimientos de mejora y son revisados con regularidad?		Si
	¿Todas las actividades definidas en las 5S se llevan a cabo y se realizan los seguimientos definidos?		Si
	Cumplimiento (%)		50.0%

Nota: Elaboración propia según metodología de evaluación 5S

Tabla 71.

Formulario de auditoría de rutina 5S- POS TEST

5S Formulario de auditoria rutinaria	
NOMBRE DE LA EMPRESA	JAR agregados
CIUDAD	CAJAMARCA
CUMPLIMIENTO DE PROCESOS (%)	74.00%

S1: Seiri	DESCRIPCIÓN DE PROCESOS	CUMPLE
Clasificar	¿Hay algún tipo de herramienta, pieza de repuesto, útiles o similar en el entorno de trabajo fuera de su lugar?	Si
	¿Hay materias primas, semi elaborados o residuos en el entorno de trabajo?	Si
	¿Hay cosas inútiles que pueden molestar en el entorno de trabajo?	Si
	¿Están todos los objetos de uso frecuente ordenados, en su ubicación y correctamente identificados en el entorno laboral?	No
	¿Están todos los objetos en su ubicación y correctamente identificados en el entorno laboral?	No
	¿Están todos los elementos de limpieza: trapos, escobas, guantes, productos en su ubicación y correctamente identificados?	Si
	¿Está todo el mobiliario: mesas, sillas, armarios ubicados e identificados correctamente en el entorno de trabajo?	Si
	¿Existen equipos inutilizados en el entorno de trabajo?	No
	¿Existen elementos inutilizados: herramientas, útiles o similares en el entorno de trabajo?	No
	¿Están los elementos innecesarios identificados como tal?	Si
Cumplimiento (%)		60.00%

S2: Seiton**DESCRIPCION DE PROCESOS****CUMPLE****Ordenar**

¿Están claramente definidos los pasillos, áreas de almacenamiento, lugares de trabajo?

Si

¿Son necesarias todas las herramientas disponibles y fácilmente identificables?

Si

¿Están diferenciados e identificados los productos complementarios del producto final?

Si

¿Están todos los productos almacenados de forma adecuada?

Si

¿Hay algún tipo de obstáculo cerca del elemento de extinción de incendios más cercano?

Si

¿Tiene el suelo algún tipo de desperfecto: ¿grietas, sobresalto

No

¿Están las estanterías u otras áreas de almacenamiento en el lugar adecuado y debidamente identificadas?

Si

¿Tienen los estantes letreros identificatorios para conocer que materiales van depositados en ellos?

Si

¿Están indicadas las cantidades máximas y mínimas admisibles y el formato de almacenamiento?

No

¿Hay líneas blancas u otros marcadores para indicar claramente los pasillos y áreas de almacenamiento?

Si**Cumplimiento (%)****80.00%****S3: Seiso****DESCRIPCIÓN DE ACCIONES****CUMPLE****Limpiar**

¿Revise cuidadosamente el suelo, los pasos de acceso y los alrededores de los equipos! ¿Puedes encontrar, polvo o residuos?

Si

¿Hay partes de equipos sucios? ¿Puedes encontrar manchas de polvo o residuos?

No

¿Están las instalaciones sucias, deteriorada; en general en mal estado?

Si

¿Está el sistema de drenaje de los residuos obstruido (total o parcialmente)?

Si

¿Hay elementos de la luminaria defectuoso (total o parcialmente)?

Si

¿Se mantienen las paredes, suelo y techos limpios, libres de residuos?

No

¿Se limpian los equipos electrónicos con frecuencia y se mantienen libres polvos?

No

¿Se realizan periódicamente tareas de limpieza conjuntamente con el mantenimiento de la planta?

Si

¿Existe una persona o equipo de personas responsable de supervisar las operaciones de limpieza?

No

¿Se barre y limpia el suelo y los equipos normalmente sin ser dicho?

Si**Cumplimiento (%)****60.0%**

S4: Seiketsu	DESCRIPCIÓN DE ACCIONES	CUMPLE
Estandarizar	¿La ropa que usa el personal es inapropiada o está sucia?	Si
	¿Las diferentes áreas de trabajo tienen la luz suficiente y ventilación para la actividad que se desarrolla?	Si
	¿Hay algún problema con respecto a ruido, vibraciones o de temperatura (calor / frío)?	Si
	¿Hay alguna ventana o puerta rota?	No
	¿Hay habilitadas zonas de descanso, comida?	Si
	¿Se generan regularmente mejoras en las diferentes áreas de la empresa?	Si
	¿Se actúa generalmente sobre las ideas de mejora?	Si
	¿Existen procedimientos escritos estándar y se utilizan activamente?	Si
	¿Se consideran futuras normas como plan de mejora clara de las áreas de ventas?	Si
	¿Se mantienen las 3 primeras S (¿eliminar innecesario, espacios definidos, limitación de pasillos, limpieza)?	Si
Cumplimiento (%)		90.0%

S5: Shitsuke	DESCRIPCIÓN DE ACCIONES	CUMPLE
Disciplinar	¿Se realiza el control diario de limpieza?	Si
	¿Se realizan los informes diarios correctamente y a su debido tiempo?	Si
	¿Se utiliza el uniforme reglamentario, así como el material de protección diario para las actividades que se llevan a cabo?	Si
	¿Se utiliza el material de protección para realizar trabajos específicos (arnés)?	Si
	¿Cumple el área administrativa el cumplimiento de los horarios de las reuniones y capacitaciones?	No
	¿Está todo el personal capacitado y motivado para llevar a cabo los procedimientos estándares definidos?	Si
	¿Las herramientas y las piezas se almacenan correctamente?	Si
	¿Se cumple el control de stocks?	No
	¿Existen procedimientos de mejora y son revisados con regularidad?	Si
	¿Todas las actividades definidas en las 5S se llevan a cabo y se realizan los seguimientos definidos?	Si
Cumplimiento (%)		80.0%

Nota: Elaboración propia según metodología de evaluación 5S

Anexo 3. Material fotográfico



Excavadora Komatsu inoperativa por falta de mantenimiento.



Cargador Frontal u operativo, pero con necesidad de mantenimiento preventivo



Patio de maniobras para el mantenimiento de la maquinaria pesada de la empresa JAR Agregados.

Anexo 4. Especificaciones técnicas de la maquinaria pesada



CARGADOR FRONTAL

Tabla 72.

Especificaciones técnicas Cargador frontal

Motor: 950H		
Modelo del motor	Cat C7 ACERT	
ISO 9249/SAE J1349 (métrico)	147 kW	200 hp
ISO 9249/SAE J1349 (imperial)	197 hp	
ISO 14396/SAE J1995 (métrico)	162 kW	220 hp
ISO 14396/SAE J1995 (imperial)	217 hp	
Potencia neta: 80/1269/EEC	147 kW	197 hp
Par máximo (neto) a 1.400 rpm	907 N·m	669 lb·pie
Calibre	110 mm	4,33"
Carrera	127 mm	5"
Cilindrada	7,2 L	439 pulg ³
<ul style="list-style-type: none"> • Motor Cat con tecnología ACERT™; cumple con las normas EPA Tier 3 y Stage III de la Unión Europea • Estas clasificaciones se aplican a 1.800 rpm cuando la prueba se realiza en las condiciones normales especificadas. • La clasificación de la potencia neta anunciada se basa en la potencia disponible cuando el motor viene equipado con un alternador, un filtro de aire, un silenciador y una impulsión de ventilador hidráulico de actuación proporcional a la demanda a la máxima velocidad del ventilador. 		
Pesos: 950H		
Peso en orden de trabajo	18.320 kg	40.376 lb
<ul style="list-style-type: none"> • Para cucharón de uso general de 3,1 m³ (4,0 yd³) con BOCE. 		
Cucharones: 950H		
Capacidades del cucharón	2,5 a 3,5 m ³	3,25 a 4,5 yd ³
Capacidad máxima del cucharón	3,6 m ³	4,7 yd ³
Especificaciones de operación: 950H		
Fuerza de desprendimiento	150 kN	33.756 lb
Carga límite de equilibrio estático, giro pleno (ISO)	10.811 kg	23.827 lb
Carga límite de equilibrio estático, giro pleno (sin deflexión del neumático)	11.540 kg	25.434 lb
<ul style="list-style-type: none"> • Para cucharón de uso general de 3,1 m³ (4,0 yd³) con BOCE. 		
Transmisión: 950H		
Avance 1	6,9 km/h	4,3 mph
Avance 2	12,7 km/h	7,9 mph
Avance 3	22,3 km/h	13,9 mph
Avance 4	37 km/h	23,0 mph
Retroceso 1	7,6 km/h	4,7 mph
Retroceso 2	13,9 km/h	8,6 mph
Retroceso 3	24,5 km/h	15,2 mph
Retroceso 4	40 km/h	24,9 mph
<ul style="list-style-type: none"> • Velocidades de desplazamiento máximas (neumáticos 23.5-25). 		
Motor: 962H		
Modelo del motor	Cat C7 ACERT	
ISO 9249/SAE J1349 (métrico)	156 kW	212 hp
ISO 9249/SAE J1349 (imperial)	209 hp	
ISO 14396/SAE J1995 (métrico)	172 kW	234 hp
ISO 14396/SAE J1995 (imperial)	231 hp	
Potencia neta: 80/1269/EEC	158 kW	211 hp
Par máximo (neto) a 1.400 rpm	907 N·m	669 lb·pie
Calibre	110 mm	4,33"
Carrera	127 mm	5"
Cilindrada	7,2 L	439 pulg ³
<ul style="list-style-type: none"> • Motor Cat con tecnología ACERT; cumple con las normas EPA Tier 3 y Stage III de la Unión Europea • Estas clasificaciones se aplican a 1.800 rpm cuando la prueba se realiza en las condiciones normales especificadas. • La clasificación de la potencia neta anunciada se basa en la potencia disponible cuando el motor viene equipado con un alternador, un filtro de aire, un silenciador y una impulsión de ventilador hidráulico de actuación proporcional a la demanda a la máxima velocidad del ventilador. 		
Pesos: 962H		
Peso en orden de trabajo	19.121 kg	42.141 lb
<ul style="list-style-type: none"> • Para cucharón de uso general de 3,4 m³ (4,45 yd³) con BOCE. 		
Cucharones: 962H		
Capacidades del cucharón	2,7 a 3,8 m ³	3,5 a 5,0 yd ³
Capacidad máxima del cucharón	3,8 m ³	5,0 yd ³
Especificaciones de operación: 962H		
Fuerza de desprendimiento	141 kN	31.680 lb
Carga límite de equilibrio estático, giro pleno (ISO)	11.303 kg	24.913 lb
Carga límite de equilibrio estático, giro pleno (sin deflexión del neumático)	12.038 kg	26.533 lb
<ul style="list-style-type: none"> • Para cucharón de uso general de 3,4 m³ (4,45 yd³) con BOCE. 		
Transmisión: 962H		
Avance 1	7 km/h	4,4 mph
Avance 2	13 km/h	8,1 mph
Avance 3	22,6 km/h	14,0 mph
Avance 4	38 km/h	23,6 mph
Retroceso 1	7,6 km/h	4,7 mph
Retroceso 2	13,9 km/h	8,6 mph
Retroceso 3	24,5 km/h	15,2 mph
Retroceso 4	40 km/h	24,9 mph
<ul style="list-style-type: none"> • Velocidades de desplazamiento máximas (neumáticos 23.5-25). 		

Nota: obtenido de manual de operación y especificaciones técnicas CAT



EXCAVADORA HIDRÁULICA

Tabla 73.

Especificaciones técnicas excavadora hidráulica

Motor		
Modelo del motor	Cat® C9.3B	
Potencia neta - ISO 9249	232 kW	311 hp
Potencia del motor - ISO 14396	234 kW	314 hp
Calibre	115 mm	5 pulg
Carrera	149 mm	6 pulg
Cilindrada	9,3 L	568 pulg ³
<ul style="list-style-type: none"> • Cumple con los estándares de emisiones MAR-1 de Brasil y Fase III de China para su uso fuera de carretera, equivalentes a los estándares Tier 3 de la EPA de los Estados Unidos y Stage IIIA de la Unión Europea. • Recomendada para su uso hasta a 4500 m (14 760 pies) de altitud con reducción de la potencia del motor cuando se encuentra por encima de los 3000 m (9840 pies). • La potencia neta se prueba según ISO 9249. Normas vigentes en el momento de la fabricación. • La potencia neta anunciada es la potencia disponible en el volante cuando el motor está equipado con ventilador, sistema de admisión de aire, sistema de escape y alternador. • Velocidad nominal a 1800 rpm. 		
Mecanismo de balanceo		
Velocidad de balanceo	8,75 rpm	
Par máximo de balanceo	144 kN-m	106 228 lbf-pies
Pesos		
Peso de operación	37 600 kg	82 900 lb
<ul style="list-style-type: none"> • Pluma para excavación de gran volumen, brazo M2.55 m (8'4"), cucharón SDS de 2,40 m³ (3,14 yd³), zapatas de garra triple de 700 mm (28") y contrapeso de 6,8 tn (14 991 lb). 		
Cadena		
Ancho estándar de la cadena de las zapatas	600 mm	24 pulg
Ancho de las zapatas de cadena opcionales	700 mm	28 pulg
Ancho de las zapatas de cadena opcionales	800 mm	31 pulg
Cantidad de zapatas (en cada lado)	49	
Cantidad de rodillos de cadena (en cada lado)	8	
Cantidad de rodillos superiores (en cada lado)	2	
Mando		
Pendiente	35°/70 %	
Velocidad máxima de desplazamiento	4,7 km/h	2,9 mph
Tracción máxima de la barra de tiro	295 kN	66 206 lbf
Sistema hidráulico		
Sistema principal - Flujo máximo - Implemento	558 L/min (279 × 2 bombas)	147 gal/min (74 × 2 bombas)
Presión máxima - Equipo - Implemento	35 000 kPa 5076 psi	
Presión máxima - Equipo - Modalidad de levantamiento	38 000 kPa 5511 psi	
Presión máxima - Desplazamiento	35 000 kPa 5076 psi	
Presión máxima - Balanceo	29 400 kPa 4264 psi	
Cilindro de la pluma - Calibre	150 mm	6 pulg
Cilindro de la pluma - Carrera	1440 mm	57 pulg
Cilindro del brazo - Calibre	170 mm	7 pulg
Cilindro del brazo - Carrera	1738 mm	68 pulg
Cilindro del cucharón DB - Calibre	150 mm	6 pulg
Cilindro del cucharón DB - Carrera	1151 mm	45 pulg
Cilindro del cucharón TB - Calibre	160 mm	6 pulg
Cilindro del cucharón TB - Carrera	1356 mm	53 pulg
Capacidades de servicio de reabastecimiento		
Capacidad del tanque de combustible	600 L	158,5 gal
Sistema de enfriamiento	40 L	10,5 gal
Aceite del motor (con filtro)	32 L	8,5 gal
Mando de balanceo (cada uno)	18 L	4,8 gal
Mando final (cada uno)	8 L	2,1 gal
Sistema hidráulico (incluido el tanque)	373 L	98,5 gal
Tanque hidráulico	161 L	42,5 gal
Estándares		
Frenos	ISO 10265:2008	
Cabina/ROPS (por sus siglas en inglés para Estructura de protección en caso de vuelcos)	ISO 12117-2:2008	
Desempeño del sonido		
ISO 6395:2008 (exterior)	105 dB(A)	
ISO 6396:2008 (interior de la cabina)	73 dB(A)	
<ul style="list-style-type: none"> • Es posible que sea necesario el uso de protección auditiva cuando se opera desde una estación y cabina abierta (cuando no se haya realizado un mantenimiento correcto o, las puertas o ventanas se encuentren abiertas) durante períodos prolongados o en entornos ruidosos. 		

Nota: obtenido de manual de operación y especificaciones técnicas CAT



RETROEXCAVADORA

Tabla 74.

Especificaciones técnicas retroexcavadora

Motor		
Modelo del motor	Cat C4.4 ACERT	
Potencia bruta		
SAE J1995	72 kW	97 hp
ISO 14396	70 kW	94 hp
Potencia neta nominal a 2.200 rpm		
SAE J1349	65 kW	87 hp
ISO 9249	66 kW	88 hp
EEC 80/1269	66 kW	88 hp
Potencia máxima neta a 1.800 rpm		
SAE J1349	67 kW	90 hp
ISO 9249	68 kW	91 hp
EEC 80/1269	68 kW	91 hp
Calibre	105 mm	4,13"
Carrera	127 mm	5"
Cilindrada	4,4 L	268 pulg ³
Reserva de par neta a 1.400 rpm:	37 %	
SAE J1349		
Par máximo neto a 1.400 rpm	390 N·m	288 lb·pie

• El motor cumple con los estándares de emisiones Tier 4 Interim de la EPA de EE.UU./Stage IIIB de la Unión Europea.

Pesos*		
Peso en orden de trabajo: nominal	6.783 kg	14.953 lb
Peso en orden de trabajo: máximo	11.000 kg	24.251 lb
Cabina ROPS/FOPS	167 kg	368 lb
Aire acondicionado	26 kg	57 lb
Tracción en las cuatro ruedas	180 kg	397 lb
Cucharón de uso múltiple (0,96 m ³ /1,25 yd ³) (sin horquillas ni dientes)	745 kg	1.642 lb
Brazo extensible	301 kg	664 lb
Contrapesos (opción 1)	115 kg	255 lb
Contrapesos (opción 2)	240 kg	530 lb
Contrapesos (opción 3)	460 kg	1.015 lb

* Las especificaciones que se muestran corresponden a la máquina equipada con cucharón cargador de uso general de 0,76 m³ (1,0 yd³), cucharón retroexcavador de servicio pesado de 610 mm (24"), contrapeso de 115 kg (255 lb), operador de 80 kg (176 lb) y tanque de combustible lleno.

Transmisión		
Transmisión servomecánica estándar		
1° de avance	6 km/h	3,7 mph
2° de avance	9,6 km/h	5,9 mph
3° de avance	20 km/h	12 mph
4° de avance	40 km/h	25 mph
1° de retroceso	6 km/h	3,7 mph
2° de retroceso	9,6 km/h	5,9 mph
3° de retroceso	20 km/h	12 mph
4° de retroceso	40 km/h	25 mph

Clasificaciones de los ejes		
Eje delantero con tracción en 2 ruedas		
Estático	22.964 kg	50.582 lb
Dinámico	9.186 kg	20.233 lb
Eje delantero con tracción en 4 ruedas		
Estático	22.964 kg	50.582 lb
Dinámico	9.186 kg	20.233 lb
Eje trasero		
Estático	22.964 kg	50.582 lb
Dinámico	9.186 kg	20.233 lb

Sistema hidráulico		
Tipo	Centro cerrado	
Tipo de bomba	Flujo variable y pistones axiales	
Capacidad de la bomba a 2.200 rpm	132 L/min	35 gal EE.UU./min
Presión del sistema: retroexcavadora	23.000 kPa	3.300 lb/pulg ²
Presión del sistema: cargador	23.000 kPa	3.300 lb/pulg ²

Dirección		
Tipo	Rueda delantera	
Servodirección	Hidrostática	
Calibre	65 mm	2,6"
Carrera	120 mm	4,7"
Diámetro de la varilla	36 mm	1,4"
Oscilación del eje	11°	
Radio de giro: tracción en 2 ruedas/tracción en 4 ruedas (rueda interior sin freno)		
Ruedas exteriores delanteras	8,18 m	26' 10"
Cucharón cargador exterior más ancho	10,97 m	36' 0"

Nota: obtenido de manual de operación y especificaciones técnicas CAT



COMPACTADOR DE SUELOS VIBRATORIO

Tabla 75.

Especificaciones técnicas retroexcavadora

Motor: tren de fuerza

Modelo del motor	Cat C6.6 con ACERT™	
Emisiones globales	EPA Tier 3 de EE.UU./ Stage IIIA de la Unión Europea	
Potencia bruta ISO 14396	129,5 kW	173,7 hp
Cilindrada	6,6 L	402,8 pulg ³
Carrera	127 mm	5"
Calibre	105 mm	4,1"
Velocidad máx. de desplazamiento (de avance o de retroceso)	11,4 km/h	7 mph

Pesos

Peso en orden de trabajo con plataforma abierta	18.175 kg	40.069 lb
Peso en orden de trabajo con techo de acero para el sol	18.270 kg	40.279 lb
Peso en orden de trabajo con techo ROPS/FOPS	18.445 kg	40.664 lb
Peso en orden de trabajo con cabina ROPS/FOPS	18.760 kg	41.359 lb
Peso en el tambor con plataforma abierta	13.230 kg	29.167 lb
Peso en el tambor con techo de acero para el sol	13.260 kg	29.233 lb
Peso en el tambor con techo ROPS/FOPS	13.315 kg	29.355 lb
Peso en el tambor con cabina ROPS/FOPS	13.450 kg	29.652 lb
Peso adicional con juego de estructura de piones	+ 1.410 kg	+ 3.109 lb

Especificaciones del sistema vibratorio

Frecuencia		
Estándar	28 Hz	1.680 vpm
Durante la operación en modalidad económica	25,5 Hz	1.527 vpm
Frecuencia variable optativa	23,3 a 28 Hz	1.400 a 1.680 vpm
Amplitud nominal a 30,5 Hz (1.830 vpm)		
Alta	2,1 mm	0,083"
Baja	0,98 mm	0,039"
Fuerza centrífuga a 30,5 Hz (1.830 vpm)		
Máxima	332 kN	74.600 lb
Mínima	166 kN	37.300 lb
Carga lineal estática		
Con plataforma abierta	62 kg/cm	347,2 lb/pulg
Con techo de acero para el sol	62,1 kg/cm	348 lb/pulg
Con techo ROPS/FOPS	62,4 kg/cm	349,5 lb/pulg
Con cabina ROPS/FOPS	63 kg/cm	353 lb/pulg

Capacidades de llenado de servicio

Capacidad total del tanque de combustible	332 L	88 gal EE.UU.
Sistema de enfriamiento	28,2 L	7,5 gal EE.UU.
Aceite del motor con filtro	17,4 L	4,6 gal EE.UU.
Cajas de contrapeso excéntrico	26 L	6,9 gal EE.UU.
Eje y mandos finales	24 L	6,3 gal EE.UU.
Tanque hidráulico (llenado de servicio)	50 L	13,2 gal EE.UU.

Nota: obtenido de manual de operación y especificaciones técnicas CAT