



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Industrial

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
MANTENIMIENTO BASADO EN LA CONFIABILIDAD
PARA MEJORAR EL SERVICIO DE ENTREGA DE
VOLQUETES EN LA MINERA CERRO CORONA**

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Industrial

CESAR ARTURO ACOSTA ESPINOZA

(0000-0003-3550-7795)

Asesor:

Mg. Elmer Luis Tupia De la Cruz

(0000-0001-8946-3041)

Lima – Perú

2022

Índice de contenido

Dedicatoria.....	xv
Agradecimiento.....	xvi
Resumen.....	xvii
Abstract.....	xviii
Capítulo I: Introducción.....	1
Capítulo II: Planteamiento del problema.....	3
2.1. Situación problemática.....	3
2.2. Formulación del problema.....	10
2.2.1. Problema General.....	10
2.2.2. Problemas específicos.....	10
2.3. Justificación de la investigación.....	10
2.4. Limitaciones.....	11
2.5. Objetivos de la investigación.....	12
2.5.1. Objetivo General.....	12
2.5.2. Objetivos específicos.....	12
Capítulo III: Marco teórico.....	12
3.1. Antecedentes del problema.....	12
3.1.1. Antecedentes internacionales.....	12
3.1.2. Antecedentes nacionales.....	14
3.2. Bases teóricas.....	16
3.2.1. Sector minero.....	16
3.2.2. Acarreo de minerales.....	16
3.2.3. Camión volquete.....	17
3.2.4. Repuestos.....	17

3.2.5. Grupos funcionales del volquete.....	19
3.2.6. Falla de activos.....	20
3.2.7. Gestión.....	21
3.2.8. Gestión de mantenimiento.....	22
3.2.9. Planificación del mantenimiento.....	23
3.2.10. Mantenimiento.....	23
3.2.11. Estrategias de mantenimiento.....	24
3.2.12. Metodologías de mantenimiento.....	25
3.2.13. Gestión de confiabilidad operacional.....	25
3.2.14. Mantenimiento basado en el riesgo.....	25
3.2.15. Herramienta de selección de alternativa de solución.....	29
3.2.16. Herramientas de gestión de confiabilidad operacional.....	30
3.2.17. Costos de operación de un equipo.....	41
3.2.18. Análisis económico.....	42
3.3. Marco conceptual.....	44
Capítulo IV: Hipótesis y variables.....	45
4.1. Hipótesis General.....	45
4.2. Hipótesis específicas.....	46
4.3. Identificación de variable.....	46
4.4. Operacionalización de variables.....	47
4.5. Matriz de consistencia.....	49
Capítulo V: Metodología.....	51
5.1. Tipo y diseño de investigación.....	51
5.2. Unidad de análisis.....	52
5.3. Población de estudio.....	52

5.4. Tamaño de muestra.....	52
5.5. Selección de muestra.....	53
5.6. Técnicas de recolección de datos.....	53
5.7. Análisis e interpretación de la información.....	53
Capítulo VI: Procedimiento y método de análisis	54
6.1. Evaluación de metodología a utilizar.....	54
6.2. Procedimiento.....	56
6.3. Método de análisis.....	58
6.3.1. Fase del dimensionamiento del riesgo.....	60
6.3.2. Fase de gerencia del riesgo.....	80
6.3.3. Fase de la comunicación del riesgo.....	90
Capítulo VII: Resultados y discusión	99
7.1. Resultados.....	100
7.2. Discusión de los resultados.....	102
7.3. Validación técnica.....	104
7.4. Validación económica-financiera.....	116
Capítulo VIII: Conclusiones y recomendaciones	134
8.1. Conclusiones.....	134
8.2. Recomendaciones.....	135
Referencias.....	137
Anexos	142

Índice de figuras

Figura 1 Resultado anual de las órdenes de trabajos correctivos y preventivos.....	4
Figura 2 Resultado anual de los costos de mantenimientos correctivos y preventivos	5

Figura 3 Proceso de alquiler y servicio de maquinarias	7
Figura 4 Proceso de mantenimiento correctivo	8
Figura 5 Diagrama de árbol del problema, causa y efecto.....	9
Figura 6 Producción minera metálica en el periodo 2020-2021	16
Figura 7 Operaciones de transporte de minerales	17
Figura 8 Camión volquete en operación de transporte de material	17
Figura 9 Ciclo de vida en un activo no reparable	18
Figura 10 Ciclo de vida en activo reparable	18
Figura 11 Ubicación de la falla potencial en la condición del activo	21
Figura 12 Ubicación de la falla funcional en la condición del activo.....	21
Figura 13 Principio de gestión a largo plazo	22
Figura 14 Confiabilidad operacional	25
Figura 15 Fases del análisis en el mantenimiento basado en el riesgo	26
Figura 16 Etapas de la fase dimensionamiento del riesgo	27
Figura 17 Modelo de optimización por análisis de costo, riesgo y beneficio.....	28
Figura 18 Matriz de comparación de criterios	30
Figura 19 Regresión lineal y ecuación de la línea recta de una muestra de datos	31
Figura 20 Tiempo de fallas en una muestra de activos.....	31
Figura 21 Coordenadas y dispersión de datos en una muestra de tiempos.....	33
Figura 22 Importancia del factor de correlación.....	33
Figura 23 Mediciones basadas por parámetros según la distribución de probabilidad.....	34
Figura 24 Confiabilidad operativa	35
Figura 25 No confiabilidad operativa	36
Figura 26 Tiempo promedio entre intervenciones de mantenimiento	37
Figura 27 Modelo del instrumento de modos y efectos de fallas	38

Figura 28 Escala de puntaje del criterio gravedad de falla	39
Figura 29 Escala de puntaje del criterio ocurrencia de falla	39
Figura 30 Escala de puntaje del criterio dificultad de detección de falla	40
Figura 31 Descripción del riesgo según el número de prioridad de riesgo.....	40
Figura 32 Descripción del plan de mantenimiento	41
Figura 33 Puntuación de criterios de selección de la metodología adecuada	55
Figura 34 Proceso de implementación de la metodología seleccionada.....	57
Figura 35 Cronograma de implementación de la metodología seleccionada	59
Figura 36 Grupos funcionales del volquete Volvo FMX 8X4R	61
Figura 37 Diagrama de Pareto de órdenes de trabajo correctivos de la flota por sistemas.....	61
Figura 38 Diagrama de Pareto de los costos globales correctivos de la flota por sistemas.....	62
Figura 39 Muelle del sistema de suspensión posterior del volquete Volvo FMX 8X4R	67
Figura 40 Tiempos de fallas en el muelle del sistema de suspensión posterior con intervalo de 2400 horas	69
Figura 41 Prueba de bondad de ajuste para la muestra de tiempos	70
Figura 42 Prueba de bondad de ajuste para la muestra de tiempos	70
Figura 43 Dispersión de tiempos antes de fallos del muelle del sistema de suspensión posterior	73
Figura 44 Confiabilidad operativa del sistema de suspensión posterior	76
Figura 45 No confiabilidad operativa del sistema de suspensión posterior.....	78
Figura 46 Tiempo medio entre intervenciones de mantenimiento en el sistema de suspensión posterior	80
Figura 47 Costo horario por intervención preventiva en función al tiempo operativo	83
Figura 48 Riesgo horario por intervención correctiva en función al tiempo operativo	86
Figura 49 Impacto total horario por política preventiva en función al tiempo operativo	88

Figura 50 Intervalo óptimo para política preventiva del sistema de suspensión posterior	89
Figura 51 Confiabilidad operacional por política preventiva de 2000 horas.....	89
Figura 52 Ajuste en la barra estabilizadora y acoplamiento del sistema de suspensión delantero.....	90
Figura 53 Ajuste en el muelle del sistema de suspensión delantero	91
Figura 54 Ajuste en el amortiguador del sistema de suspensión delantero	92
Figura 55 Ajuste en amortiguador del muelle del sistema de suspensión posterior	92
Figura 56 Ajuste en el muelle del sistema de suspensión posterior.....	93
Figura 57 Ajuste en soportes del muelle del sistema de suspensión posterior	94
Figura 58 Ajuste en amortiguador del muelle del sistema de suspensión posterior	94
Figura 59 Programación del primer cambio preventivo de repuestos del muelle posterior	97
Figura 60 Programación del segundo cambio preventivo de repuestos del muelle posterior..	97
Figura 61 Programación del tercer cambio preventivo de repuestos del muelle posterior	98
Figura 62 Flujo de proceso de extracción de repuestos	99
Figura 63 Diagrama de ahorro por metodología de mantenimiento basado en el riesgo	102
Figura 64 Registro de información en la opción de ejecución del simulador.....	105
Figura 65 Estructura para la simulación en software Arena	106
Figura 66 Input Analyzer del tiempo de llegada de volquetes por intervención de mantenimiento.....	107
Figura 67 Input Analyzer del tiempo de diagnóstico de falla por intervención correctiva....	107
Figura 68 Input Analyzer del tiempo de desarme de repuestos del muelle por falla.....	108
Figura 69 Input Analyzer del tiempo de transporte del volquete por préstamo y repuesto desarmado	108
Figura 70 Input Analyzer del tiempo de intervención correctiva	109
Figura 71 Input Analyzer del tiempo de intervención preventiva	109

Figura 72 Ingreso del nivel de confiabilidad operacional inicial en la opción decide del simulador.....	110
Figura 73 Tiempos de mantenimientos de la flota al aplicar política preventiva de 2400 horas	111
Figura 74 Ingreso del nivel de confiabilidad operacional óptima en la opción decide del simulador.....	113
Figura 75 Tiempos de inactividad de la flota al aplicar política preventiva de 2000 horas ..	114
Figura 76 Simulación del valor actual neto económico en @Risk	131
Figura 77 Simulación del valor actual neto financiero en @Risk	132
Figura 78 Simulación de la tasa interna de retorno económico en @Risk	132
Figura 79 Simulación de la tasa interna de retorno financiero en @Risk.....	133
Figura 80 Simulación del beneficio costo económico en @Risk	133
Figura 81 Simulación del beneficio costo financiero en @Risk.....	134

Índice de tablas

Tabla 1 Resultado anual de órdenes de trabajos de mantenimiento en la flota de volquetes	3
Tabla 2 Ocurrencia de órdenes de trabajo correctivos en la flota por sistemas.....	4
Tabla 3 Resultado anual de costos de mantenimiento en la flota de volquetes	5
Tabla 4 Costos globales de intervenciones correctivas en la flota por sistemas.....	5
Tabla 5 Tarifa no asumida por indisponibilidad operativa en la flota de volquetes	6
Tabla 6 Pérdida anual por préstamo de volquete por suplencia.....	6
Tabla 7 Operacionalización de la variable independiente	47
Tabla 8 Operacionalización de la variable dependiente	48
Tabla 9 Matriz de consistencia	49
Tabla 10 Propuesta de metodologías del sistema de mantenimiento basado en la confiabilidad	54

Tabla 11 Escala de puntaje para los criterios de la matriz AHP	55
Tabla 12 Peso de los criterios para la selección de la metodología adecuada	56
Tabla 13 Peso de los criterios sobre las metodologías propuestas.....	56
Tabla 14 Promedio ponderado de las metodologías propuestas	56
Tabla 15 Actividades para el desarrollo de la metodología.....	58
Tabla 16 Puntuación del factor ocurrencia por sistema de volquete	62
Tabla 17 Puntuación del factor gravedad.....	63
Tabla 18 Puntuación del factor detección.....	63
Tabla 19 Análisis de modos y efectos de fallas y número de prioridad de riesgo de los sistemas del volquete	64
Tabla 20 Jerarquización del número de prioridad de riesgo de los sistemas.....	67
Tabla 21 Tiempos de operación antes de las fallas en el sistema de suspensión posterior.....	68
Tabla 22 Metodología de regresión lineal basado por estimador	71
Tabla 23 Resultados de la regresión lineal	73
Tabla 24 Parámetros de la distribución de Weibull.....	74
Tabla 25 Tabulación de confiabilidad operativa del sistema de suspensión posterior	75
Tabla 26 Tabulación de no confiabilidad del sistema de suspensión posterior	77
Tabla 27 Tabulación del tiempo medio entre intervenciones del sistema de suspensión posterior	79
Tabla 28 Costo global por flota de mantenimiento preventivo del grupo funcional de suspensión.....	81
Tabla 29 Costo por intervención preventivo del muelle del grupo funcional de suspensión posterior	81
Tabla 30 Costo horario en el muelle del grupo funcional de suspensión posterior	81

Tabla 31 Costo global por flota de mantenimiento correctivo del grupo funcional de suspensión.....	84
Tabla 32 Costo por intervención correctiva del muelle del grupo funcional de suspensión posterior	84
Tabla 33 Riesgo horario en el muelle del grupo funcional de suspensión.....	84
Tabla 34 Impacto total horario por política preventiva en el grupo funcional de suspensión .	87
Tabla 35 Plano modificado de mantenimiento preventivo del sistema de suspensión del volquete marca Volvo modelo FMX 8X4R.....	95
Tabla 36 Resultados en los indicadores de la variable independiente	100
Tabla 37 Resultados en los indicadores de la variable dependiente	101
Tabla 38 Beneficio de la implementación de la propuesta de mejora	101
Tabla 39 Datos de parámetros para la simulación	105
Tabla 40 Resultados de simulación del escenario de intervalo preventivo de 2400 horas de operación.....	110
Tabla 41 Costo total de intervenciones de mantenimiento por política preventiva de 2400 horas.....	111
Tabla 42 Pérdidas por alquiler durante la política preventiva de 2400 horas	112
Tabla 43 Pérdidas por préstamo de volquete durante la política preventiva de 2400 horas..	112
Tabla 44 Resultados de simulación del escenario de intervalo preventivo de 2000 horas de operación.....	113
Tabla 45 Costo total de intervenciones de mantenimiento por política preventiva de 2000 horas.....	114
Tabla 46 Pérdidas por alquiler durante la política preventiva de 2000 horas	115
Tabla 47 Pérdidas por préstamo de volquete durante la política preventiva de 2000 horas..	115

Tabla 48 Ingreso al implementar el modelo gestión de confiabilidad operacional basado en el riesgo.....	116
Tabla 49 Personal del área de confiabilidad de equipos	117
Tabla 50 Inversión en activos fijos	118
Tabla 51 Inversión de activos intangibles.....	119
Tabla 52 Inversión por gastos operativos	119
Tabla 53 Financiamiento de la metodología.....	121
Tabla 54 Condiciones de financiamiento.....	122
Tabla 55 Cronograma de pagos	122
Tabla 56 Costos operativos.....	123
Tabla 57 Flujo de caja económico	124
Tabla 58 Flujo de caja económico y financiero	125
Tabla 59 Modelo CAPM.....	126
Tabla 60 Escenario pesimista, normal y optimista	127
Tabla 61 Valor actual neto económico y financiero	128
Tabla 62 Tasa interna de retorno económico y financiero.....	128
Tabla 63 Ratio de Beneficio – Costo	129
Tabla 64 Indicadores de rentabilidad en escenario pesimista.....	129
Tabla 65 Indicadores de rentabilidad en escenario optimista	130
Tabla 66 Indicadores de rentabilidad esperado.....	130

Índice de anexo

Anexo 1 Unidades designadas para operar en la unidad minera Cerro Corona.....	142
Anexo 2 Descarga de reporte de órdenes de trabajo de mantenimientos en el ERP SAP.....	142
Anexo 3 Plano actual de mantenimiento preventivo del sistema de suspensión del volquete	143

Anexo 4 Reporte de órdenes de trabajo preventivo del muelle en el sistema de suspensión posterior	144
Anexo 5 Reporte de órdenes de trabajo correctivo del muelle en el sistema de suspensión posterior	146
Anexo 6 Tasa de ingreso de volquetes por intervención en el muelle de suspensión posterior	150
Anexo 7 Tiempo de diagnóstico por intervención correctiva en el muelle posterior	151
Anexo 8 Tiempo de desarme por intervención correctiva en el muelle posterior	152
Anexo 9 Tiempo de transporte del volquete en préstamo con el repuesto de muelle posterior	153
Anexo 10.....	154
Anexo 11 Tiempo de mantenimiento preventivo del muelle de suspensión posterior	155
Anexo 12 Resultados de simulación por el conteo de correctivos y preventivos cada 2400 horas de mantenimiento	156
Anexo 13 Resultados de simulación de tiempo de intervenciones correctivos y preventivos cada 2400 horas de mantenimiento.....	157
Anexo 14 Resultados de simulación por el conteo de correctivos y preventivos cada 2000 horas de mantenimiento	158
Anexo 15 Resultados de simulación de tiempo de intervenciones correctivos y preventivos cada 2000 horas de mantenimiento.....	159
Anexo 16 Costo de traslado de volquete de apoyo por intervención correctiva.....	160
Anexo 17 Matriz de puntuación de la probabilidad de ocurrencia de escenarios.....	161

JURADO DE LA SUSTENTACIÓN ORAL

.....
Presidente

.....
Jurado 1

.....
Jurado 2

Entregado el:

Aprobado por:

.....
César Arturo Acosta Espinoza

.....
Mg. Elmer Luis Tupia De la Cruz

Graduando

Asesor de Tesis

UNIVERSIDAD SAN IGNACIO DE LOYOLA**FACULTAD DE INGENIERÍA****DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Yo, César Arturo Acosta Espinoza, identificado con DNI N° 47885267, Bachiller del Programa Académico de la Carrera de Ingeniería industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad San Ignacio de Loyola, presento mi tesis titulada:

“Implementación de un sistema de mantenimiento basado en la confiabilidad para mejorar el servicio de entrega de volquetes en la minera Cerro Corona”

Declaro en honor a la verdad, que el trabajo de tesis es de mi autoría; que los datos, los resultados y su análisis e interpretación, constituyen mi aporte. Todas las referencias han sido debidamente consultadas y reconocidas en la investigación.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad u ocultamiento de la información aportada. Por todas las afirmaciones ratifico lo expresado, a través de mi firma correspondiente.

Lima, 06 de abril de 2022

César Arturo Acosta Espinoza

DNI 47885267

Dedicatoria

Dedicado principalmente a mi madre
Mary Luisa Espinoza Romaní, que me
cuida desde el cielo. Por ser la
inspiración durante todo proceso en
obtener uno de sus anhelos más
deseados.

A mi padre Arturo Acosta, por su
sacrificio a lo largo de todos estos años
difíciles y a mi hermano Christian
Acosta por su compañía constante.

Agradecimiento

A mis compañeros de área de equipos post venta construcción de la empresa ZAPLER S.AC., Isai, Joel y Eder. Por su apoyo en compartir información necesaria.

A mis compañeros de planeamiento de equipos. Entre ellos, a Eduardo Mendoza, por su apoyo al compartir sus conocimientos y experiencia.

A la Universidad San Ignacio de Loyola, docentes y asesores, por los conocimientos brindados en mi etapa de estudiante. Especialmente al Ing. Elmer Tupia por su asesoría durante el desarrollo de la tesis.

Resumen

El presente trabajo es una investigación de tipo aplicada y diseño cuasi experimental, enfocándose en una empresa dedicada al alquiler y mantenimiento de una flota de 14 volquetes en la sede minera Cerro Corona, teniéndose como problemática la deficiencia en la planificación de mantenimientos en los equipos, ya que al evaluar la situación problemática indica baja disponibilidad operativa por las fallas recurrentes en los sistemas que conforman a los volquetes, afectando la facturación por alquiler como también en los sobrecostos para subsanar las fallas. Por ello se traza como objetivo la implementación de un modelo de gestión de mantenimiento basado en la confiabilidad para la mejora del servicio de entrega, el cual por medio de la matriz AHP se selecciona la metodología de mantenimiento basado en el riesgo (MBR). En dicha metodología, la selección de muestra es de tipo no probabilístico ya que se prioriza el sistema con mayor riesgo a la operación de la flota para su posterior análisis de información por medio de técnicas cualitativas y cuantitativas, tomando como data los reportes de órdenes de trabajo por mantenimientos, cuya técnica de recolección es por revisión documental. Finalmente, la metodología optimiza el tiempo óptimo de intervenciones preventivas aumentando el nivel de confiabilidad a 92.53 % influyendo con la disminución de la indisponibilidad por falla en 15.67%, el aumento de la disponibilidad operativa en 13.48% y beneficiando a la empresa con un ahorro anual de 589,060.06 soles y cumpliendo los criterios de rentabilidad en cualquiera de los escenarios posibles.

Palabras claves: Ingeniería de confiabilidad, Modelo de optimización, MBR, costos de mantenimiento y volquetes

Abstract

The following essay is an applied type investigation with a quasi-experimental design, focusing on a renting and maintenance company with a 14 dumper trucks fleet at the Cerro Corona mine, the problematic been the deficiency in the dumper trucks maintenance planning, because at evaluating the actual situation we find a low operational availability due to constant system failures on the dumpers, this affects the rental billing and causes an overrun for fixing failures. Because of this we set as an objective the implementation of a maintenance management model based on improving reliability of delivery, using the AHP matrix we select the maintenance methodology based in risk (MBR). In that methodology, the sample selection is of non-probabilistic type because we prioritize the higher risk system to the fleet operation and for further information analysis through qualitative and quantitative techniques, taking as data the maintenance work orders reports, with a collection technique by documentary review. Finally, the methodology optimizes the preventive interventions time, increasing the reliability level to 92.53%, influencing the decrease of failure non-availability by 15.61%, the increase in operational availability by 13.48% and benefiting the company with an annual saving of 589,060.06 soles and fulfilling the profitability criteria in any of the possible scenarios.

Key words: Reliability engineering, optimization model, MBR, maintenance costs and dump trucks.

Capítulo I: Introducción

En el sector de construcción y minería existe una competencia permanente entre empresas enfocadas en el rubro de maquinarias; el cual está en juego la calidad y el servicio de atención para no afectar el ciclo productivo de los clientes en los diversos proyectos que hay en el Perú, entre ellos la minería. Por licitaciones, las mineras seleccionan a empresas contratistas para derivar las responsabilidades de desprendimiento y transporte de minerales; a lo largo del tiempo, el cliente está expectante de la calidad de atención. Uno de los tantos casos es la empresa Zapler S.A.C., con más de 40 años de participación en el mercado en la distribución de maquinarias mediante ventas o alquileres en diferentes proyectos en el país; entre los clientes que se tiene, resalta la empresa internacional Gold Fields, el cual se ganó una licitación de alquiler de una flota de volquetes para operar junto con otras contratistas en la unidad minera Cerro Corona y afrontar las fallas imprevistas a causa de diferentes factores externos que ponen en riesgo la operatividad de los equipos. Ante lo detallado, la presente investigación se plantea la implementación de un modelo de gestión de confiabilidad operacional basado en el riesgo ante las inminentes apariciones de paradas correctivas en la flota por el nivel de exigencia en los centros mineros y así entregar equipos con alta disponibilidad, aumentando los ingresos y a la vez reducir los costos operativos.

En el capítulo del planteamiento del problema, mediante las herramientas de calidad, se analiza los procesos de servicios y la situación actual de la empresa, determinando el problema, las causas y efectos. Una vez identificados, se formula el problema y objetivo general como específico. La investigación se justifica teórica, económica, práctico y metodológicamente; como también se limita temporal, espacial y conceptualmente.

En el capítulo del marco teórico, se especifica los antecedentes nacionales e internacionales de trabajos de investigación relacionados a la gestión de mantenimiento en

activos y sus impactos operacionales. Adicional se toma como referencia libros y tesis para el sustento de las bases teóricas.

En el capítulo respecto a las hipótesis y variables, se detalla las hipótesis tanto general como específico, considerando las variables de la investigación identificados y definidos conceptualmente. Se realiza la operacionalización de la variable independiente y dependiente, definiendo las dimensiones e indicadores, consolidándose todo en una matriz de consistencia.

En el capítulo respecto a la metodología, se define el tipo y diseño que se adapta a la investigación, definiendo la unidad de análisis a investigar, la población, tamaño y selección de la muestra para su posterior análisis e interpretación. Se detalla la técnica de recolección de datos y el instrumento a utilizar. Se selecciona la metodología de gestión que mejor se adapta a las necesidades de la empresa. Mediante el proceso analítico jerárquico AHP.

En el capítulo del procedimiento y método de análisis de la metodología, se toma en cuenta las técnicas cualitativas y cuantitativas de la metodología de gestión seleccionada para su aplicación a los activos a analizar, con la intención de generar satisfacción al cliente, y con ello generar rentabilidad.

En el capítulo de los resultados y discusión, se expone los efectos y consecuencias de la investigación de acuerdo al procedimiento de la metodología óptima a implementar, validándose técnicamente mediante la simulación del proceso. Posteriormente se evalúa económica y financieramente mediante los indicadores de rentabilidad, tomando en cuenta los escenarios pesimista, normal y optimista.

En el capítulo de conclusiones y recomendaciones de la investigación, se detalla los resultados de la investigación encontrados en el procedimiento y método de análisis. Se aconseja medidas a tomar después de implementar la metodología para un mejor control de los activos a evaluar.

Capítulo II: Planteamiento del problema

2.1. Situación problemática

Luego de ganar una licitación como contratista, la empresa Zapler S.A.C. afronta la responsabilidad de trabajos de carguío y transporte de cobre para la empresa Gold Fields. Para dicha actividad, se alquila una flota conformada por 14 volquetes de la marca Volvo y modelo FMX 8X4R. Por contrato, la flota debe cumplir el proceso productivo en la unidad minera Cerro Corona lo más fluido posible y con las menores interrupciones, al menos que sean por intervenciones de mantenimientos previamente planificados.

Desde el inicio de las operaciones de la flota, en el periodo 2020-2021, el proceso de producción del cliente tuvo interrupciones imprevistas de manera constante por fallas en los grupos funcionales que conforman a los volquetes. La acumulación de las interrupciones por fallas genera retrasos e insatisfacción del cliente, afectando los ingresos tanto del cliente como el de la empresa Zapler. El número de órdenes de trabajo (OT) por intervenciones correctivas en los grupos funcionales se desfasan en un 7.73% de lo proyectado anual, el cual debe representar el 25% o menos del total.

Tabla 1

Resultado anual de órdenes de trabajos de mantenimiento en la flota de volquetes

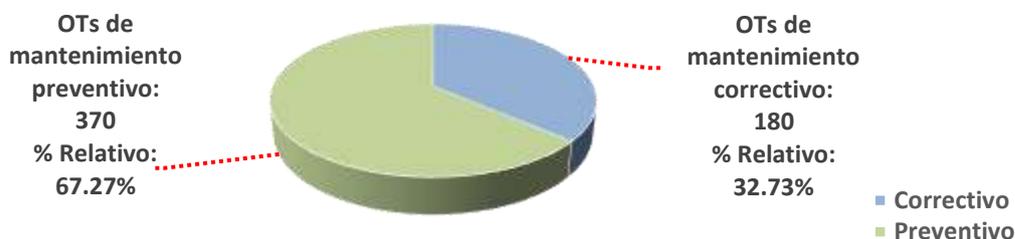
Órdenes de trabajos de mantenimientos en la flota de volquetes Volvo FMX 8X4R			
Tipo de mantenimiento	Número total de OT	Porcentaje del número total de OT	Desfase de OT correctivo
Correctivo	180	32.73%	
Preventivo	370	67.27%	7.73%
Total	550	100 %	

Nota: Elaboración propia. Datos tomados del área de mantenimiento de equipos.

El desfase de órdenes de trabajos correctivos impacta a los ingresos de la empresa relacionado a la facturación por la baja disponibilidad de los volquetes alquilados como también influyen en el sobre costo de mantenimientos correctivos.

Figura 1

Resultado anual de las órdenes de trabajos correctivos y preventivos



Nota: Elaboración propia. Datos tomados del área de mantenimiento de equipos.

De total de intervenciones correctivas, resalta principalmente las fallas de repuestos que conforman al sistema de suspensión de la flota de volquetes.

Tabla 2

Ocurrencia de órdenes de trabajo correctivos en la flota por sistemas

Frecuencia de eventos correctivos del periodo 2020-2021			
Grupo funcional del volquete Volvo FMX 8X4R	Número de órdenes de trabajo correctivo	Ocurrencia de órdenes de trabajo correctivo	Acumulado de ocurrencias de órdenes de trabajo correctivo
Suspensión	53	29.44%	29.44%
Llanta	44	24.44%	53.89%
Eléctrico	24	13.33%	67.22%
Chasis	18	10.00%	77.22%
Motor	13	7.22%	84.44%
Neumático	11	6.11%	90.56%
Freno	7	3.89%	94.44%
Hidráulico	7	3.89%	98.33%
Transmisión	3	1.67%	100.00%
Total general	180	100%	

Nota: Elaboración propia. Información adoptada del sistema ERP SAP del área de mantenimiento de equipos móviles.

Respecto al sobrecosto de las intervenciones por mantenimiento correctivo; contrasta con lo proyectado anual, el cual los costos anuales correctivos representen el 25% o menos del total de costos de mantenimiento total. El costo total de intervenciones de mantenimiento no planificado anual se desfasa en un 10.31% de lo proyectado.

Tabla 3

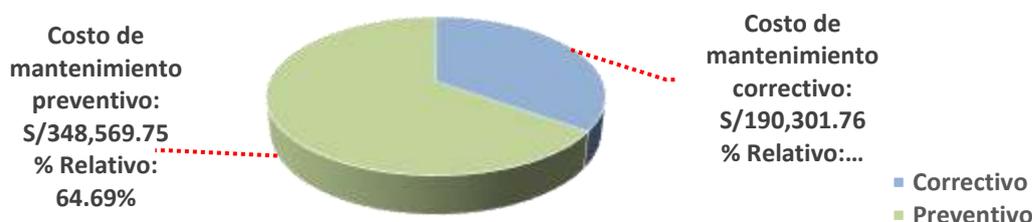
Resultado anual de costos de mantenimiento en la flota de volquetes

Costo anual de mantenimientos en la flota de volquetes Volvo FMX 8X4R			
Tipo de mantenimiento	Cuenta total de costos	Porcentaje de la cuenta total de costos	Desfase de costos
Correctivo	S/190,301.76	35.31%	
Preventivo	S/348,569.75	64.69%	10.31%
Total	S/538,871.51	100.00%	

Nota: Elaboración propia. Datos tomados del área de mantenimiento de equipos.

Figura 2

Resultado anual de los costos de mantenimientos correctivos y preventivos



Nota: Elaboración propia. Datos tomados del área de mantenimiento de equipos.

De total de intervenciones correctivas, resalta principalmente los costos globales por fallas de repuestos que conforman al sistema de suspensión de la flota de volquetes.

Tabla 4

Costos globales de intervenciones correctivas en la flota por sistemas

Costos globales de eventos correctivos del periodo 2020-2021			
Grupo funcional del volquete Volvo FMX 8X4R	Costos globales correctivos	Porcentaje relativo	Porcentaje acumulado
Suspensión	S/120,417.62	63.28%	63.28%
Eléctrico	S/16,816.20	8.84%	72.11%
Llanta	S/17,283.19	9.08%	81.20%
Chasis	S/14,853.22	7.81%	89.00%
Motor	S/12,685.79	6.67%	95.67%
Freno	S/3,838.67	2.02%	97.68%
Neumático	S/3,242.08	1.70%	99.39%
Transmisión	S/675.53	0.35%	99.74%
Hidráulico	S/489.46	0.26%	100.00%
Total general	S/190,301.76	100%	

Nota: Elaboración propia. Información adoptada del sistema ERP SAP del área de planeamiento de equipos móviles.

Dichas fallas, aparte de ocasionar sobrecostos, también afecta al cliente con su producción por la indisponibilidad por fallas de los volquetes alquilados; y por contrato, el cliente no asume el pago de la tarifa horaria de alquiler por las horas pérdidas.

Tabla 5

Tarifa no asumida por indisponibilidad operativa en la flota de volquetes

<u>Pérdida en la tarifa por indisponibilidad operativa 2020-2021</u>	
Tiempo proyectado a operar por año	7300 Horas / Flota
Precio de alquiler	70 Soles / Hora
Indisponibilidad por falla	21.95 %
Disponibilidad operativa	78.05%
Monto total no asumido por el cliente	112,153.64 Soles / Flota

Nota: Elaboración propia. Datos tomados del área de mantenimiento de equipos.

Con el propósito de que no se acumule las pérdidas, cuando la falla es compleja y demande más tiempo de lo debido, la empresa afronta pérdidas relacionado al préstamo de un equipo de emergencia para suplir al equipo no operativo.

Tabla 6

Pérdida anual por préstamo de volquete por suplencia

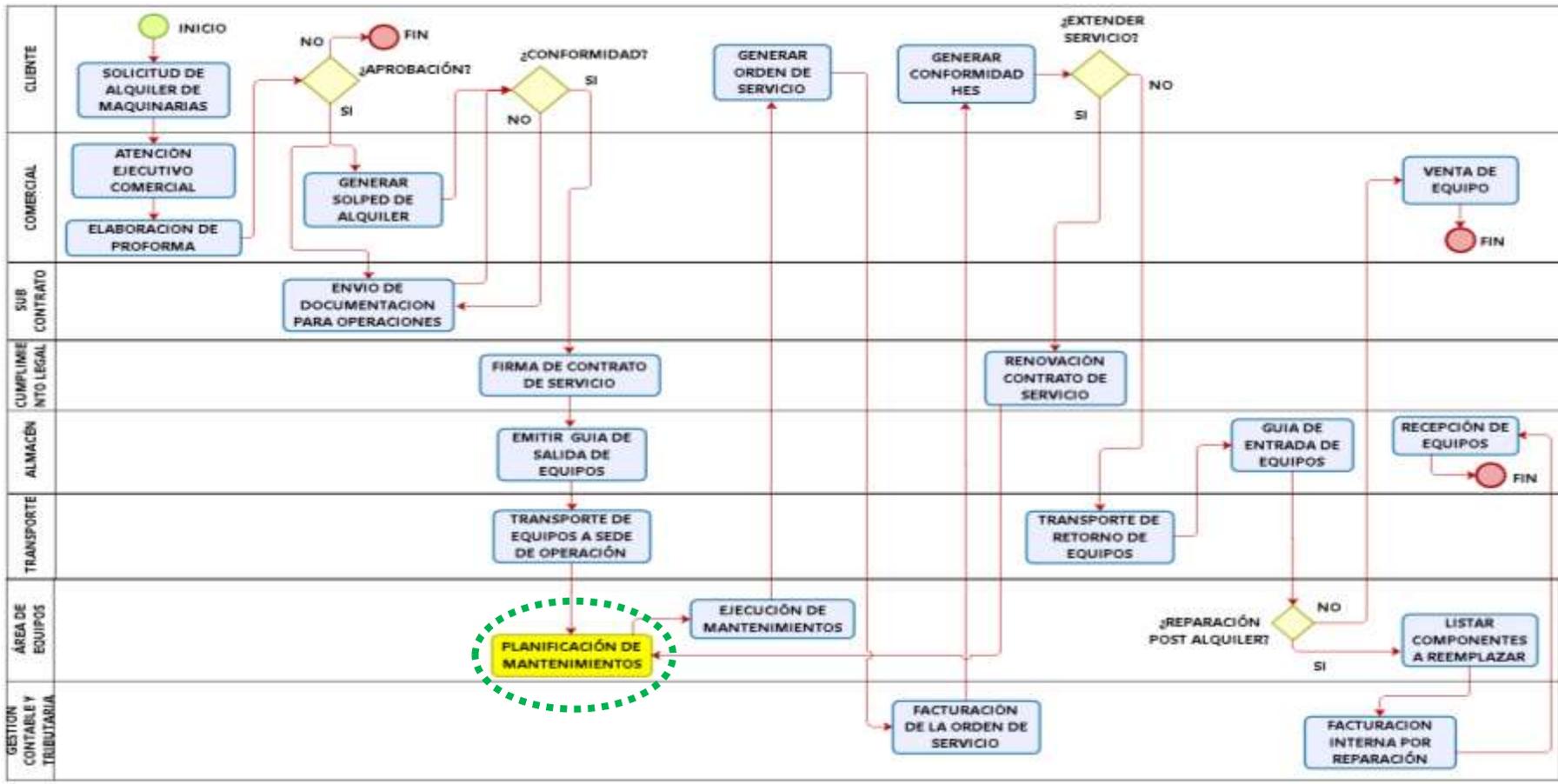
<u>Préstamo de volquete por emergencia 2020-2021</u>	
Pérdida por consumo de petróleo de equipo prestado	317,234.59 Soles
Pérdida por traslado de equipo prestado	169,964.00 Soles
Pérdida de alquiler por equipo prestado	112,153.64 Soles
Monto total por Préstamo	647,418.08 Soles

Nota: Elaboración propia. Datos tomados del área de mantenimiento de equipos. El abastecimiento de petróleo durante la operación de los equipos, lo asume otro contratista especializado en la gestión y transporte de dicho consumible; si se presta un volquete de emergencia, lo asume Zapler S.A.C.

Analizando el proceso de servicio, se identifica que la planificación está involucrada con el desfase de los eventos correctivos (Ver figura 3). En la planificación, se identifica en el proceso de mantenimiento correctivo, no se analiza el nivel de riesgo de las fallas para la mejora continua en el área de equipos, simplemente se ejecuta el mantenimiento y se archiva las tareas realizadas mediante un informe técnico (Ver figura 4).

Figura 3

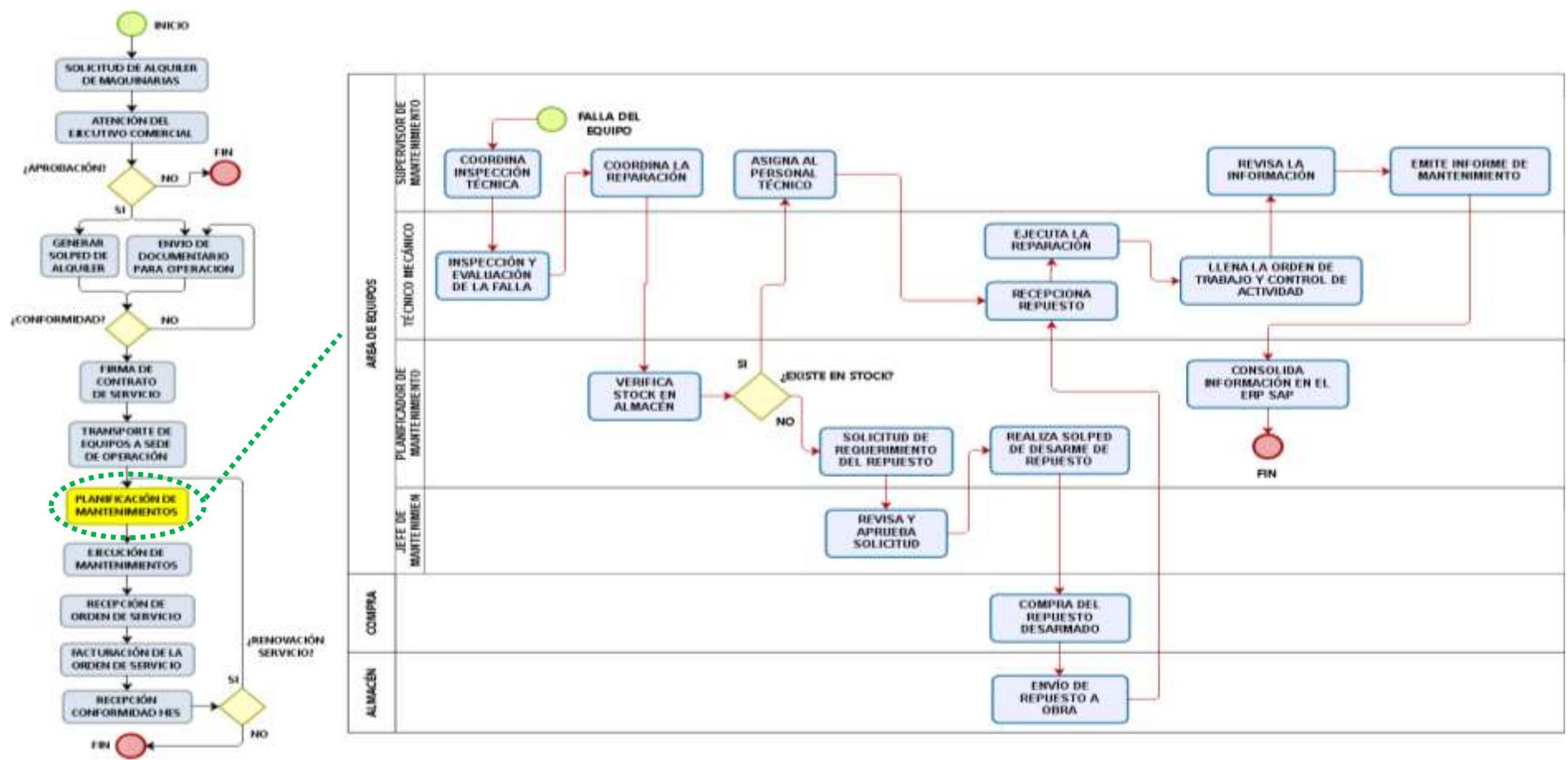
Proceso de alquiler y servicio de maquinarias



Nota: Elaboración propia. Datos tomados del área de servicio de alquiler de equipos de construcción.

Figura 4

Proceso de mantenimiento correctivo



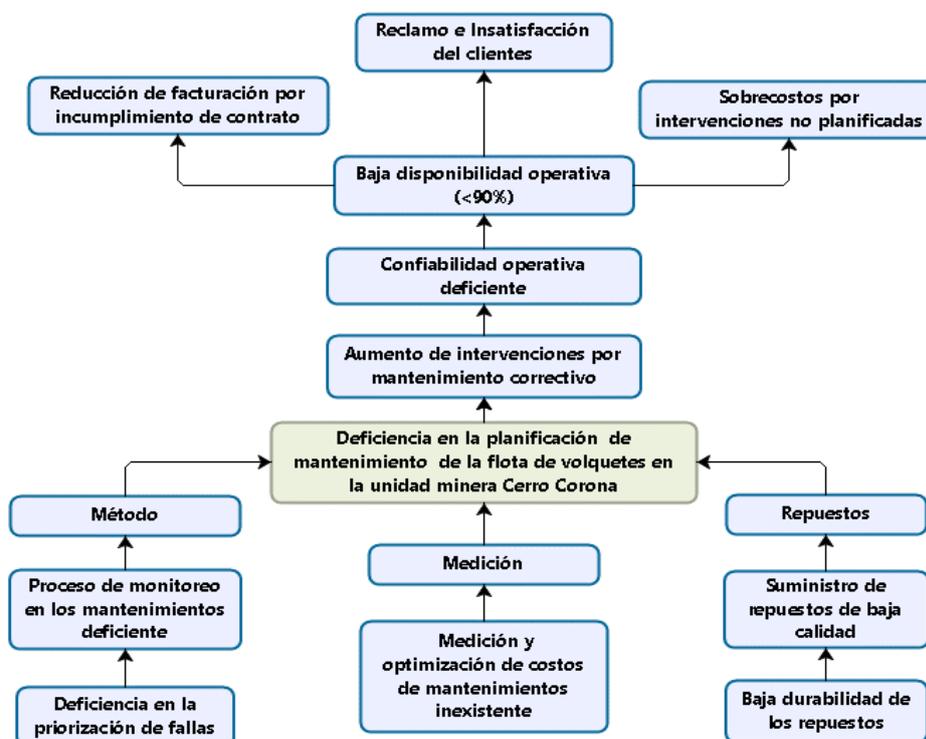
Nota: Elaboración propia. Datos tomados del área de mantenimiento de equipos.

De acuerdo a lo analizado, la baja disponibilidad, las pérdidas en la facturación, los sobrecostos de mantenimiento y las pérdidas por préstamo de equipos de emergencia a causa de las intervenciones correctivas en la flota de volquetes, se debe a la problemática de la deficiencia en la planificación de mantenimientos.

Sobre las causales de la problemática, se consideran a los factores de metodología, medición y repuestos. Respecto al factor metodología, resalta la deficiencia en la priorización de fallas en los sistemas que conforman los volquetes; respecto al factor repuesto, resalta la baja durabilidad operativa por el suministro de repuestos de baja calidad para los mantenimientos y respecto al factor medición, resalta la falta de un modelo de optimización que involucra el costo y riesgo. Dichos factores son relevantes para saber la herramienta de gestión a utilizar para poder subsanar la deficiencia en la planificación de mantenimientos.

Figura 5

Diagrama de árbol del problema, causa y efecto



Nota: Elaboración propia.

2.2. Formulación del problema

2.2.1. Problema General

¿Cómo la implementación de un sistema de mantenimiento basado en la confiabilidad influye en la mejora del servicio de entrega de la flota de volquetes en la unidad minera Cerro Corona?

2.2.2. Problemas específicos

¿Cómo la priorización de riesgo operativo influye en la disponibilidad de la flota de volquetes en la unidad minera Cerro Corona?

¿Cómo la durabilidad operativa de repuestos influye en la disponibilidad de la flota de volquetes en la unidad minera Cerro Corona?

¿Cómo el modelo de optimización costo y riesgo influye en el tiempo indisponible por mantenimiento de la flota de volquetes en la unidad minera Cerro Corona?

2.3. Justificación de la investigación

2.3.1. Justificación teórica

Se busca posibles soluciones a los problemas operativos de maquinarias en base a conceptos relacionados al análisis de riesgos e incertidumbre de fallos. Aporta información académica a investigadores de la especialidad del mantenimiento y sirve como antecedente para que otras empresas del sector de construcción o producción sigan los mismos pasos e inicien el proceso de mejora continua con sus propios activos.

2.3.2. Justificación económica

Genera el aumento de la rentabilidad de la empresa en función de la operatividad de la flota de maquinarias que intervienen en el proyecto minero. Se tiene la oportunidad de reducir los costos de mantenimiento de los activos y aumentar la facturación por su

disponibilidad durante el servicio de alquiler, generando el ahorro. Directamente Zapler S.A.C. se beneficia con el ahorro de los costos mientras que indirectamente atrae a otros clientes por la calidad de sus servicios, teniendo la oportunidad de generar nuevos contratos.

2.3.3. Justificación práctica

Implica la búsqueda de solución frente a la problemática que afronta la empresa con las frecuentes fallas de los componentes que conforman los volquetes para rendir de manera óptima la alta exigencia del sector minero. La metodología de solución debe ser la adecuada, cuya implementación no afecte al proceso productivo del cliente como también no afecte la rentabilidad de la empresa contratista.

2.3.4. Justificación metodológica

Se adopta una metodología que permite la mejora continua a lo que se refiere a la planificación de mantenimientos. Por ello, se tiene la oportunidad de implementar una metodología de análisis cualitativo y cuantitativo que refuerza a la gestión existente en la empresa; permitiendo el desarrollo interno en la gestión de mantenimiento.

2.4. Limitaciones

2.4.1. Limitación temporal

El desarrollo de la investigación inicia en el año 2020 hasta el 2021. Dicho periodo se considera adecuado para la recolección, análisis y procesamiento de información; debido a que quiere reflejar resultados anuales.

2.4.2. Limitación espacial

La investigación se realizó en la unidad minera Cerro Corona, perteneciente a la empresa internacional Gold Fields. Dicha unidad se ubica en el departamento de Cajamarca, provincia Hualgayoc y en el distrito Hualgayoc.

2.4.3. Limitación conceptual

La investigación se basa en los conceptos de la gestión de mantenimiento basado en la confiabilidad operativa de activos, con el fin de tener volquetes disponibles para el transporte de minerales durante su alquiler al cliente.

2.5. Objetivos de la investigación

2.5.1. Objetivo General

Implementar un sistema de mantenimiento basado en la confiabilidad para mejorar el servicio de entrega de la flota de volquetes en la unidad minera Cerro Corona.

2.5.2. Objetivos específicos

Mejorar mediante la priorización de riesgo operativo, la disponibilidad de la flota de volquetes en la unidad minera Cerro Corona.

Mejorar mediante la durabilidad operativa de repuestos, la disponibilidad de la flota de volquetes en la unidad minera Cerro Corona.

Mejorar mediante el modelo de optimización costo y riesgo, el tiempo indisponible por mantenimiento de la flota de volquetes en la unidad minera Cerro Corona.

Capítulo III: Marco teórico

3.1. Antecedentes del problema

3.1.1. Antecedentes internacionales

Alave, E., (2016), de la Universidad mayor de San Andrés, La Paz-Bolivia; en la investigación, para afrontar la falta de mantenimiento electromecánico por la deficiencia en la planificación, se implementó una metodología de gestión de mantenimiento basada en el riesgo de una micro central hidroeléctrica, con el objetivo de priorizar los repuestos críticos,

jerarquizar las fallas y mejorar la confiabilidad operacional, teniendo como resultado la identificación de 80 causas de fallas a tratar.

Moreno, F., (2017), de la Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso-Chile, en su investigación para afrontar el riesgo e incertidumbre de fallas de equipos en una central termoeléctrica; cuyo objetivo es determinar en los repuestos el nivel de riesgo de fallas, probabilidad de ocurrencia, se implementó un plan de inspección basada en el riesgo. Los resultados respecto al indicador de riesgo indican con el valor de 1.584463896 a la cañería de recalentado caliente y con 0.793156088 la línea de recalentado frío como las más críticas y que se debe invertir recursos para sus mantenimientos respectivos.

Ninacuri, J., (2016), de la Universidad Técnica de Ambato, Ambato-Ecuador; en su investigación para afrontar la baja disponibilidad, confiabilidad y sobrecostos de mantenimientos por la deficiencia en la planificación en una flota de 36 maquinarias; cuyo objetivo es priorizar las fallas de acuerdo al riesgo que representan e incrementar la disponibilidad, se implementó un plan de mantenimiento basada en la probabilidad de riesgo. Los resultados son los sistemas hidráulicos, potencia y transmisión considerados como críticos y su tratamiento nos da como disponibilidad promedio de la flota de un 86.12%, cuya disponibilidad más baja es de 92.76% y la más alta es de 98.97%.

Ruiz. C., (2018), de la Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso-Chile; en su investigación, para afrontar el riesgo e incertidumbre de fallas de equipos en equipos de las dos líneas de envasado de botellas de vino, se implementó un plan de gestión de mantenimiento basada en el riesgo, con el objetivo de priorizar los componentes críticos y tener una mejor confiabilidad en la línea de envasado, teniendo como resultado la identificación y el tratamiento de 5 equipos considerados como críticos, 6 medianamente críticos y 42 no críticos.

Zamora. I., (2018), de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Quilpué-Chile; en su investigación, para afrontar la baja productividad y sobrecostos por la deficiencia de la planificación, se implementó una metodología basada en el riesgo en los repuestos que conforman un molino planetario de bolas, con el objetivo de priorizar los componentes críticos y tener una frecuencia confiable en el control de tiempos de paradas por mantenimiento, teniendo como resultado un plan de mantenimiento ajustado al contexto operacional, presentado un ahorro total anual de 85 millones de pesos chilenos.

3.1.2. Antecedentes nacionales

Alfaro, W., (2019), de la Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo-Perú, en su investigación para afrontar el estancamiento en el proceso de producción por la deficiencia de su planificación en mantenimiento a las máquinas industriales y de transporte como montacargas y volquetes; cuyo objetivo es mejorar la confiabilidad y disponibilidad operativa, se implementó una metodología de gestión basado en el riesgo. Los resultados obtenidos es el incremento de la disponibilidad en un 4.39% y confiabilidad en un 0.25%, siendo rentable con un beneficio neto anual de 26,387.9 dólares, con un retorno sobre la inversión de 305.84%.

Peláez, Y. y Valcárcel, R., (2019), de la Universidad Privada del Norte, Cajamarca - Perú, en su investigación para afrontar la baja disponibilidad durante su operación en el sector minero por la deficiencia en la planificación de repuestos en una flota de 4 palas hidráulicas; cuyo objetivo es mejorar el proceso de toma de decisión del área de mantenimiento, se utilizó la distribución de Weibull como herramienta de apoyo para la toma de decisión en cuanto al reemplazo óptimo de repuestos críticos. Los resultados obtenidos es el incremento de la confiabilidad de 95% a 97%; generando un beneficio neto anual de 4,065 dólares

Ortiz, F., (2017), de la Universidad César Vallejo, Trujillo-Perú, en su investigación, para afrontar la baja productividad en el acarreo de materiales por la deficiencia de la planificación en una flota de 15 diferentes maquinarias pesadas; cuyo objetivo es la reducción de los costos por retrasos e incremento de la disponibilidad operativa, se implementó una metodología de gestión basado en el riesgo. Los resultados obtenidos es el incremento de la confiabilidad de 91.44% a 96.52% y la disponibilidad de 88.32% a 94.25%; obteniendo anualmente un beneficio de 102,250.411 dólares.

Salazar, G. y Puma, J., (2017), de la Universidad Privada del Norte, Cajamarca-Perú, en su investigación para afrontar la baja productividad de la extracción de mineral por la deficiencia de la planificación en una flota de 10 palas hidráulicas; cuyo objetivo es equilibrar costos de mantenimiento e incrementar la disponibilidad operativa, se implementó una metodología de gestión enfocada en el nivel de riesgo. Los resultados obtenidos es el abasteciendo del almacén con 44 repuestos críticos y una disponibilidad mecánica del 96%; siendo rentable con un valor actual neto de 1, 861,788 dólares con una tasa interna de retorno de 519%.

Sandoval, G., (2016), de la Universidad Católica de Santa María, Arequipa-Perú, en su investigación para afrontar la criticidad de los repuestos en los sistemas que conforman los camiones mineros CAT modelo 797F por la falta de una metodología que acorde al riesgo; cuyo objetivo es la mejora de la confiabilidad operacional del sistema crítico Power Shift, se implementó una metodología de gestión enfocada en el nivel de riesgo. Los resultados obtenidos es el incremento de la confiabilidad en un 50%; siendo rentable con un ahorro en corto plazo con un valor de 65,590.94 dólares.

3.2. Bases teóricas

3.2.1. Sector minero

Perú a nivel mundial, es uno de los países con mayor potencial geológico en cuanto a recursos. Por ello el ministerio de energía y minas del Perú (2021) sustenta:

En Latinoamérica, Perú posee las mayores reservas de oro, plata, plomo y molibdeno. En los últimos 10 años, las operaciones mineras del país dieron como resultados que el producto bruto interno llegue al 10%, cooperó con el 60% de las exportaciones y el 23% de la inversión extranjera (p. 2).

Figura 6

Producción minera metálica en el periodo 2020-2021

Metal		Abril			Enero-Abril		
		2020	2021	Var. %	2020	2021	Var.
Cobre	(TMF)	125,249	173,151	38.2%	640,079	704,210	10.0%
Oro	(g finos)	5,067,681	7,529,760	48.6%	32,609,786	30,233,179	-7.3%
Zinc	(TMF)	16,515	128,984	681.0%	367,888	519,380	41.2%
Plata	(kg finos)	77,260	256,891	232.5%	836,992	1,044,637	24.8%
Plomo	(TMF)	4,383	21,562	391.9%	74,462	85,615	15.0%
Hierro	(TMF)	-	1,028,608	+	2,438,058	3,860,738	58.4%
Estaño	(TMF)	-	2,338	+	4,978	8,773	76.2%
Molibdeno	(TMF)	2,115	2,496	18.0%	9,235	10,605	14.8%

Nota: Adaptado de “Boletín estadístico minero”, Ministerio de energía y minas del Perú, 2021, 4, p. 4.

Entre las unidades mineras más reconocidas del país, resalta Cerro Corona, el cual se realizan actividades de perforación, detonación, extracción, carga y transporte de minerales como el cobre y oro.

3.2.2. Acarreo de minerales

Peña (2019) sustenta que “el acarreo traslada material estéril desde el yacimiento hacia destinos de acuerdo a la naturaleza del mineral. Está sujeto a tiempos proyectados con el objetivo de llegar a una meta” (p. 24).

Figura 7*Operaciones de transporte de minerales*

Nota: Adaptado de la página web Gold Fields.

3.2.3. Camión volquete

Los volquetes, son los activos partícipes en el de transporte de minerales, afrontando factores externos como el terreno, clima y la exigencia operativa. Cascajosa (2005) sustenta que “es un vehículo motorizado, diseñado para generar potencia, vencer las resistencias de rodadura, pendiente, inercia y aire para poder moverse y transportar materiales (p. 17).

Figura 8*Camión volquete en operación de transporte de material*

Nota: Adaptado de la página web Volvo Trucks.

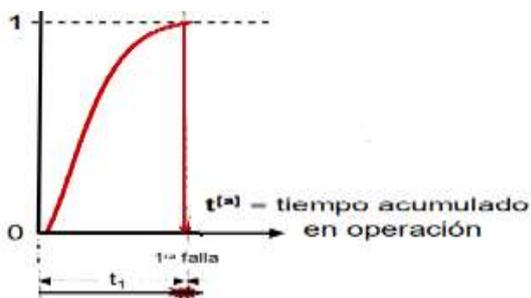
3.2.4. Repuestos

Yáñez, Gómez y Valbuena (2004) sustentan que “son componentes mecánicos y eléctricos que conforman los grupos funcionales de los equipos mayores; pueden ser reparables o no reparables” (p. 189). El ciclo de vida útil depende de la tasa de fallas.

3.2.4.1. Repuestos no reparables. Yáñez, Gómez y Valbuena (2004) sustentan que “son activos, cuyo ciclo de vida útil termina una vez que se presenta una falla, y por lo tanto debe ser reemplazado” (p.190). Los repuestos no reparables están sujetos a sustituciones cíclicas y la frecuencia lo determina el fabricante, sustentado en el plano de mantenimiento.

Figura 9

Ciclo de vida en un activo no reparable

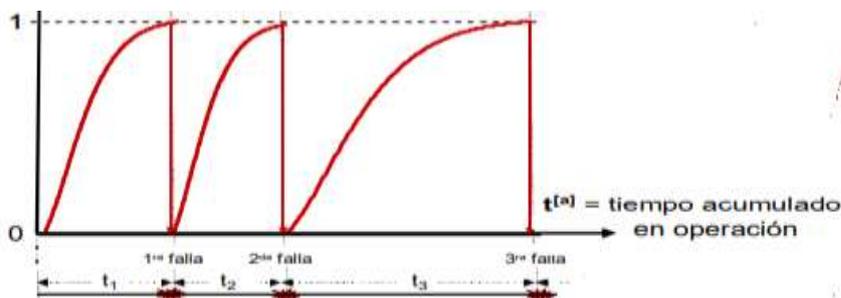


Nota: Adaptado de “Ingeniería de Confiabilidad y análisis probabilístico de riesgo”, por Yáñez, M., Gómez, H. & Valbuena, G., 2004, Reliability and Risk Management, S.A., 1, p. 220.

3.2.4.2. Repuestos reparables. Yáñez, Gómez y Valbuena (2004) afirman que “son aquellos activos que pueden ser reparados cada vez que se presenta una falla y por ello la vida útil se recupera” (p.218). El reacondicionamiento es cíclico, pero limitado y la frecuencia lo determina el fabricante del equipo, sustentado en el plano de mantenimiento.

Figura 10

Ciclo de vida en activo reparable



Nota: Adaptado de “Ingeniería de Confiabilidad y análisis probabilístico de riesgo”, por Yáñez, M., Gómez, H. & Valbuena, G., 2004, Reliability and Risk Management, S.A., 1, p. 220.

3.2.5. Grupos funcionales del volquete

Conocidos como sistemas, los grupos funcionales es el conjunto de repuestos, ya sean reparables o no reparables, los cuales de manera sincronizada cumplen una función determinada para la operatividad de la maquinaria.

3.2.5.1. Grupo funcional de motor. Cascajosa (2005) sustenta que “es el conjunto de repuestos sincronizados para transformar la energía química a trabajo mecánico, cumpliendo el proceso de admisión, compresión, combustión y expulsión de gases” (p. 93).

3.2.5.2. Grupo funcional de suspensión. Cascajosa (2005) sustenta que “es el conjunto de repuestos sincronizados funcionalmente para reducir los impactos de la rueda con el suelo” (pp. 373-374).

3.2.5.3. Grupo funcional de llantas. Cascajosa (2005) sustenta que “es el conjunto de repuestos que permiten la adherencia, rodadura y orientación del equipo sobre el suelo” (p. 373). Los neumáticos son los principales componentes, el cual su fabricación está destinada para el desgaste; dicho desgaste puede ser prematuro o anormal.

3.2.5.4. Grupo funcional de freno. Cascajosa (2005) sustenta que “es el conjunto de repuestos que vencen la fuerza de frenado, disminuyendo la velocidad de los equipos en movimiento. Está conformado por componentes que cumplen con las exigencias de desaceleración media, distancia de frenada y seguridad del control por el frenado” (p. 117).

3.2.5.5. Grupo funcional de chasis. Cascajosa (2005) sustenta que:

Es un armazón que soporta los repuestos que conforman la maquinaria, como también de la carga de materiales durante el traslado. La distancia entre ejes, la longitud de la tolva y el peso influye en el estudio y diseño del chasis para poder distribuir las fuerzas que actúan sobre ella (p. 201).

3.2.5.6. Grupo funcional de transmisión. Dávila (2019) sustenta que “es el conjunto de componentes que facilitan la transmisión de potencia desde el motor hasta los mandos finales del equipo de acuerdo a la exigencia demandada por el operador del equipo durante el proceso de producción” (p. 43).

3.2.5.7. Grupo funcional hidráulico. Cascajosa (2005) sustenta que “activa el embrague, Facilitando la maniobra del equipo cuando el par resistente es grande y transmite potencia entre la bomba hidráulica y turbina mediante la energía cinética del aceite hidráulico” (pp. 128,372). Influye también en generar la fuerza necesaria para la maniobra de la dirección y en el levante de la tolva.

3.2.5.8. Grupo funcional eléctrico. Caldas (2019) sustenta que “abastece de energía eléctrica por medio de un arnés desde la batería hacia los a componentes eléctricos para el arranque e iluminación como también a componentes electrónicos para el control del funcionamiento del motor” (p. 48).

3.2.6. *Falla de activos*

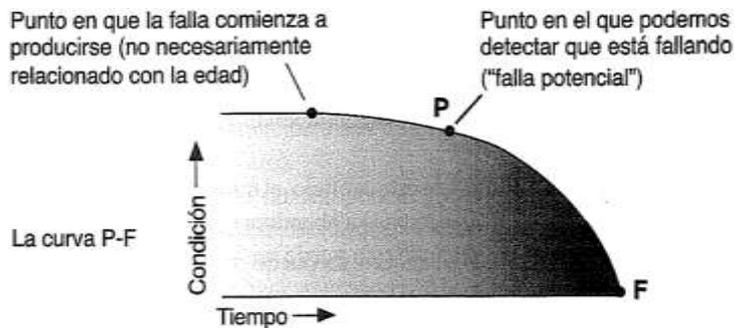
Moubray (2004) sustenta que “es la incapacidad de un activo en operar de acuerdo a la expectativa del propietario, generando la indisponibilidad operativa, generando inconformidad por la falta de productividad del mismo” (p. 49). La falla puede ser potencial o funcional.

3.2.6.1. Falla potencial. Moubray (2004) sustenta que:

Es un estado identificable en un activo, el cual indica que la falla funcional está en proceso de ocurrir. Para poder afrontar las fallas potenciales, se realizan tareas a condición; informando al investigador en poder estimar el momento adecuado para intervenir y evitar que se origine la falla funcional y sus consecuencias (pp. 148,149).

Figura 11

Ubicación de la falla potencial en la condición del activo

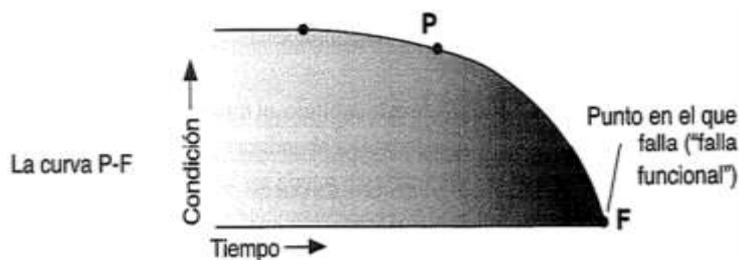


Nota: Adaptado de “Mantenimiento centrado en confiabilidad”, por Moubray, J., 2004, Gran Bretaña: Biddles, S.A., 2, p. 148.

3.2.6.2. Falla funcional. Moubray (2004) sustenta que “es la incapacidad de un activo en operar dentro de los estándares de funcionamiento según su diseño” (p. 50). Con relación a la falla funcional, previamente se manifiesta como falla potencial, el cual no se haya ejecutado un mantenimiento.

Figura 12

Ubicación de la falla funcional en la condición del activo



Nota: Adaptado de “Mantenimiento centrado en confiabilidad”, por Moubray, J., 2004, Gran Bretaña: Biddles, S.A., 2, p. 148.

3.2.7. Gestión

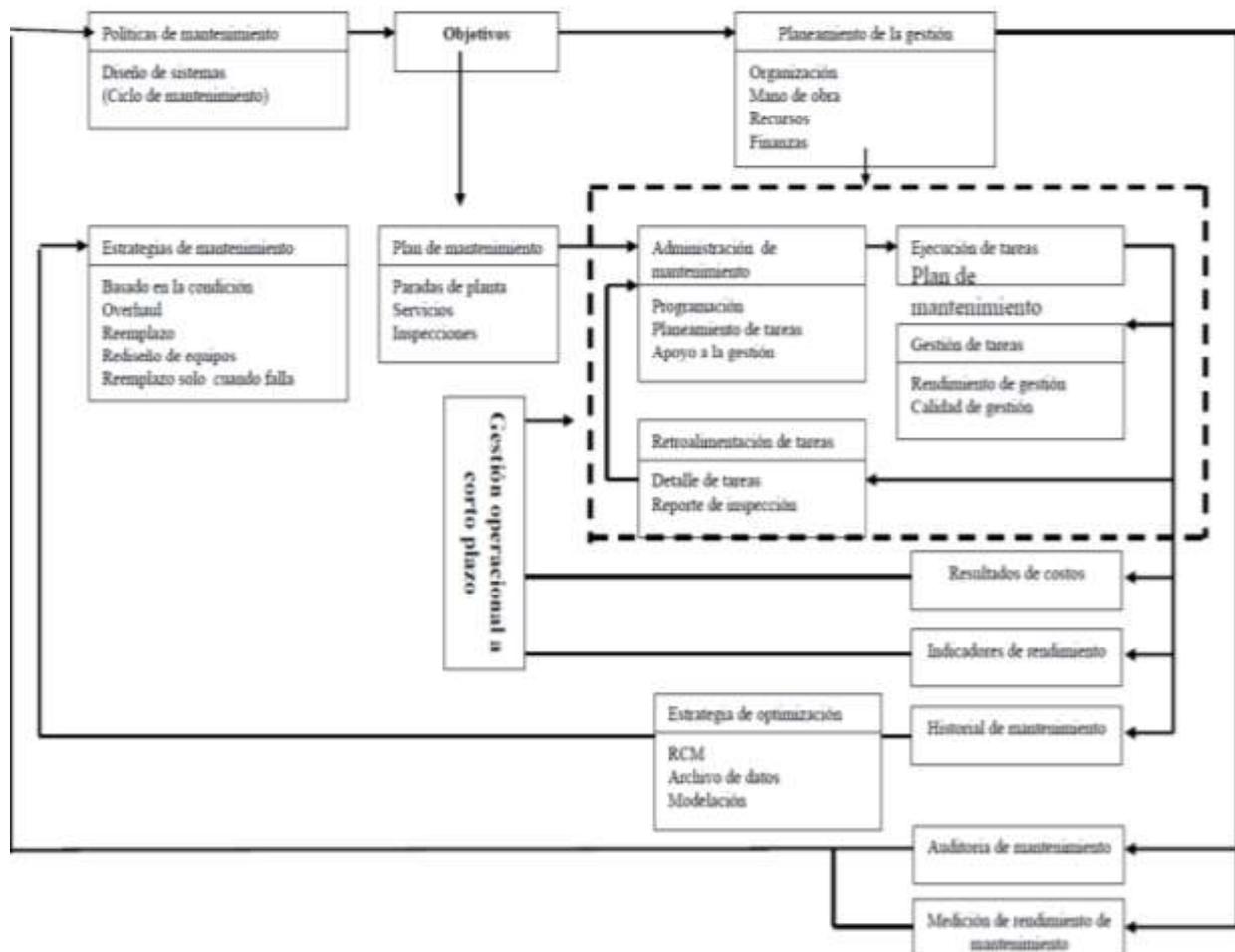
Mora (2009) sustenta que “es la administración de los recursos humanos, financieros, data base y activos, con el fin de crear bienes en la empresa que los contiene. El tipo de gestión a adoptar depende de las necesidades internas y de la situación económica” (p. 54).

3.2.8. Gestión de mantenimiento

Navarro, Pastor y Mugaburu (1997) citado en Mora (2009) define que “enlaza la gestión interna del área de mantenimiento de equipos y la gestión que integra a los demás departamentos de la empresa” (p. 37). La gestión interna, depende del manejo de los recursos destinados al mantenimiento; la gestión que integra demás departamentos con el área de mantenimiento define las metas, objetivos y estrategias. La gestión está sujeto a un ciclo de mejoramiento, conformado por la planificación, programación, ejecución y control.

Figura 13

Principio de gestión a largo plazo



Nota: Adaptado de “Propuesta de diseño de un sistema de gestión de mantenimiento para una empresa de servicios de elevación de Lima”, por Donayre, E., 2014, p. 12.

Amador (2005) detalla sobre el ciclo de mejoramiento en el mantenimiento que:

La planificación define los objetivos a alcanzar y estandariza la estructura del procedimiento de mantenimientos de acuerdo a las políticas y prioridades de la empresa. La programación establece los tiempos esperados de inicio y fin del mantenimiento, asignando recursos de acuerdo a las necesidades de la planificación. La ejecución vincula la dirección y la coordinación de las actividades generadas en los procesos de planificación y programación. El control es la comprobación de que los equipos están operado sin desviaciones de acuerdo a lo planificado (p. 22).

3.2.9. Planificación del mantenimiento

Barros (2015) define que “garantiza el cumplimiento de los objetivos de la empresa, definiendo qué estrategia de mantenimiento se va a realizar, a qué equipos, cómo, dónde, quién, con qué frecuencia, con qué y el tiempo requerido de intervención” (p. 6).

Mora (2009) sustenta que “una buena planificación es vital para la gestión de mantenimiento, generando el ahorro en los costos de mantenimiento, convirtiéndose en ingresos para la organización” (p. 31).

3.2.10. Mantenimiento

García (2010) sustenta que “es el conjunto de técnicas destinados a conservar el funcionamiento de activos ante las futuras fallas que pueden presentarse durante el ciclo de vida de las maquinarias” (p. 1).

Mora (2009) sustenta que “el mantenimiento comprende de tres elementos determinantes como los mantenedores, las máquinas y el entorno donde se realizan las tareas” (p. 48). Sobre los mantenedores depende de la capacidad para diagnosticar y reparar las

diferentes situaciones de fallas en una máquina, en el caso de las máquinas depende de la facilidad de contar de los repuestos y sobre el entorno se considera la organización del taller como la disponibilidad de las herramientas necesarias para realizar las actividades de mantenimiento.

3.2.11. Estrategias de mantenimiento

Conocidos también como tipos de mantenimientos. De los más utilizados en las programaciones son el mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo.

3.2.11.1. Mantenimiento preventivo. Moubray (2004) sustenta que “son tareas proactivas efectuadas antes de la ocurrencia de una falla funcional en un componente con la intención de evitar la no disponibilidad de la maquinaria en general” (p. 133). Los mantenimientos preventivos se realizan a repuestos cuyas fallas funcionales representan un alto riesgo operativo. La frecuencia de intervenciones preventivas inicialmente lo determinan el fabricante, el cual está sujeta a variación dependiendo de la exigencia al activo.

3.2.11.2. Mantenimiento predictivo. Moubray (2004) sustenta que “son tareas basadas en la condición física de los activos, el cual se identifican las fallas potenciales, antes de que lleguen a ser fallas funcionales que afecten la disponibilidad operacional de los equipos” (p. 149). El objetivo es predecir las fallas potenciales, identificando el intervalo de tiempo que se tiene hasta que falle funcionalmente y así definir la prevención adecuada.

3.2.11.3. Mantenimiento correctivo. Mora (2009) sustenta que “son actividades aplicados a los activos, cuando éstos dejan de funcionar completamente a causa de averías. El objetivo del mantenimiento es restaurar la operatividad” (p. 427). La calidad del mantenimiento depende del tiempo que tome la reparación del repuesto, por ello depende del diagnóstico, capacidad del técnico y las pruebas post reparación para tener el equipo operativo.

3.2.12. Metodologías de mantenimiento

Pistarelli (2005) define que “son modelos de gestión conformados por actividades estructuradas, con el fin de optimizar el uso de las estrategias de mantenimiento, y con ello generar valor” (p. 361). Las metodologías guían al investigador el saber equilibrar las estrategias de mantenimiento para tener el equipo disponible para producir.

3.2.13. Gestión de confiabilidad operacional

Moreno y Quevedo (2002) definen que “es un sistema que integra metodologías de mantenimiento para garantizar la operatividad del activo tomando como base los riesgos que pueden estar sujetos (p. 136).

Figura 14

Confiabilidad operacional



Nota: Adaptado de “Adaptación e integración de las metodologías de confiabilidad para mejorar la gestión de mantenimiento en plantas de distribución de combustible de PDVSA”, por Moreno, E. & Quevedo, F., 2014, p. 130.

3.2.14. Mantenimiento basado en el riesgo

Es una metodología de la gestión de confiabilidad operacional, representado por la abreviatura MBR. Crismatt y Valencia (2012) definen que “identifica y proyecta los riesgos a

causas de fallas que puede estar sujeto el equipo para su posterior tratamiento de acuerdo a su criticidad. Se usa el riesgo como base de priorización y la gerencia para los planes de inspección” (p. 14).

Con relación al término riesgo, Yáñez, Gómez y Valbuena (2004) sustentan que “son las posibles consecuencias de pérdidas económicas y operativas a causa de la aparición de una falla en el activo” (p. 30). Los riesgos se priorizan según el nivel de impacto con la seguridad, medio ambiente y la calidad operativa de los equipos durante su uso.

Figura 15

Fases del análisis en el mantenimiento basado en el riesgo



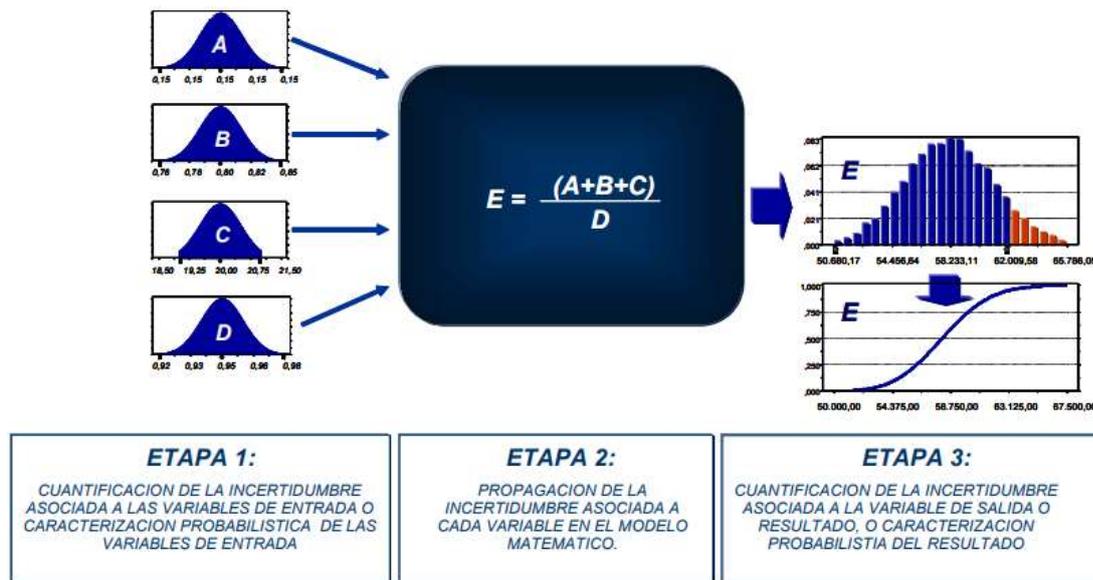
Nota: Adaptado de “Ingeniería de Confiabilidad y análisis probabilístico de riesgo”, por Yáñez, M., Gómez, H. & Valbuena, G., 2004, Reliability and Risk Management, S.A., 1, p. 315.

3.2.14.1. Fase del dimensionamiento del riesgo. Consiste en la identificación del riesgo. Yáñez, Gómez y Valbuena (2004) sustentan que “se estima las probabilidades de ocurrencias de las fallas y sus consecuencias” (p. 316). En dicha fase se cualifica y cuantifica el riesgo de las fallas, Osorio (2015) sustenta que “según el riesgo, se clasifica los equipos a evaluar; se define la función que cumple en su contexto operativo e identifica, mide y compara los parámetros de operación con el de diseño de acuerdo al fabricante” (p. 17).

El proceso pasa secuencialmente por 3 etapas, las cuales son la caracterización probabilística de datos de entrada, propagación de la incertidumbre y la caracterización probabilística de los datos de salida del escenario no deseado.

Figura 16

Etapas de la fase dimensionamiento del riesgo



Nota: Adaptado de “Ingeniería de Confiabilidad y análisis probabilístico de riesgo”, por Yáñez, M., Gómez, H. & Valbuena, G., 2004, Reliability and Risk Management, S.A., 1, p. 130.

La fase de la gerencia del riesgo consiste en la evaluación del riesgo. Yáñez, Gómez y Valbuena (2004) sustentan que “evalúa la tolerabilidad a los niveles de riesgo previamente dimensionados bajo un contexto social, humano, político y económico” (p. 316).

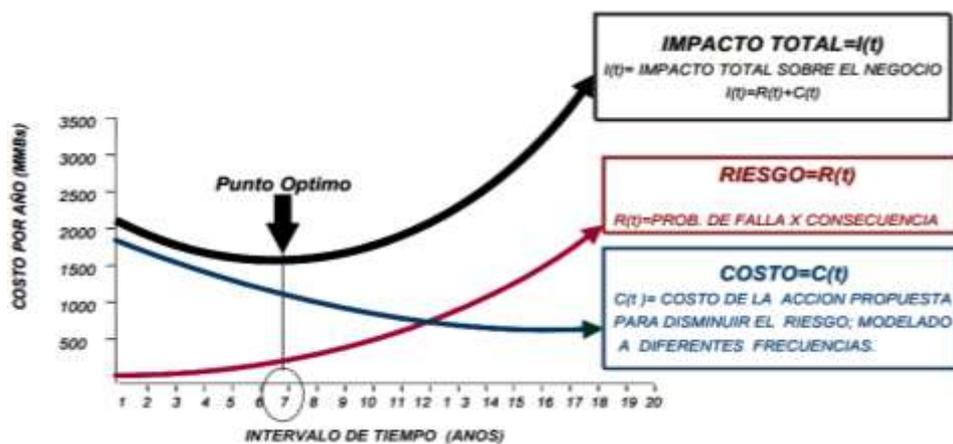
Osorio (2015) sustenta que “se considera el impacto que conlleva las fallas funcionales asociadas al equipo, estas pérdidas podrían impactar a la operación, personas, medio ambiente o la imagen de la empresa entre otros aspectos” (p. 18).

Se considera modelos preestablecidos para determinar la conveniencia de la propuesta que se piensa implementar, Yáñez, Gómez y Valbuena (2004) sustentan que “se considera los escenarios involucrados en la investigación, el tipo de riesgo a evaluar, ya sea financiero,

industrial, social, entre otros” (p. 327). El modelo de optimización por análisis de costo, riesgo beneficio es utilizado ante los escenarios de operación y mantenimiento para la optimización del riesgo y obtener un beneficio al implementar la metodología. Consiste en 3 etapas, los cuales son la cuantificación del costo, cuantificación del riesgo y el impacto total.

Figura 17

Modelo de optimización por análisis de costo, riesgo y beneficio



Nota: Adaptado de “Ingeniería de Confiabilidad y análisis probabilístico de riesgo”, por Yáñez, M., Gómez, H. & Valbuena, G., 2004, Reliability and Risk Management, S.A., 1, p. 339.

En la etapa de la cuantificación del costo, Yáñez, Gómez y Valbuena (2004) sustentan que “se modela los costos en función a los intervalos de tiempo para la acción de mantenimiento propuesto” (p. 338). Como acción propuesta, se considera las intervenciones por mantenimiento preventivo para disminuir los riesgos por fallas.

Costo = No probabilidad de falla x Consecuencia

Donde:

No probabilidad de falla = Confiabilidad operativa

Consecuencia = Costo global por intervenciones preventivas (C_p)

En la etapa de la cuantificación del riesgo, Yáñez, Gómez y Valbuena (2004) sustentan que “se modela las pérdidas por el riesgo en función a los intervalos de tiempo

cuando la acción a ejecutar en caso que el mantenimiento propuesto se frustra” (p. 339). Se considera a las intervenciones por mantenimiento correctivo como el riesgo ante la ineficiencia de las intervenciones por mantenimiento preventivo.

Riesgo = Probabilidad de falla x Consecuencia

Donde:

Probabilidad de falla = No confiabilidad operativa

Consecuencia = Costo global por intervenciones correctivas (Cf)

En la etapa del impacto total, Yáñez, Gómez y Valbuena (2004) sustentan que “se modela el impacto total en función a los intervalos de tiempo de la acción de mantenimiento propuesto, incluido su riesgo” (p. 338). Los resultados determinan el intervalo óptimo de las actividades de mantenimiento preventivo, generando ahorro.

Impacto total = Costo + Riesgo

3.2.14.2. Fase de la comunicación del riesgo. Consiste en las acciones para reducir el riesgo. Yáñez, Gómez y Valbuena (2004) sustentan que “se evalúan los mecanismos para explicar y difundir las estimaciones y decisiones tomadas en las etapas anteriores” (p. 316).

Respecto a otras medidas de comunicación del riesgo, Osorio (2015) sustenta que “las acciones que reducen los riesgos de fallas a niveles aceptables por la empresa constituyen el plan de mantenimiento, estas permiten definir cuáles son las acciones más apropiadas capaces de reducir los distintos niveles de riesgo” (p. 18).

3.2.15. Herramienta de selección de alternativa de solución

Las metodologías de mantenimiento son diversas, pero con el fin de dar solución a los problemas que una empresa pueda afrontar. Por ello se toma en cuenta la evaluación por la matriz AHP (Analytic Hierarchy Process). Ramos y Urbano (2021) sustentan que “es un

método de selección cualitativo, cuya técnica consta en el proceso analítico de jerarquías de las alternativas a evaluar” (p. 49).

Figura 18

Matriz de comparación de criterios

MATRIZ DE COMPARACION												
Factores	Comparaciones por pares (A con B)					Matriz Normalizada						
	Esencia	Metodologia	Ganancias	Deficiencias	Dificultad para la implementacion	Esencia	Metodologia	Ganancias	Deficiencias	Dificultad para la implementacion	Vector Promedio	
Esencia	1,00	0,33	0,25	1,00	4,00	0,11	0,06	0,12	0,12	0,33	0,15	
Metodologia	3,00	1,00	0,33	2,00	2,00	0,32	0,19	0,15	0,24	0,17	0,21	
Ganancias	4,00	3,00	1,00	4,00	3,00	0,43	0,56	0,46	0,47	0,25	0,44	
Deficiencias	1,00	0,50	0,25	1,00	2,00	0,11	0,09	0,12	0,12	0,17	0,12	
Dificultad para la implementacion	0,25	0,50	0,33	0,50	1,00	0,03	0,09	0,15	0,06	0,08	0,08	
TOTAL	9,25	5,33	2,17	8,50	12,00							

Nota: Adaptado de “Propuesta de mejora en el proceso de fabricación de mezclas secas embolsadas en una empresa concretera”, por Ramos, S. & Urbano, P., 2021, p. 117.

3.2.16. Herramientas de gestión de confiabilidad operacional

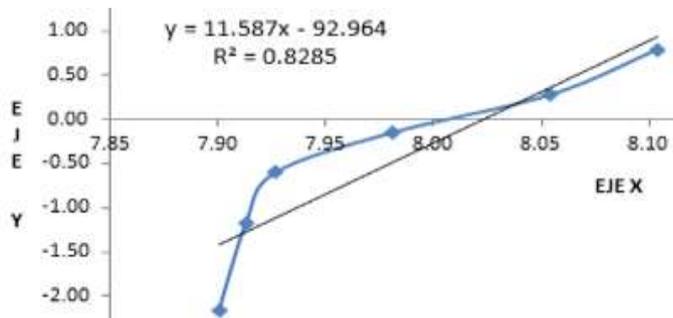
3.2.16.1. Estadística aplicada al mantenimiento. Yáñez, Gómez y Valbuena (2004)

sustentan que “organiza, describe y analiza e interpreta cuantitativamente la posibilidad de ocurrencia de un fallo específico en un activo reparable o no reparable en función al tiempo de operación antes de que se haya presentado la falla” (p. 51). Por medio de la estadística aplicada al mantenimiento permite modelar los datos de fallas, tomando como data base el contador de horas o horómetros digitales que se instalan en los volquetes.

En la estadística, se trabaja con el modelamiento por regresión lineal, Yáñez, Gómez y Valbuena (2004) sustentan que “permite generar el modelo de ecuación lineal de la dispersión de datos a analizar, el cual permite estimar los parámetros de la pendiente y el intercepto, que minimicen el componente aleatorio de error” (p. 157).

Figura 19

Regresión lineal y ecuación de la línea recta de una muestra de datos



Nota: Adaptado de “Diseño de un mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM II) en un conjunto de grupos electrógenos para el suministro de energía eléctrica en el proyecto Agro Olmos – Lambayeque”, por Acosta, C., 2017, p. 85.

Como modelo de ecuación lineal, se estructura de la siguiente manera:

$$y = a x + b$$

Donde:

y = Ordenada

a = Pendiente

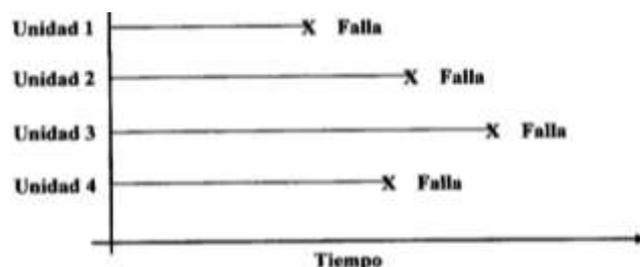
x = Abscisa

b = Intersección

En la estadística aplicada al mantenimiento, se analiza las muestras de tiempos de operación de los activos antes de fallar, con la intención de tomar acciones preventivas.

Figura 20

Tiempo de fallas en una muestra de activos



Nota: Adaptado de “Análisis de Weibull en la gestión de mantenimiento de equipos Trackles (Minería subterránea)”, por Zamora, C., 2014, p. 121.

Para poder realizar la dispersión de datos, se determina las abscisas mediante los tiempos de fallas y las ordenadas mediante el estimador de no confiabilidad.

Abscisa = $x = \text{Ln}(t)$

Ordenada = $y = \text{Ln}(\text{Ln}((1-F(i))^{-1}))$

Donde:

Ln = Logaritmo de base neperiano

t = Tiempo de operación del activo antes de fallar

$F(i)$ = Estimador de no confiabilidad no paramétrica

i = Ordinal del tiempo de operación antes de fallar

En los modelamientos de regresión lineal se utilizan métodos de estimación de la no confiabilidad operacional $F(i)$ para determinar la ordenada, reduciendo el impacto de valores extremos de la muestra. Mora (2009) sustenta respecto a los estimadores que “los métodos más usados son i -kaésimo, de rango de medianas y por estimador de Kaplan-Meier” (p. 120).

Por método i -kaésimo o estimador no sesgado, se considera el estimador:

$$F(i) = 1 - C(i) = \frac{i}{(n + 1)}$$

Donde:

$F(i)$ = Estimador de no confiabilidad no paramétrica

$C(i)$ = Estimador de confiabilidad no paramétrica

i = Ordinal del tiempo de operación antes de fallar

n = Número de eventos de falla a analizar

Cuando la muestra es grande se considera como estimador:

$$F(i) = \frac{i}{n}$$

Por método de rango de medianas, se considera como el estimador:

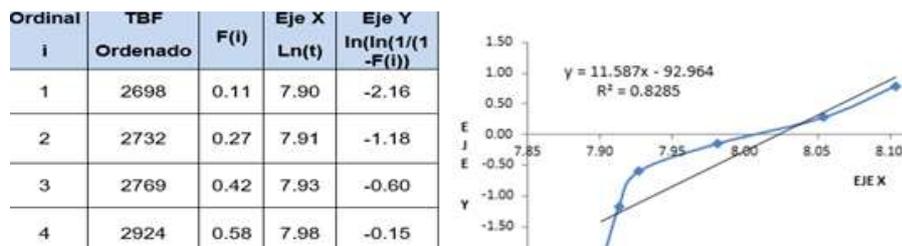
$$F(i) = \frac{(i - 0.3)}{(n + 0.4)}$$

Por método por Kaplan-Meier, se considera como el estimador:

$$F(i) = \prod_{j=1}^i \frac{(n - i)}{(n - i + 1)}$$

Figura 21

Coordenadas y dispersión de datos en una muestra de tiempos



Nota: Adaptado de “Diseño de un mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM II) en un conjunto de grupos electrógenos para el suministro de energía eléctrica en el proyecto Agro Olmos – Lambayeque”, por Acosta, C., 2017, p. 85.

Las correlaciones o dependencia de las coordenadas son evaluadas probabilísticamente mediante el coeficiente de correlación.

Figura 22

Importancia del factor de correlación



Nota: Adaptado de “Ingeniería de Confiabilidad y análisis probabilístico de riesgo”, por Yáñez, M., Gómez, H. & Valbuena, G., 2004, Reliability and Risk Management, S.A., 1, p. 163.

Yáñez, Gómez y Valbuena (2004) sustentan que “la correlación es un indicador de grado de dependencia entre las coordenadas” (p. 162).

3.2.16.2. Distribución de probabilidad. Yáñez, Gómez y Valbuena (2004) sustentan que “son modelos matemáticos que ajustan el conjunto de datos en estudio, caracterizando el comportamiento de la falla de un activo para poder cuantificar la incertidumbre” (p. 51).

Figura 23

Mediciones basadas por parámetros según la distribución de probabilidad

Distribución	$f(t)$	$F(t)$	$C(t)$	$h(t)$	TPPF
Exponencial	$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$	$F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$	$C(t) = e^{-\lambda t}$	$h(t) = \lambda$	$TPPF = \frac{1}{\lambda}$
Weibull	$f(t) = \frac{\beta t^{\beta-1}}{\alpha^\beta} e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta}$	$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta}$	$C(t) = e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta}$	$h(t) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta-1}$	$TPPF = \alpha \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$
Gamma	$f(t) = \frac{t^{\alpha-1}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} e^{-\frac{t}{\beta}}$	$F(t) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^t t^{\alpha-1} e^{-\frac{t}{\beta}} dt$	$C(t) = 1 - F(t)$	$h(t) = \frac{f(t)}{1 - F(t)}$	$TPPF = \beta \alpha$
Normal	$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2}$	$F(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2} dt$	$C(t) = 1 - F(t)$	$h(t) = \frac{f(t)}{1 - F(t)}$	$TPPF = \mu$
Log- Normal	$f(t) = \frac{1}{\alpha t \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln t - \mu}{\alpha}\right)^2}$	$F(t) = \int_0^t f(t) dt$	$C(t) = 1 - F(t)$	$h(t) = \frac{f(t)}{1 - F(t)}$	$TPPF = e^{\left[\mu + \frac{1}{2}\sigma^2\right]}$

Nota: Adaptado de “Ingeniería de Confiabilidad y análisis probabilístico de riesgo”, por Yáñez, M., Gómez, H. & Valbuena, G., 2004, Reliability and Risk Management, S.A., 1, p. 203.

Yáñez, Gómez y Valbuena (2004) afirman que “la distribución de probabilidad paramétrica es una función que interpreta la alteración de valores y la probabilidad de que se dé la ocasión” (p.60). Cada distribución de probabilidad tiene parámetros diferentes, pero tienen el mismo fin, el cual es medir las funciones de confiabilidad en un activo.

3.2.16.3. Mediciones de confiabilidad. Son funciones que describen el comportamiento de la falla del activo en función a un tiempo de operación proyectado. Las mediciones dependen de los parámetros de la distribución de probabilidad seleccionada.

La medición de confiabilidad operacional representada por $C(t)$, es directamente proporcional a la disponibilidad de los activos a operar. Yáñez, Gómez y Valbuena (2004) afirman que “es la posibilidad de que un componente cumpla sus funciones el cual ha sido diseñado en un intervalo de tiempo estimado, sin presentar fallo” (p.191).

$$C(t) = \int_t^{\infty} f(t) dt$$

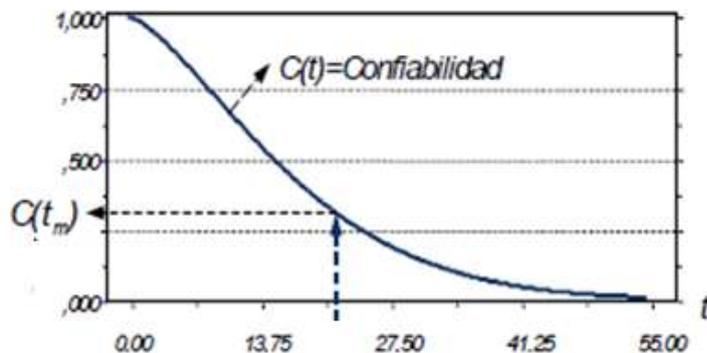
Donde:

$f(t)$ = Densidad de fallos en un tiempo t

t = Tiempo de operación del activo antes de fallar

Figura 24

Confiabilidad operativa



Nota: Adaptado de “Ingeniería de Confiabilidad y análisis probabilístico de riesgo”, por Yáñez, M., Gómez, H. & Valbuena, G., 2004, Reliability and Risk Management, S.A., 1, p. 192.

La medición de no confiabilidad operacional representada por $F(t)$, es la probabilidad de que un activo no cumpla sus funciones el cual ha sido diseñado en un intervalo de tiempo estimado por el investigador. A mayor nivel de no confiabilidad, mayor número de intervenciones por mantenimiento correctivo.

$$F(t) = 1 - \int_t^{\infty} f(t) dt$$

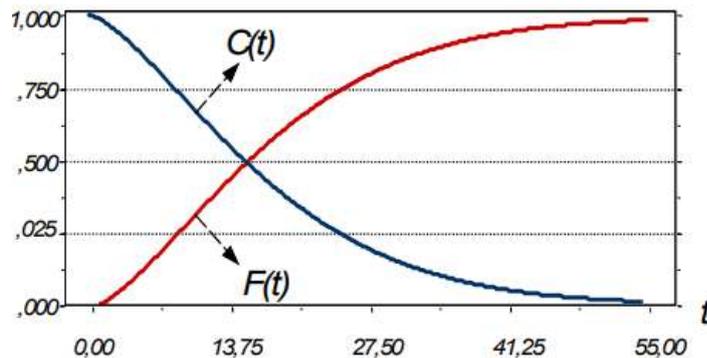
Donde:

$f(t)$ = Densidad de fallos en un tiempo t

t = Tiempo de operación del activo antes de fallar

Figura 25

No confiabilidad operativa



Nota: Adaptado de “Ingeniería de Confiabilidad y análisis probabilístico de riesgo”, por Yáñez, M., Gómez, H. & Valbuena, G., 2004, Reliability and Risk Management, S.A., 1, p. 192.

La medición del tiempo promedio entre intervenciones es representada por la abreviatura MTBS o MTBI. Flores y Mc Caherty (2007) afirman que “es un tiempo promedio de operación del equipo en función a las paradas por mantenimiento, ya sea de carácter correctivo o preventivo” (p.4). Depende del nivel de confiabilidad y no confiabilidad operacional.

$$MTBI = \int_0^{T_p} R(t) dt = T_p R(T_p) + \int_0^{T_p} T_F F(t) dt$$

Donde:

$F(t)$ = No confiabilidad operativa en un tiempo t

$C(t)$ = Confiabilidad operativa en un tiempo t

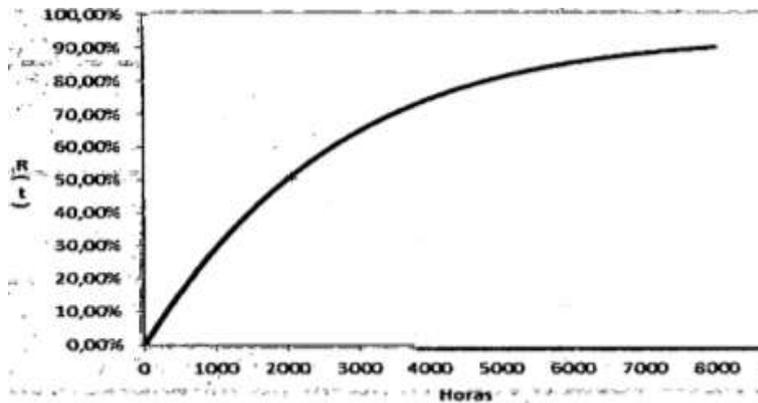
T_p = Tiempo de actividad preventiva

T_F = Tiempo de actividad correctiva

t = Tiempo de operación del activo antes de fallar

Figura 26

Tiempo promedio entre intervenciones de mantenimiento



Nota: Adaptado de “Análisis de Weibull en la gestión de mantenimiento de equipos trackles (Minería subterránea)” por Zamora, C., 2004, Universidad Nacional del Callao, p. 67.

La medición de disponibilidad es directamente proporcional al nivel de confiabilidad operacional. Yáñez, Gómez y Valbuena (2004) afirman que “es la proporción de tiempo que un activo se encuentra apto para cumplir su función, respecto al tiempo que debió haber cumplido su misión y no lo hizo” (p.231).

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo en que el dispositivo opera correctamente y funciona bien}}{\text{Tiempo en que el elemento puede operar}}$$

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Horas totales} - \text{Horas de parada por mantenimiento}}{\text{Horas totales}}$$

3.2.16.4. Análisis de modos y efectos de fallas. Representada por la abreviatura AMEF o FMEA, es una técnica de estimación de confiabilidad. Yáñez, Gómez y Valbuena (2004) afirman que “es el soporte de estudio del ciclo de vida de un sistema. Se debe tener conocimiento de la dinámica del sistema a evaluar a fin discriminar el comportamiento ante la ocurrencia de las posibles fallas que puedan afectar la operatividad” (p.269). Es una herramienta de optimización de los planes de mantenimiento de los activos que se cuenta en función a las fallas que haya presentado en el transcurso de sus operaciones.

Figura 27

Modelo del instrumento de modos y efectos de fallas

HOJA DE INFORMACIÓN RCM	SISTEMA/ACTIVO		SISTEMA Nº	FACILITADOR	FECHA	HOJA				
	SUB SISTEMA/COMPONENTE		SUB SISTEMA Nº			DE	Análisis de Modos de Falla FMEA			
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODOS DE FALLA	EFECTOS DE FALLA			G	CONTROLES ACTUALES	O	D	NPR

Nota: Adaptado de “Propuesta de mejora en la gestión de mantenimiento en una empresa de servicio de alquiler de maquinarias basado en RCM” por Rojas, J., 2015, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, p. 178.

Respecto a la alternativa función del AMEF, Moubray (2004) define que “la definición de una función consiste en un verbo, un objeto y el estándar de funcionamiento deseado por el usuario del activo” (p. 23).

Respecto a la alternativa falla funcional del AMEF, Moubray (2004) define que “es la incapacidad de un activo en hacer aquello que el usuario quiere que haga” (p. 49).

Respecto a la alternativa modo de falla del AMEF, Moubray (2004) define que “son los eventos que causa una falla funcional. Se lista los modos de fallas, cuya probabilidad de ocurrencia sea alto” (p. 56).

Respecto a la alternativa efectos de falla del AMEF, Moubray (2004) define que “describen las consecuencias del modo de fallo. La descripción debe señalar si será evidente la pérdida de función del activo” (p. 76).

Respecto a la alternativa número de prioridad de riesgo del AMEF, es representada por la abreviatura NPR. Mora (2009) citado en Paz (2015) define que “es un criterio teórico y práctico, usada para clasificar el nivel de prioridad que se les da a los eventos de fallos de una situación” (p. 6). Se evalúan los criterios de gravedad, ocurrencia y detección. Su puntuación se realiza de acuerdo a la data que maneja el área de mantenimiento.

$$NPR = G \times O \times D$$

Donde:

G = Puntaje del criterio gravedad del evento de falla

O = Puntaje del criterio ocurrencia del evento de falla

D = Puntaje del criterio detección del evento de falla

Con relación al criterio gravedad de falla, Paz (2015) define que “es la proporción de severidad de los modos de fallas de un activo físico” (p. 6). La severidad puede ser medido en diferentes dimensiones.

Figura 28

Escala de puntaje del criterio gravedad de falla

Gravedad	
Descripción	Puntaje
Infima, imperceptible	1
Escasa, falla menor	2-3
Baja, falla inminente	4-5
Media, fallo pero no para el sistema	6-7
Elevada, falla crítica	8-9
Muy elevada, con problemas de seguridad, no conformidad	10

Nota: Adaptado de “Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad de motores de combustión interna de las embarcaciones pesqueras de la serie intrépido de una empresa pesquera”, por Vidal, E., Yarín, A., Velásquez, C., López, I., De la Cruz, L., Núñez, L., Gálvez, R. & Gálvez, H., 2015, *PESQUIMAT*, 18 (2), p. 12.

Con relación al criterio ocurrencia de falla, Paz (2015) define que “es la frecuencia o número de veces que ocurrió una falla en un activo físico” (p. 6).

Figura 29

Escala de puntaje del criterio ocurrencia de falla

Ocurrencia	
Descripción	Puntaje
1 falla en más de 2 años	1
1 falla cada 2 años	2-3
1 falla cada 1 año	4-5
1 falla entre 6 meses y 1 año	6-7
1 falla entre 1 a 6 meses	8-9
1 falla al mes	10

Nota: Adaptado de “Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad de motores de combustión interna de las embarcaciones pesqueras de la serie intrépido de una empresa pesquera”, por Vidal, E., Yarín, A., Velásquez, C., López, I., De la Cruz, L., Núñez, L., Gálvez, R. & Gálvez, H., 2015, *PESQUIMAT*, 18 (2), p. 12.

Con relación al criterio detección de falla, Paz (2015) define que “es la razón o probabilidad de poder detectar la falla de manera observacional o mediante el uso de tecnologías de medición” (p. 6).

Figura 30

Escala de puntaje del criterio dificultad de detección de falla

Detección (dificultad de detección)	
Descripción	Puntaje
Obvia	1
Escasa	2-3
Moderada	4-5
Frecuente	6-7
Elevada	8-9
Muy elevada	10

Nota: Adaptado de “Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad de motores de combustión interna de las embarcaciones pesqueras de la serie intrépido de una empresa pesquera”, por Vidal, E., Yarín, A., Velásquez, C., López, I., De la Cruz, L., Núñez, L., Gálvez, R. & Gálvez, H., 2015, *PESQUIMAT*, 18 (2), p. 12.

Con relación al valor total del número de prioridad de riesgo, si el puntaje es mayor a 200 se considera a la falla como riesgo inaceptable, si el puntaje está entre 125 a 200 se considera a la falla como riesgo con reducción deseable y si el puntaje es menor que 125 se considera a la falla como riesgo aceptable.

Figura 31

Descripción del riesgo según el número de prioridad de riesgo

Las características de análisis del NPR (Número de Prioridad de Riesgo):

$NPR > 200$	Inaceptable (I)
$200 > NPR > 125$	Reducción deseable (R)
$125 > NPR$	Aceptable (A)

Nota: Adaptado de “Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad de motores de combustión interna de las embarcaciones pesqueras de la serie intrépido de una empresa pesquera”, por Vidal, E., Yarín, A., Velásquez, C., López, I., De la Cruz, L., Núñez, L., Gálvez, R. & Gálvez, H., 2015, *PESQUIMAT*, 18 (2), p. 13.

3.2.16.5. Plan de mantenimiento. Moubray (2004) sustenta que “es un documento que lista las tareas de mantenimiento hacia un activo por parte del especialista. Dichas actividades están sujetas a una frecuencia de tiempo establecida” (p. 226). Las tareas, como el intervalo de tiempo lo determinan el fabricante del activo a mantener y está sujeto a variación de acuerdo al desempeño operativo del equipo.

Figura 32

Descripción del plan de mantenimiento

Tarea propuesta	Intervalo inicial	Puede ser hecho por	Procedimiento operativo estándar
Ningún mantenimiento programado			
Controlar los pernos de unión	Mensual	Mecánico	
Ningún mantenimiento programado			
Rediseñar la baranda			
Chequear el nivel de aceite del agitador de la caja reductora	Semanalmente	Operador	
Chequear la tensión de la cadena principal	Mensual	Mecánico	
Calibrar la distancia entre ejes			
Ningún mantenimiento programado	Anualmente	Técnico	
Vaciar el tanque principal y verificar si la alarma de bajo nivel suena cuando quedan 50 litros	4 años	Operador	

Procedimiento operativo estándar	
Máquina Lavadora Widget	
Intervalo	Realizado por
Mensual	Mecánico
<i>Detener la máquina y seguir el procedimiento de enclavamiento X, luego</i>	
1. Controlar visualmente la unión de la correa principal buscando pernos flojos y ajustarlos de ser necesario	
2. Controlar la tensión de la cadena principal y tensarla en caso que exista un juego que exceda los 10mm medidos en el medio de los piñones	

Nota: Adaptado de “Mantenimiento centrado en confiabilidad”, por Moubray, J., 2004, Gran Bretaña: Biddles, S.A., 2, p. 226.

3.2.17. Costos de operación de un equipo

El ministerio de Comercio Exterior y Turismo del Perú (2015) sustenta que “el costo de operación de un vehículo es sensible al tipo de uso, y a la velocidad de operación. Estos costos se pueden controlar y optimizar en la medida que puedan cuantificarse y se registren correctamente” (p. 22).

3.2.17.1. Costos fijos. El ministerio de Comercio Exterior y Turismo del Perú (2015) sustenta que “el costo de cada uno de estos elementos debe ser cubierto independientemente de si el vehículo es utilizado o no. Por tanto, debe entenderse que los costos fijos son independientes del nivel de actividad del vehículo” (p. 22).

3.2.17.2. Costos administrativos. El ministerio de Comercio Exterior y Turismo del Perú (2015) sustenta que “son aquellos costos relacionados con la gestión de la empresa y corresponde su asignación a la flota de vehículos de acuerdo al uso que se le asignen” (p. 23).

3.2.17.3. Costos variables. El ministerio de Comercio Exterior y Turismo del Perú (2015) sustenta que “es aquel costo que varía en relación directa con el nivel de actividad del vehículo. Los costos operativos son lo opuesto a los costos fijos, debido a que se contabilizan solamente cuando el vehículo está siendo utilizado” (p. 23).

Dentro de los costos variables, se encuentran los costos de mantenimiento hacia el activo para evitar la aceleración de la vida útil. Pistarelli (2010) afirma que “el gasto de mantenimiento lo fija el negocio de acuerdo a las circunstancias operativas y la empresa lo presupuesta” (p.607).

Respecto a los costos que involucran al mantenimiento, Komonen (1998) citado en Pascual (2005) define que “involucran a las actividades preventivas y correctivas; se toma en cuenta la mano de obra y repuestos que se demanda. Los costos de falla, corresponde a pérdidas por un plan de mantenimiento mal definido o ejecutado” (pp. 27-28).

3.2.18. Análisis económico

3.2.18.1. Valor actual neto. Es un indicador de viabilidad, se toma en cuenta los futuros ingresos y egresos y la inversión inicial de un determinado proyecto.

$$VAN_{\text{Proyecto}} = \sum_{i=0}^t \frac{FCD P_i}{(1+WACC)^i}$$

Donde:

FCD P_i = Flujo de caja del proyecto en el periodo i

WACC = Costo promedio de capital

t = Tiempo de evaluación del proyecto

Los criterios a considerar para definir la viabilidad son:

$VAN > 0$: El proyecto de inversión debe ser considerado, ya que genera rentabilidad.

$VAN < 0$: El proyecto de inversión debe ser rechazado.

3.2.18.2. Tasa interna de retorno. Es un indicador de viabilidad, el cálculo es mediante la aproximación de la tasa que produce un VAN igual a cero.

$$0 = \sum_{i=0}^t \frac{FCD P_i}{(1+TIR)^i}$$

Donde:

FCD P_i = Flujo de caja del proyecto en el periodo i

WACC = Costo promedio de capital

t = Tiempo de evaluación del proyecto

El criterio a considerar para definir la viabilidad es:

$TIR > WACC$: El proyecto de inversión debe ser considerado, ya que genera rentabilidad.

$TIR < WACC$: El proyecto de inversión no debe ser considerado.

3.2.18.3. Beneficio / Costo. Es un indicador de viabilidad, es la actualización de los beneficios entre la actualización de los costos que tiene la situación con proyecto.

$$\text{Ratio } \frac{B}{C} = \frac{\sum_{i=0}^t \frac{\text{Beneficios}_i}{(1+WACC)^i}}{I_0}$$

Donde:

Beneficios_i = Beneficios en el periodo i

WACC = Costo promedio de capital

I_0 = Inversión inicial del proyecto

El criterio a considerar para definir la viabilidad es:

Beneficio/Costo > 1 : El proyecto de inversión debe ser considerado.

Beneficio/Costo < 1 : El proyecto de inversión no debe ser considerado.

3.3. Marco conceptual

3.3.1. Actividad correctiva

Arróspide (2008) sustenta que “Acciones adoptadas para eliminar y evitar la repetición de causas de no conformidad ante una situación de falla funcional existente” (p. 1).

3.3.2. Actividad preventiva

Arróspide (2008) sustenta que “Acciones adoptadas para eliminar causas de no conformidad ante una situación de fallas potenciales” (p. 1).

3.3.3. Ciclo de vida

Arróspide (2008) sustenta que “Periodo de tiempo el cual un activo conserva su capacidad de utilización, desde es adquirido hasta que sea reemplazado o reparado” (p. 2).

3.3.4. Estrategia

Arróspide (2008) sustenta que “Es un plan que integra las principales metas y políticas a cumplir en una organización” (p. 7).

3.3.5. Indicadores

Arróspide (2008) sustenta que “Son medidas, utilizados para medir el desempeño de cumplimiento de funcionamiento en un activo de acuerdo a lo proyectado” (p. 10).

3.3.6. Mejora continua

Arróspide (2008) sustenta que “Procedimiento el cual se busca aumentar la calidad de un producto o activo, servicios o procesos” (p. 10).

3.3.7. Orden de trabajo

Arróspide (2008) sustenta que “Es el instrumento que indica la ejecución de una tarea, el cual detalla el trabajo que debe realizarse al momento de mantener un equipo” (p. 14).

3.3.8. Plan de mantenimiento

Arróspide (2008) sustenta que “Contiene los procedimientos e instrucciones de trabajo necesario para realizar las intervenciones de mantenimiento. Se refleja en cartillas, pautas, check list, planos, entre otros documentos de carácter informativo” (p. 15).

3.3.10. Planeación de recursos empresariales

Arróspide (2008) sustenta que “Es un sistema informático de almacenamiento de data que integra diferentes áreas de una empresa. Se le conoce con la abreviatura ERP” (p. 6).

3.3.11. Probabilidad de falla

Yáñez, Gómez y Valbuena (2004) sustentan que “Es la posibilidad de que un activo, deje de cumplir sus funciones por el cual ha sido diseñado y fabricado” (p. 28).

3.3.12. Riesgo

Yáñez, Gómez y Valbuena (2004) sustentan que “Son las posibles consecuencias económicas y operativas que conllevan la aparición de una falla en el activo” (p. 30).

Capítulo IV: Hipótesis y variables

4.1. Hipótesis General

H1: El servicio de entrega de la flota de volquetes en la unidad minera Cerro Corona se mejora con la implementación de un sistema de mantenimiento basado en la confiabilidad.

Ho: El servicio de entrega de la flota de volquetes en la unidad minera Cerro Corona no se mejora con la implementación de un sistema de mantenimiento basado en la confiabilidad.

4.2. Hipótesis específicas

4.2.1. Hipótesis específica 1

H1: La disponibilidad de la flota de volquetes en la unidad minera Cerro Corona mejora mediante la priorización de riesgo operativo.

Ho: La disponibilidad de la flota de volquetes en la unidad minera Cerro Corona no mejora mediante la priorización de riesgo operativo.

4.2.2. Hipótesis específica 2

H1: La disponibilidad de la flota de volquetes en la unidad minera Cerro Corona mejora mediante la durabilidad operativa de repuestos.

Ho: La disponibilidad de la flota de volquetes en la unidad minera Cerro Corona no mejora mediante la durabilidad operativa de repuestos.

4.2.3. Hipótesis específica 3

H1: El tiempo indispuerto por mantenimiento de la flota de volquetes en la unidad minera Cerro Corona mejora mediante el modelo de optimización costo y riesgo.

Ho: El tiempo indispuerto por mantenimiento de la flota de volquetes en la unidad minera Cerro Corona no mejora mediante el modelo de optimización costo y riesgo.

4.3. Identificación de variable

4.3.1. Sistema de mantenimiento basado en la confiabilidad

El sistema de mantenimiento basado en la confiabilidad es la variable independiente, vinculada a la empresa contratista de alquiler de equipos. Moreno y Quevedo (2002) definen

que “solucionan problemas operacionales de confiabilidad, modificando los planes de mantenimiento, optimizando de frecuencias de mantenimientos y diseño de procedimientos enfocados al mantenimiento (p. 136).

4.3.2. Servicio de entrega

El servicio de entrega es la variable dependiente, vinculada directamente al cliente. En el servicio de entrega consta que los equipos el cual están siendo alquilados, deben ser lo más confiables operativamente para su disponibilidad para producir, generando ingresos tanto al cliente como también al contratista.

4.4. Operacionalización de variables

Tabla 7

Operacionalización de la variable independiente

Variable independiente: Sistema de mantenimiento basado en la confiabilidad			
Dimensión	Indicador	Instrumento	
A	Priorización de riesgos operativos	1 Ourrencia de órdenes de trabajo por mantenimiento correctivo	$\frac{\text{O.T. Correctiva}}{\text{Total O.T.}}$ <ul style="list-style-type: none"> - O.T. Correctiva = Número de correctivos - Total O.T. = Número de correctivos y preventivos
		1 Confiabilidad operativa	$C(t) = \int_t^{\infty} f(t) d(t)$ <ul style="list-style-type: none"> -Depende de la distribución de probabilidad seleccionada para su medición
B	Durabilidad operativa del repuesto	2 No confiabilidad operativa	$F(t) = 1 - \int_t^{\infty} f(t) d(t)$ <ul style="list-style-type: none"> -Depende de la distribución de probabilidad seleccionada para su medición
		3 Tiempo medio entre intervenciones	$\text{MTBI} = \int_0^{T_p} R(t) d(t)$ <ul style="list-style-type: none"> -Depende de la distribución de probabilidad seleccionada para su medición

C	Modelo de optimización costo y riesgo	1	Riesgo por política preventiva	$R_{\text{Horario}} = \frac{Cf \times F(t)}{MTBI}$ <ul style="list-style-type: none"> - Cf = Costo global por intervenciones correctivo - F(t) = No confiabilidad operativa - MTBI = Tiempo medio entre intervenciones
		2	Costo por política preventiva para afrontar el riesgo	$C_{\text{Horario}} = \frac{Cp \times C(t)}{MTBI}$ <ul style="list-style-type: none"> - Cp = Costo global por intervenciones preventivo - C(t) = Confiabilidad operativa - MTBI = Tiempo medio entre intervenciones

Nota: Elaboración propia. Información de dimensión e indicadores adoptada de “Ingeniería de Confiabilidad y análisis probabilístico de riesgo”, por Yáñez, M., Gómez, H. & Valbuena, G., 2004 y “Mantenimiento. Planeación, ejecución y control” por Mora, A., 2009.

Tabla 8

Operacionalización de la variable dependiente

Variable dependiente: Servicio de entrega			
Dimensión	Indicador	Instrumento	
A	Disponibilidad operativa	$\text{Disponibilidad}_{\text{Operativa}} = \frac{\text{Hrs. Totales} - \text{Hrs. Mantenimiento}}{\text{Hrs. Totales}}$ <ul style="list-style-type: none"> - Hrs. Totales = Tiempo a operar por contrato - Hrs. Mantenimiento = Tiempo por mantenimiento preventivo y correctivo. 	
		$\text{Indisponibilidad}_{\text{Falla}} = \frac{\text{Hrs. totales correctivos}}{\text{Hrs. totales}}$ <ul style="list-style-type: none"> - Hrs. Totales correctivos = Tiempo total por intervenciones correctivas - Hrs. Totales = Tiempo a operar por contrato 	
B	Tiempo indispuerto por mantenimiento	1	Indisponibilidad por falla

Nota: Elaboración propia. Información de dimensión e indicadores adoptada del área de mantenimiento de equipos móviles e “Ingeniería de Confiabilidad y análisis probabilístico de riesgo”, por Yáñez, M., Gómez, H. & Valbuena, G., 2004.

4.5. Matriz de consistencia

Tabla 9

Matriz de consistencia

Problemas	Objetivos	Hipótesis	VARIABLES	Indicadores
<p>General: 1. ¿Cómo la implementación de un sistema de mantenimiento basado en la confiabilidad influye en la mejora del servicio de entrega de la flota de volquetes en la unidad minera Cerro Corona?</p> <p>Específicos: 1.1 ¿Cómo la priorización de riesgo operativo influye en la disponibilidad de la flota de volquetes en la unidad minera Cerro Corona? 1.2 ¿Cómo la durabilidad operativa de repuestos influye en la disponibilidad de la flota de volquetes en la unidad minera Cerro Corona? 1.3 ¿Cómo el modelo de optimización costo y riesgo influye en el tiempo indispuerto por mantenimiento de la flota de volquetes en la unidad minera Cerro Corona?</p>	<p>General: 1. Implementar un sistema de mantenimiento basado en la confiabilidad para mejorar el servicio de entrega de la flota de volquetes en la unidad minera Cerro Corona.</p> <p>Específicos: 1.1. Mejorar mediante la priorización de riesgo operativo, la disponibilidad de la flota de volquetes en la unidad minera Cerro Corona. 1.2 Mejorar mediante la durabilidad operativa de repuestos, la disponibilidad de la flota de volquetes en la unidad minera Cerro Corona. 1.3 Mejorar mediante el modelo de optimización costo y riesgo, el tiempo indispuerto por mantenimiento de la flota de volquetes en la unidad minera Cerro Corona.</p>	<p>General: 1. El servicio de entrega de la flota de volquetes en la unidad minera Cerro Corona se mejora con la implementación de un sistema de mantenimiento basado en la confiabilidad.</p> <p>Específicos: 1.1 La disponibilidad de la flota de volquetes en la unidad minera Cerro Corona mejora mediante la priorización de riesgo operativo. 1.2 La disponibilidad de la flota de volquetes en la unidad minera Cerro Corona mejora mediante la durabilidad operativa de repuestos. 1.3 El tiempo indispuerto por mantenimiento de la flota de volquetes en la unidad minera Cerro Corona mejora mediante el modelo de optimización costo y riesgo.</p>	<p>Variable independiente: 1. Sistema de mantenimiento basado en la confiabilidad</p> <p>Dimensiones: A. Priorización de riesgos operativos B. Durabilidad operativa del repuesto C. Modelo de optimización costo y riesgo</p>	<p>1.A.1. Ocurrencia de órdenes de trabajo por mantenimiento correctivo 1.B.1. Confiabilidad operativa 1.B.2. No confiabilidad operativa 1.B.3. Tiempo medio entre intervenciones 1.C.1. Riesgo por política preventiva 1.C.2. Costo por política preventiva para afrontar el riesgo</p>

Método y diseño de la Investigación	Población y muestra	Técnicas e instrumentos		
Investigación con enfoque cuantitativo.				
Diseño de investigación experimental, de tipo cuasi experimental.				
G: $O_1 \rightarrow X \rightarrow O_2$				
G: Grupo conformado por 14 volquetes marca Volvo FMX 8X4R	La población es la flota de volquetes, constituido por 14 unidades marca Volvo y modelo FMX 8X4R.	La técnica de recolección de data a utilizar es por revisión documental.	Variable dependiente:	2.A.1. Disponibilidad operativa
X: Variable independiente sistema de mantenimiento basado en la confiabilidad.			Dimensiones:	2.B.1. Indisponibilidad por falla
O_1 : Cuantificación de la variable dependiente Servicio de entrega de la flota de volquetes antes de establecer el sistema de mantenimiento basado en la confiabilidad.	Población muestral. La muestra coincide con la población, 14 volquetes marca Volvo y modelo FMX 8X4R.	El instrumento a utilizar es el reporte de órdenes de trabajo de intervenciones por mantenimientos preventivos y correctivos	A. Disponibilidad	
O_2 : Cuantificación de la variable dependiente servicio de entrega de la flota de volquetes después de establecer el sistema de mantenimiento basado en la confiabilidad.			B. Tiempo indispuerto por mantenimiento	

Nota: Elaboración propia.

Capítulo V: Metodología

5.1. Tipo y diseño de investigación

5.1.1. Tipo de investigación

La investigación es de tipo aplicada. Cegarra (2011) citado en Peralta (2019) define que “la investigación aplicada comprende el conjunto de actividades que tienen por finalidad la aplicación de conocimientos científicos nuevos, que pueden realizarse en productos y en procesos” (p. 37). En la investigación se aplica los conocimientos modernos de gestión de confiabilidad operacional para afrontar la deficiencia de planificación de mantenimientos en la flota de volquetes que operan en la unidad minera, el cual afecta a los ingresos por alquiler.

5.1.2. Diseño de investigación

El diseño de investigación es experimental. Hernández, Fernández y Baptista (2010) especifican que “la investigación experimental particularmente manipula una o más variables independientes para su posterior análisis de sobre las consecuencias que tiene sobre las variables dependientes” (p. 129). La investigación cumple con el requisito de diseño experimental porque se manipula la variable independiente sistema de mantenimiento basado en la confiabilidad sobre la variable dependiente servicio de entrega con el fin de mejorarlo.

La investigación experimental es de tipo cuasi experimental. Hernández, Fernández y Baptista (2010) declaran que “en el diseño cuasi experimental, la asignación de las unidades de medida que conforman la muestra a evaluar no son al azar” (p. 151). La investigación cumple dicho requisito de diseño cuasi experimental porque los volquetes son un grupo preestablecido, el cual se realiza un análisis pre y post prueba relacionado al servicio de entrega de volquetes disponibles a operar al cliente que los alquila.

El diseño cuasi experimental está estructurado de la siguiente manera:

G: $O_1 \rightarrow X \rightarrow O_2$

G: Grupo conformado por 14 volquetes marca Volvo FMX 8X4R

X: Variable independiente sistema de mantenimiento basado en la confiabilidad

O_1 : Cuantificación de la variable dependiente servicio de entrega de la flota de volquetes antes de establecer el sistema de mantenimiento basado en la confiabilidad

O_2 : Cuantificación de la variable dependiente servicio de entrega de la flota de volquetes después de establecer el sistema de mantenimiento basado en la confiabilidad

5.2. Unidad de análisis

Hernández, Fernández y Baptista (2010) especifican que “son los elementos que serán objetos de un estudio en específico. A partir de la unidad de medida se van a poder obtener una serie de informaciones a ser tratadas durante una investigación” (p. 172). La unidad de análisis en la investigación es el equipo volquete marca Volvo.

5.3. Población de estudio

Hernández, Fernández y Baptista (2010) especifican que “es el conjunto de eventos que coinciden con ciertas especificaciones” (p. 174). La población que se considera en la investigación es la flota de 14 volquetes de la misma marca Volvo, el mismo modelo FMX 8X4R y que además operan en la unidad minera Cerro Corona (Ver anexo 1).

5.4. Tamaño de muestra

Macedo (2018) especifica que “la muestra es igual a la población por ser un diseño de investigación experimental tipo cuasi experimental” (p. 50). Como la población es pequeña y todas las unidades tienen impacto en los costos de mantenimiento, la muestra está conformada por la misma población de estudio, el cual está conformado por 14 volquetes de la misma marca Volvo, el mismo modelo FMX 8X4R y que operen en Cerro Corona.

5.5. Selección de muestra

La selección de muestra es de tipo no probabilístico y se toma por conveniencia. Hernández, Fernández y Baptista (2010) especifican que “el muestreo de la población, no está sujeto por aleatoriedad, sino que está basado por conveniencia del investigador, ya que prima más las características de lo que se busca indagar” (p. 176).

5.6. Técnicas de recolección de datos

La técnica de recolección de datos es por revisión documental. Allauca (2019) especifica con respecto a la revisión documental que “se apoya en consultar software, catálogos, libros, fichas técnicas, revistas científicas, documentos teóricos, guías, bitácoras, presentaciones técnicas, manuales, normas e internet” (p. 11). El instrumento a utilizar en la investigación como base documental es el reporte de órdenes de trabajo por intervenciones correctivas y preventivas en la flota de volquetes Volvo FMX 8X4R durante el periodo 2020, el cual se obtiene en el ERP SAP que maneja la empresa (Ver anexo 2). Tavares (2005) especifica que “el reporte de mantenimientos es un banco de datos, destinado al registro y control de informaciones relacionados con los mantenimientos de activos” (p. 29).

5.7. Análisis e interpretación de la información

La recolección de datos, proporcionado por el reporte de órdenes de trabajo son analizados mediante la estadística descriptiva y paramétrica. Respecto a la estadística descriptiva, Murillo (2009) citado en Peralta (2019) define que “describe el estado, las características, factores y procedimientos presentes en hechos que ocurren en forma natural” (p. 67). Mediante el Excel, se especifica el número de intervenciones y costos relacionado a los mantenimientos preventivos y correctivos en tablas de frecuencias y figuras estadísticas.

Respecto a la estadística paramétrica, Yáñez, Gómez y Valbuena (2004) afirman que “se caracteriza probabilísticamente el tiempo de falla de los activos, es decir; encontrar la

distribución paramétrica que mejor se ajusta a los datos” (p. 197). Mediante el Input Analyzer, se determina la distribución de probabilidad que mejor represente a la muestra de datos; posterior a ello, utilizando el Excel se calcula los parámetros que involucran a la distribución de probabilidad seleccionada; permitiendo la medición de los indicadores de la confiabilidad operacional en función a las fallas.

Luego del análisis estadístico, se determina el beneficio para ser validado técnicamente mediante el simulador Arena y finalmente ser simulado económicamente mediante el @Risk para interpretar la rentabilidad de la metodología a implementar.

Capítulo VI: Procedimiento y método de análisis

6.1. Evaluación de metodología a utilizar

Para afrontar la problemática de la deficiencia en la planificación de mantenimiento en la flota de volquetes, se considera la gestión o sistema de mantenimiento basado en la confiabilidad, el cual se tiene diversas alternativas metodológicas. Para la selección de la metodología adecuada, se utiliza el proceso de análisis jerárquico por medio de la matriz de comparación por pares (AHP).

Tabla 10

Propuesta de metodologías del sistema de mantenimiento basado en la confiabilidad

Sistema de mantenimiento basado en la confiabilidad operacional	
Metodología	Definición
Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)	Moreno y Quevedo (2002) especifican que “Es una metodología utilizada para determinar, que debe hacerse para que los activos físicos continúen haciendo lo requerido por el usuario” (p. 152).
Mantenimiento productivo total (TPM)	Rojas (2015) especifica que “Maximiza la eficiencia global del equipo en los sistema de producción, eliminando averías, defectos y accidentes con la participación de los integrantes de las empresas” (p. 74).
Mantenimiento basado en el riesgo (MBR)	Crismatt y Valencia (2012) definen que “Identifica y proyecta los riesgos a causas de fallas que puede estar sujeto el equipo para su tratamiento de acuerdo a su criticidad para su reducción” (p. 14).

Nota: Elaboración propia.

Los criterios a considerar para la selección de la metodología adecuada son la facilidad de implementación, rapidez de ejecución, adaptación en la empresa, inversión económica y precisión en la anticipación de fallas. Se considera una escala de puntuación según el nivel de favorecimiento del criterio.

Tabla 11

Escala de puntaje para los criterios de la matriz AHP

Escala verbal	Escala numérica
Igualmente favorable	1
Moderadamente más favorable que el otro elemento	3
Fuertemente más favorable que el otro elemento	5
Mucho más favorable que el otro elemento	7
Importancia extremadamente más favorable que el otro elemento	9

Nota: Elaboración propia.

Tomando como base la escala de puntuación, se realiza la matriz de comparación de los criterios de selección.

Figura 33

Puntuación de criterios de selección de la metodología adecuada

	Facilidad de implementación	Rapidez de ejecución	Adaptación en la empresa	Inversión económica	Precisión en anticipar fallas
Facilidad de implementación	1.00	0.33	0.33	0.14	0.20
Rapidez de ejecución	3.00	1.00	3.00	0.33	0.20
Adaptación en la empresa	3.00	0.33	1.00	0.20	3.00
Inversión económica	7.00	3.00	5.00	1.00	5.00
Precisión en anticipar fallas	5.00	5.00	0.33	0.20	1.00

Nota: Elaboración propia.

De acuerdo a las puntuaciones se determina el peso de cada criterio, evidenciándose que la inversión económica tiene mayor impacto.

Tabla 12

Peso de los criterios para la selección de la metodología adecuada

Criterio	Total Puntaje relativo	Peso
Facilidad de implementación	0.22	0.04
Rapidez de ejecución	0.77	0.15
Adaptación en la empresa	0.72	0.14
Inversión económica	2.26	0.45
Precisión en anticipar fallas	1.03	0.21
Total	5.00	1.00

Nota: Elaboración propia.

Igualmente se determina el peso de cada criterio de selección sobre las metodologías.

Tabla 13

Peso de los criterios sobre las metodologías propuestas

Metodologías de mejora	Facilidad de implementación	Rapidez de ejecución	Adaptación en la empresa	Inversión económica	Precisión en anticipar fallas
Metodología RCM	0.12	0.07	0.08	0.09	0.72
Metodología TPM	0.27	0.23	0.33	0.30	0.08
Metodología MBR	0.61	0.70	0.59	0.61	0.19
Total	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Nota: Elaboración propia.

Se realiza el promedio ponderado para la selección de la metodología. Los resultados indican que el mantenimiento basado en el riesgo (MBR) es la metodología más adecuada para implementarse y poder afrontar la problemática que afronta la empresa.

Tabla 14

Promedio ponderado de las metodologías propuestas

Evaluación de alternativas	
Metodologías de mejora	Ponderado
Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)	0.22
Mantenimiento productivo total (TPM)	0.25
Mantenimiento basado en el riesgo (MBR)	0.53

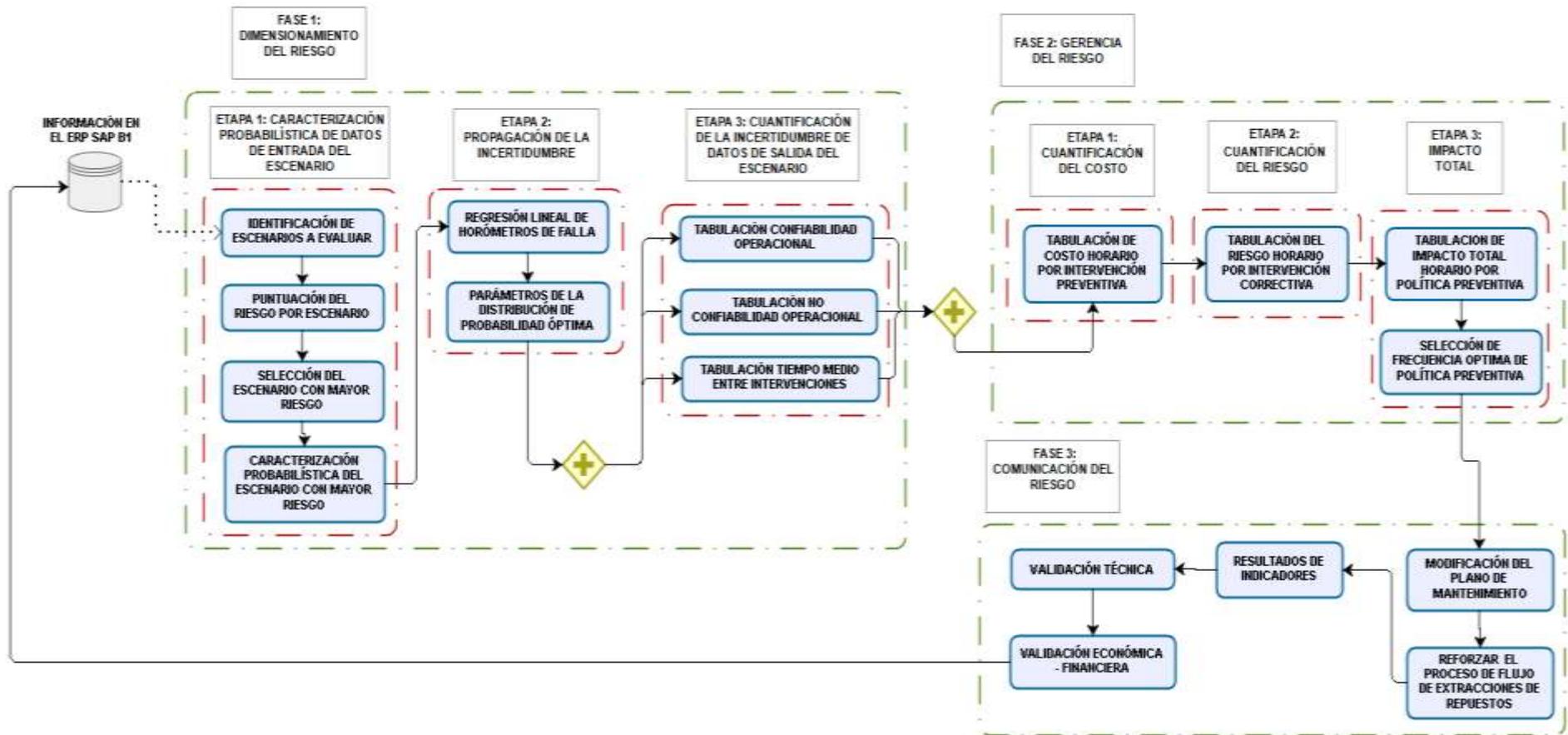
Nota: Elaboración propia.

6.2. Procedimiento

La implementación del mantenimiento basado en el riesgo consta de 3 fases; dimensionamiento, gerencia y comunicación del riesgo.

Figura 34

Proceso de implementación de la metodología seleccionada



Nota: Elaboración propia.

Respecto a al tiempo de implementación, se inicia desde el primero de enero del año 2021 hasta el 21 de junio, para que posteriormente se haga el seguimiento de lo que resta del año para verificar el comportamiento de los equipos una vez definido la metodología.

Tabla 15

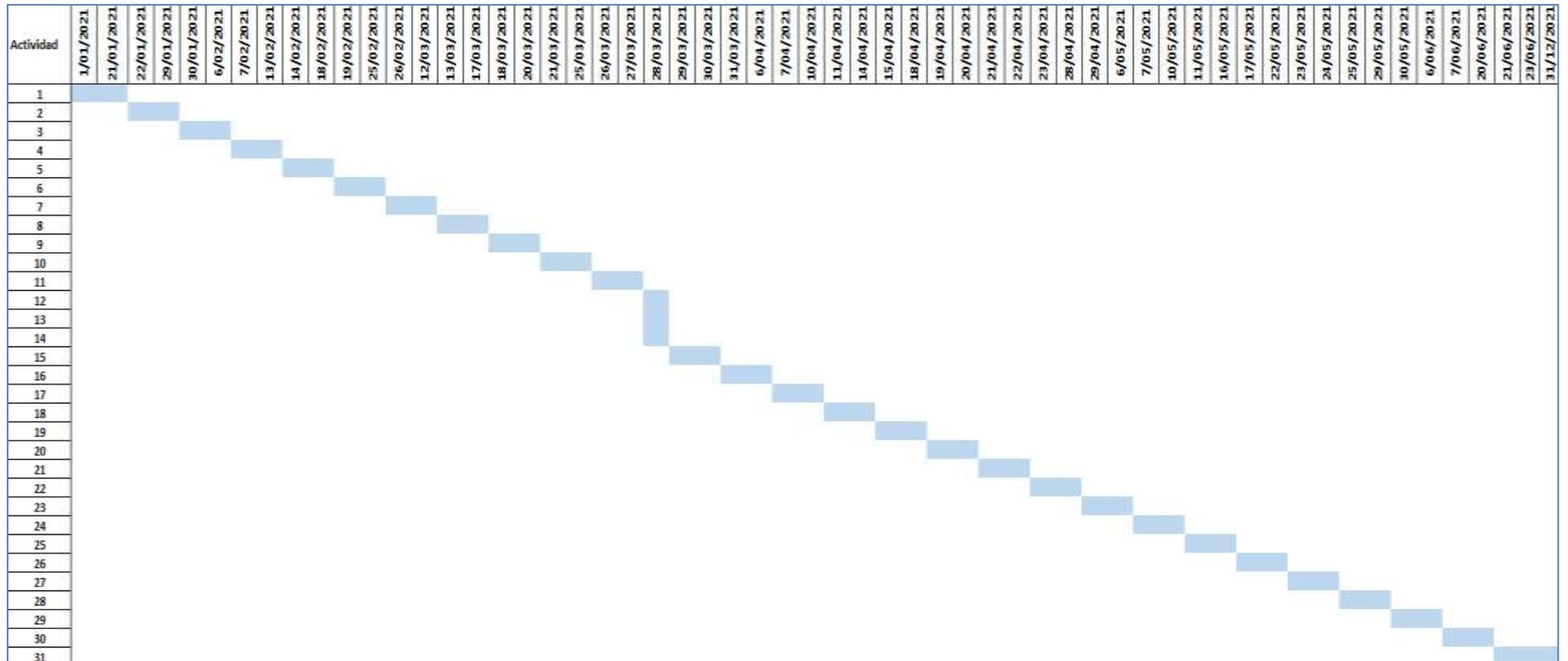
Actividades para el desarrollo de la metodología

Actividad	ID
Proceso de selección de personal	1
Primer viaje de rutina a sede minera Cerro Corona	2
Análisis de selección de la metodología de gestión de confiabilidad a implementar	3
Obtener el historial de mantenimientos de volquetes Volvo FMX 8X4R	4
Primera capacitación de personal	5
Análisis de escenarios a evaluar en los volquetes	6
Análisis de criticidad de escenarios a evaluar en los volquetes	7
Selección del escenario con mayor riesgo	8
Caracterización probabilística del escenario con mayor riesgo	9
Regresión lineal de horómetros de fallas	10
Parámetros de la distribución de probabilidad óptima	11
Tabulación de confiabilidad operacional	12
Tabulación de no confiabilidad operacional	13
Tabulación de tiempo medio entre intervenciones	14
Reunión de resultados de la primera etapa de implementación	15
Segunda capacitación de personal	16
Tabulación de costo horario por intervención preventiva	17
Tabulación de riesgo horario por intervención correctiva	18
Tabulación de impacto total horario por política preventiva	19
Selección de frecuencia óptima de política preventiva	20
Reunión de resultados de la segunda etapa de implementación	21
Modificación de plan de mantenimiento del escenario riesgoso	22
Reforzar el proceso de flujo de extracciones de repuestos	23
Resultados de indicadores	24
Validación técnica	25
Validación económica	26
Reunión de resultados de la tercera etapa de implementación	27
Tercera capacitación de personal	28
Segundo viaje de rutina a sede minera Cerro Corona	29
Reflejar la modificación del plano de mantenimiento en el ERP SAP	30
Seguimiento de comportamiento de equipos en función a la metodología	31

Nota: Elaboración propia.

Figura 35

Cronograma de implementación de la metodología seleccionada



Nota: Elaboración propia.

6.3. Método de análisis

Desde el sistema ERP SAP, se recolecta todas las órdenes de trabajo relacionado a las intervenciones correctivas de la flota conformada por los 14 volquetes que operan en la unidad minera Cerro Corona durante el periodo 2020.

6.3.1. Fase del dimensionamiento del riesgo

Consiste en 3 etapas, el cual se caracteriza probabilísticamente los datos de entrada, se propaga la incertidumbre y se caracteriza probabilísticamente los datos de salida del escenario no deseado.

6.3.1.1. Etapa de caracterización probabilística de datos de entrada del escenario. Identifica y prioriza los grupos funcionales o sistemas que conforman al volquete cuyas fallas representen un riesgo ante la operatividad de la flota alquilada por el cliente. De acuerdo al sistema más riesgoso, se considera la muestra de tiempos antes de la falla para determinar la distribución de probabilidad que mejor represente a los datos para su medición.

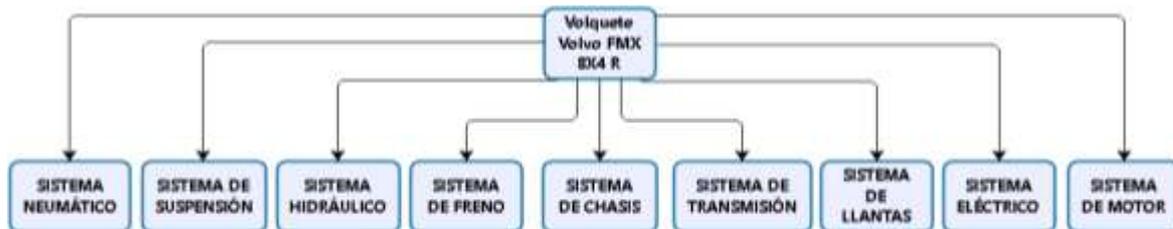
Como primer paso de la etapa, se identifica los escenarios a evaluar (Ver figura 34); dichos escenarios corresponden a los sistemas que estructuran los volquetes que operan en la unidad minera. Los sistemas, conocidos como grupos funcionales, son:

- Sistema neumático
- Sistema de suspensión
- Sistema hidráulico
- Sistema de freno
- Sistema de chasis
- Sistema de transmisión
- Sistema de llantas

- Sistema eléctrico
- Sistema de motor

Figura 36

Grupos funcionales del volquete Volvo FMX 8X4 R



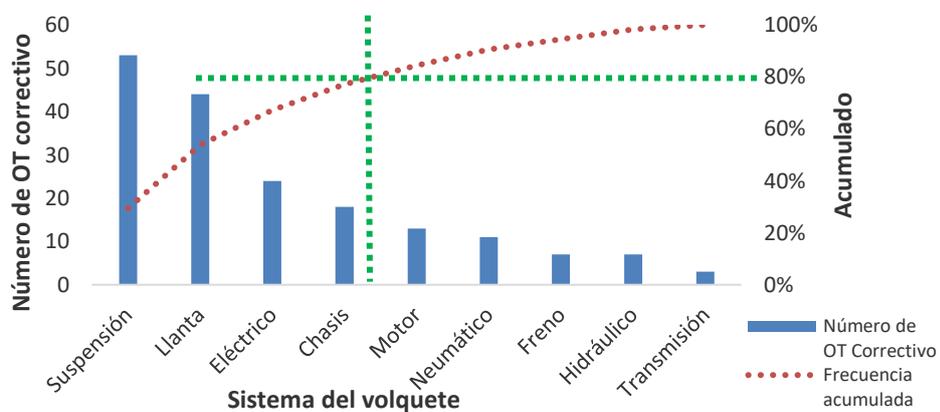
Nota: Elaboración propia. Información adoptada del área de mantenimiento de equipos.

Como segundo paso de la etapa, se realiza la puntuación del riesgo en cada escenario detallado (Ver figura 34). Con los grupos funcionales ya detallados, se procede con la puntuación del riesgo que representa cada uno sobre el camión volquete al momento de que falla. Para ello, se califica los criterios de gravedad, ocurrencia y detección.

Respecto al criterio de ocurrencia de falla (O), se evalúa la frecuencia de órdenes de trabajos correctivos. Las ocurrencias en el sistema de suspensión, eléctrico, llantas y chasis de la flota influyen significativamente en el desfase de 7.73% de lo proyectado (Ver Tabla 2).

Figura 37

Diagrama de Pareto de órdenes de trabajo correctivos de la flota por sistemas



Nota: Elaboración propia.

En base a los resultados, se procede con la puntuación del criterio ocurrencia de falla de acuerdo a la escala de puntaje según la importancia (Ver figura 29).

Tabla 16

Puntuación del factor ocurrencia por sistema de volquete

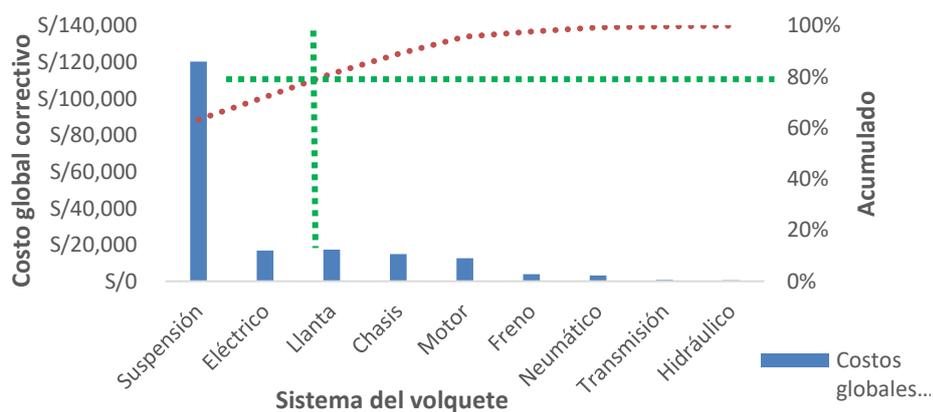
Factor Ocurrencia de fallas		
Grupo funcional	Puntaje	Descripción
Suspensión	9	Alta
Llanta	8	Alta
Eléctrico	6	Moderada
Chasis	4	Pequeña
Motor	4	Pequeña
Neumático	4	Pequeña
Freno	3	Muy pequeña
Hidráulico	3	Muy pequeña
Transmisión	2	Muy pequeña

Nota: Elaboración propia en base a la escala de puntajes del factor ocurrencia.

Respecto al criterio gravedad de falla (G), se evalúa los costos globales que demanda las intervenciones correctivas. Los costos en el sistema de suspensión y eléctrico de la flota de volquetes influyen significativamente en el desfase de 10.31 % (Ver Tabla 4).

Figura 38

Diagrama de Pareto de los costos globales correctivos de la flota por sistemas



Nota: Elaboración propia.

En base a los resultados, se procede con la puntuación del criterio de gravedad de falla de acuerdo a la escala de puntaje según la importancia (Ver figura 28).

Tabla 17*Puntuación del factor gravedad*

Factor gravedad		
Grupo funcional	Puntaje	Descripción
Suspensión	10	Muy elevada
Llanta	6	Media
Eléctrico	6	Media
Chasis	6	Media
Motor	6	Media
Freno	4	Baja
Neumático	4	Baja
Transmisión	2	Escasa
Hidráulico	2	Escasa

Nota: Elaboración propia en base a la escala de puntajes del factor gravedad.

Respecto al criterio detección de falla (D), se evalúa la complejidad de diagnosticar las fallas detalladas en las órdenes de trabajos por intervenciones correctivas. Se procede con la puntuación del criterio de acuerdo a la escala de puntaje (Ver figura 30).

Tabla 18*Puntuación del factor detección*

Factor detección		
Grupo funcional	Puntaje	Descripción
Suspensión	5	Moderada
Llanta	2	Obvia
Eléctrico	4	Moderada
Chasis	7	Relativamente difícil
Motor	5	Moderada
Freno	5	Moderada
Neumático	4	Moderada
Transmisión	6	Relativamente difícil
Hidráulico	6	Relativamente difícil

Nota: Elaboración propia en base a la escala de puntajes del factor detección.

Realizado las puntuaciones de los criterios de ocurrencia, gravedad y detección de fallas, se determina el número de prioridad de riesgo (NPR) de cada sistema del volquete en el análisis de modos y efectos de fallas, para determinar el escenario más riesgoso a tratar.

Tabla 19

Análisis de modos y efectos de fallas y número de prioridad de riesgo de los sistemas del volquete

Función	Falla funcional	Modo de falla	Nivel	Efectos de falla	O	G	D	NPR	
1	A	Operación de acarreo de minerales en estado bruto desde la zona de minado hasta la zona de tratamiento de purificación	Ineficiencia del sistema de suspensión	Ruptura de abrazadera de muelle posterior	- Incapacidad de absorber el impacto y reducir las perturbaciones entre rueda y el terreno durante el desplazamiento de minerales. - Limitación operativa del equipo. - Reemplazo de repuesto antes del intervalo establecido. - Afecta a componentes del sistema de ruedas.	9	10	5	450
				Avería de amortiguador posterior					
				Ruptura de balancín de muelle posterior					
				Ruptura de tuerca de abrazadera posterior					
				Ruptura de hoja de muelle posterior					
				Ruptura de perno central de abrazadera posterior					
		Ruptura de resorte de amortiguación posterior							
		Incertidumbre operativa respecto al acarreo de minerales en estado bruto desde la zona de minado hasta la zona de tratamiento de purificación	Ineficiencia del sistema de ruedas	Avería de aro	- No hay adherencia suficiente con el suelo. - Limitación operativa para transportar el mineral. - Detención del proceso de productividad	8	6	2	96
				Ruptura de neumático					
				Ruptura de espárrago					
		Ineficiencia en el sistema eléctrico	Ineficacia del arrancador	Ineficacia de batería	- Incapacidad de iluminación en el área de trabajo para el desplazamiento de minerales. - Activación de códigos de falla en el panel de instrumentos. - Detención del proceso de productividad.	6	6	4	144
				Ruptura de mica de faros de iluminación					
				Ineficacia focos de faros de iluminación					
				Ineficacia cableado					
				Ineficacia del alternador					

1	Operación de acarreo de minerales en estado bruto desde la zona de minado hasta la zona de tratamiento de purificación	A	Incertidumbre operativa respecto al acarreo de minerales en estado bruto desde la zona de minado hasta la zona de tratamiento de purificación	4	Ineficiencia en el sistema de motor		- Dificultad para el arranque y recarga de la batería.	4	6	5	120
						Ineficacia del turbocompresor	- Incapacidad de generar el par motor para la fuerza de empuje al eje motriz. - Dificultad para generar la potencia necesaria a la exigencia que demanda el proceso de acarreo de minerales. - Ineficiencia energética por mezcla pobre de gases.				
						Ineficacia del radiador					
						Ineficacia de bomba de agua					
				Ineficacia del templador de faja							
				5	Ineficiencia en el sistema de chasis	Ruptura de faja de ventilador	- Incapacidad de transportar el volumen correcto de minerales durante el acarreo. - Desperdicio de minerales durante el proceso de acarreo.	4	6	7	168
						Ruptura de perno de bastidor					
Avería de compuerta de tolva											
6	Ineficiencia en el sistema hidráulico	Ruptura pin de tolva	- Incapacidad del libre desplazamiento de la tolva para descargar minerales. - Baja presión de aceite hidráulico para accionar los implementos de giro de las ruedas del equipo. - Baja presión de aceite hidráulico para movilizar los implementos. - Pérdida de aceite hidráulico.	2	2	6	24				
		Ruptura grillete de tolva									
		Ruptura bisagra de tolva									
		Ineficiencia de cilindro de levante de tolva									
7	Ineficiencia en el sistema neumático	Ineficiencia de bomba servo de dirección	- Bajo rendimiento de la cámara de combustión por baja densidad de aire. - Limitación operativa del equipo respecto a la potencia.	3	4	4	48				
		Obstrucción acelerada de filtros hidráulicos									
		Ruptura mangueras hidráulicas									
		Ineficiencia del aftercooler									
			Ineficiencia del intercooler								
			Ineficiencia del compresor de aire								
			Ineficiencia del tanque de aire								

1	Operación de acarreo de minerales en estado bruto desde la zona de minado hasta la zona de tratamiento de purificación	A	Incertidumbre operativo respecto al acarreo de minerales en estado bruto desde la zona de minado hasta la zona de tratamiento de purificación	8	Ineficiencia en el sistema de freno	Ineficiencia de válvula ABS	- Reacción tardía en reducir la velocidad de acuerdo al requerimiento del operador. - Peligro potencial tanto para el operador como para el personal que trabaja a su alrededor. - Detención operativa en el proceso de acarreo de minerales. - Ineficiencia del bloqueo de ruedas hasta una adherencia determinada. - Pérdida de líquido del sistema.	4	4	5	80
						Desgaste acelerado de zapatas					
						Ineficiencia del actuador de freno					
						Desgaste acelerado de forro de zapatas					
						Ruptura mangueras de línea					
						Ineficiencia del niple de freno					
						Ineficiencia del regulador de freno					
						Descalibración del embrague					
		9	Ineficiencia en el sistema de transmisión	Ineficiencia de caja de cambios	- Reacción tardía con la transformación del par motor de acuerdo a las marchas requeridas por el operador. - Ineficiencia con el enlace motor y grupo reductor. - Limitación operativa del equipo ante las pendientes.	3	2	6	36		
				Desgaste acelerado de crucetas de cardán							
				Ineficiencia del cilindro de embrague							
				Desgaste acelerado de brida de cardán							
				Ineficiencia del servo embrague							

Nota: Elaboración propia. Información adoptada del área de planeamiento de equipos móviles.

Como tercer paso de la etapa, se selecciona el escenario con mayor riesgo (Ver figura 34). De acuerdo al número de prioridad de riesgo de los grupos funcionales de los volquetes en el análisis de modos y efectos de fallas, se procede a jerarquizar los riesgos según el puntaje total (Ver figura 31). Si el puntaje de riesgo es mayor o igual a 200, representa un riesgo inaceptable. Si es mayor o igual a 125 pero menor a 200, representa un riesgo con reducción deseable. Si es menor a 125 equivale a un riesgo aceptable.

Tabla 20

Jerarquización del número de prioridad de riesgo de los sistemas

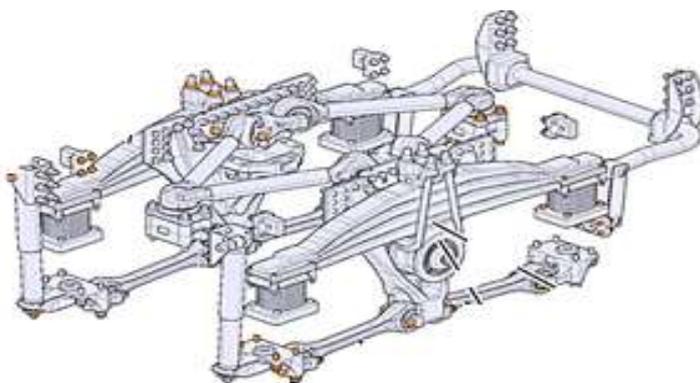
Número de prioridad de riesgo		
Grupo funcional	NPR	Jerarquía
Suspensión	450	Riesgo inaceptable
Llanta	96	Riesgo aceptable
Eléctrico	144	Riesgo con reducción deseable
Chasis	168	Riesgo con reducción deseable
Motor	120	Riesgo aceptable
Freno	80	Riesgo aceptable
Neumático	48	Riesgo aceptable
Transmisión	36	Riesgo aceptable
Hidráulico	24	Riesgo aceptable

Nota: Elaboración propia.

Los resultados indican que el sistema de suspensión es el grupo funcional cuyas fallas representan un riesgo inaceptable para la disponibilidad operativa de la flota de volquetes. Analizando el sistema de suspensión, las intervenciones correctivas están relacionados directamente con los componentes que conforman al muelle de suspensión ubicado en la parte posterior.

Figura 39

Muelle del sistema de suspensión posterior del volquete Volvo FMX 8X4R



Nota: Adaptado del portal Volvo Trucks.

Las intervenciones correctivas del sistema de suspensión posterior consisten en la ruptura de componentes que conforman el muelle de suspensión a pesar que existe un plan de mantenimiento, cuyo reemplazo preventivo es cada 2400 horas de operación (Ver anexo 3).

Tabla 21

Tiempos de operación antes de las fallas en el sistema de suspensión posterior

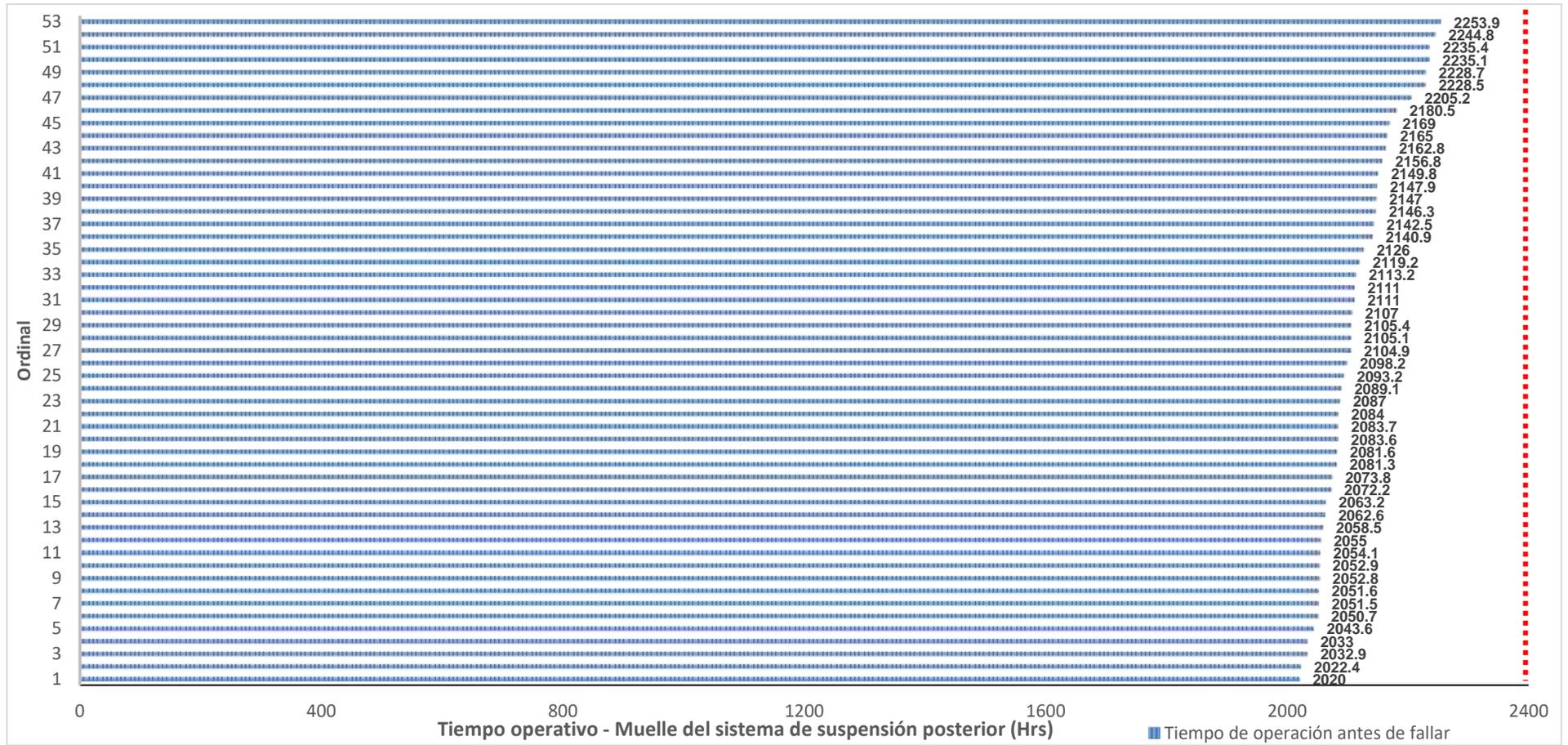
Muelle posterior del grupo funcional de suspensión del volquete Volvo FMX8X4R			
Ordinal	Tiempo antes de fallar	Ordinal	Tiempo antes de fallar
i	t	i	t
1	2020 Horas	27	2104.9 Horas
2	2022.4 Horas	28	2105.1 Horas
3	2032.9 Horas	29	2105.4 Horas
4	2033 Horas	30	2107 Horas
5	2043.6 Horas	31	2111 Horas
6	2050.7 Horas	32	2111 Horas
7	2051.5 Horas	33	2113.2 Horas
8	2051.6 Horas	34	2119.2 Horas
9	2052.8 Horas	35	2126 Horas
10	2052.9 Horas	36	2140.9 Horas
11	2054.1 Horas	37	2142.5 Horas
12	2055 Horas	38	2146.3 Horas
13	2058.5 Horas	39	2147 Horas
14	2062.6 Horas	40	2147.9 Horas
15	2063.2 Horas	41	2149.8 Horas
16	2072.2 Horas	42	2156.8 Horas
17	2073.8 Horas	43	2162.8 Horas
18	2081.3 Horas	44	2165 Horas
19	2081.6 Horas	45	2169 Horas
20	2083.6 Horas	46	2180.5 Horas
21	2083.7 Horas	47	2205.2 Horas
22	2084 Horas	48	2228.5 Horas
23	2087 Horas	49	2228.7 Horas
24	2089.1 Horas	50	2235.1 Horas
25	2093.2 Horas	51	2235.4 Horas
26	2098.2 Horas	52	2244.8 Horas
		53	2253.9 Horas

Nota: Elaboración propia.

Como tercer paso de la etapa, se caracteriza probabilísticamente el escenario con mayor riesgo (Ver figura 34). Se toma en cuenta los tiempos de operación antes de que un componente del muelle del sistema del volquete falle para determinar la distribución de probabilidad que mejor represente a la muestra.

Figura 40

Tiempos de fallas en el muelle del sistema de suspensión posterior con intervalo de 2400 horas



Nota: Elaboración propia.

Se evalúa diferentes funciones de distribución de probabilidad que mejor represente a la muestra de tiempos de operación en el sistema de suspensión antes de que fallen. Para ello se realiza la prueba de ajuste de todas las distribuciones, empleando el Input Analyzer.

Figura 41

Prueba de bondad de ajuste para la muestra de tiempos

Function	Sq Error
Weibull	0.0103
Gamma	0.0164
Beta	0.0166
Triangular	0.0217
Normal	0.0275
Erlang	0.028
Exponential	0.028
Uniform	0.0348
Lognormal	0.0719

Nota: Valores calculados en el software Input Analyzer.

La distribución de probabilidad de Weibull, aparte de tener un menor error cuadrado (Sq); cumple el requisito estadístico de que el valor p sea mayor al 5% en el test de Kolmogorov Smirnov y en el test de Chi cuadrado, representando adecuadamente a la muestra de tiempos.

Figura 42

Prueba de bondad de ajuste para la muestra de tiempos

Chi Square Test	
Number of intervals	= 5
Degrees of freedom	= 2
Test Statistic	= 1.74
Corresponding p-value	= 0.435
Kolmogorov-Smirnov Test	
Test Statistic	= 0.105
Corresponding p-value	> 0.15
Data Summary	
Number of Data Points	= 53
Min Data Value	= 2.02e+03
Max Data Value	= 2.25e+03
Sample Mean	= 2.11e+03
Sample Std Dev	= 62.3

Nota: Valores calculados en el software Input Analyzer.

6.3.1.2. Etapa de propagación de la incertidumbre. Identificado el sistema de suspensión, cuyas fallas son consideradas como riesgos inaceptables, se analiza las órdenes de trabajo de los eventos correctivos para determinar el modelo de propagación de la incertidumbre.

Como primer paso de la etapa, se realiza la regresión lineal de los horómetros de falla (Ver figura 34). Definido a la distribución de probabilidad de Weibull como la herramienta que mejor representa a la muestra a analizar, se procede a generar las coordenadas correspondientes para la dispersión de datos.

Abscisa = $x = \text{Ln}(t)$

Ordenada = $y = \text{Ln}(\text{Ln}((1-F(i))^{-1}))$

Se toma en cuenta el estimador de no confiabilidad por método i-kaésimo.

$$F(i) = \frac{i}{(n+1)}$$

Donde:

$F(i)$ = Estimador de no confiabilidad no paramétrica

i = Ordinal del tiempo de operación antes de fallar

n = Número total de datos o de muestra

Tabla 22

Metodología de regresión lineal basado por estimador

Tabla de regresión lineal								
Ordinal	Tiempo operativo antes de fallar	No confiabilidad	Confiabilidad	Eje		Coeficiente de correlación y determinación		
i	t	$F(i)$	$C(i)$	x	y	x^2	y^2	xy
1	2020	1.85%	98.15%	7.61	-3.98	57.93	15.84	-30.29
2	2022.4	3.70%	96.30%	7.61	-3.28	57.94	10.74	-24.94
3	2032.9	5.56%	94.44%	7.62	-2.86	58.02	8.19	-21.80
4	2033	7.41%	92.59%	7.62	-2.56	58.02	6.58	-19.53
5	2043.6	9.26%	90.74%	7.62	-2.33	58.10	5.44	-17.77
6	2050.7	11.11%	88.89%	7.63	-2.14	58.15	4.57	-16.31

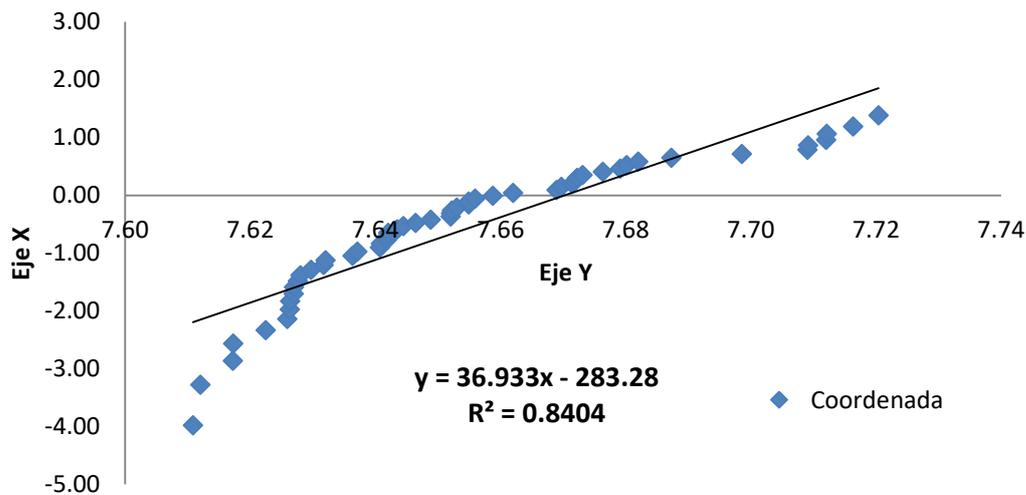
7	2051.5	12.96%	87.04%	7.63	-1.97	58.16	3.90	-15.06
8	2051.6	14.81%	85.19%	7.63	-1.83	58.16	3.35	-13.96
9	2052.8	16.67%	83.33%	7.63	-1.70	58.17	2.90	-12.98
10	2052.9	18.52%	81.48%	7.63	-1.59	58.17	2.51	-12.09
11	2054.1	20.37%	79.63%	7.63	-1.48	58.18	2.19	-11.28
12	2055	22.22%	77.78%	7.63	-1.38	58.19	1.91	-10.53
13	2058.5	24.07%	75.93%	7.63	-1.29	58.21	1.66	-9.84
14	2062.6	25.93%	74.07%	7.63	-1.20	58.24	1.45	-9.19
15	2063.2	27.78%	72.22%	7.63	-1.12	58.25	1.26	-8.57
16	2072.2	29.63%	70.37%	7.64	-1.05	58.31	1.09	-7.99
17	2073.8	31.48%	68.52%	7.64	-0.97	58.33	0.95	-7.43
18	2081.3	33.33%	66.67%	7.64	-0.90	58.38	0.81	-6.90
19	2081.6	35.19%	64.81%	7.64	-0.84	58.38	0.70	-6.38
20	2083.6	37.04%	62.96%	7.64	-0.77	58.40	0.59	-5.89
21	2083.7	38.89%	61.11%	7.64	-0.71	58.40	0.50	-5.41
22	2084	40.74%	59.26%	7.64	-0.65	58.40	0.42	-4.95
23	2087	42.59%	57.41%	7.64	-0.59	58.42	0.35	-4.50
24	2089.1	44.44%	55.56%	7.64	-0.53	58.44	0.28	-4.06
25	2093.2	46.30%	53.70%	7.65	-0.48	58.47	0.23	-3.63
26	2098.2	48.15%	51.85%	7.65	-0.42	58.50	0.18	-3.22
27	2104.9	50.00%	50.00%	7.65	-0.37	58.55	0.13	-2.80
28	2105.1	51.85%	48.15%	7.65	-0.31	58.55	0.10	-2.40
29	2105.4	53.70%	46.30%	7.65	-0.26	58.56	0.07	-2.00
30	2107	55.56%	44.44%	7.65	-0.21	58.57	0.04	-1.60
31	2111	57.41%	42.59%	7.65	-0.16	58.60	0.03	-1.21
32	2111	59.26%	40.74%	7.65	-0.11	58.60	0.01	-0.82
33	2113.2	61.11%	38.89%	7.66	-0.06	58.61	0.00	-0.44
34	2119.2	62.96%	37.04%	7.66	-0.01	58.66	0.00	-0.05
35	2126	64.81%	35.19%	7.66	0.04	58.71	0.00	0.33
36	2140.9	66.67%	33.33%	7.67	0.09	58.81	0.01	0.72
37	2142.5	68.52%	31.48%	7.67	0.14	58.82	0.02	1.11
38	2146.3	70.37%	29.63%	7.67	0.20	58.85	0.04	1.50
39	2147	72.22%	27.78%	7.67	0.25	58.86	0.06	1.90
40	2147.9	74.07%	25.93%	7.67	0.30	58.86	0.09	2.30
41	2149.8	75.93%	24.07%	7.67	0.35	58.88	0.12	2.71
42	2156.8	77.78%	22.22%	7.68	0.41	58.93	0.17	3.13
43	2162.8	79.63%	20.37%	7.68	0.46	58.97	0.22	3.57
44	2165	81.48%	18.52%	7.68	0.52	58.99	0.27	4.01
45	2169	83.33%	16.67%	7.68	0.58	59.01	0.34	4.48
46	2180.5	85.19%	14.81%	7.69	0.65	59.09	0.42	4.97
47	2205.2	87.04%	12.96%	7.70	0.71	59.27	0.51	5.50
48	2228.5	88.89%	11.11%	7.71	0.79	59.43	0.62	6.07
49	2228.7	90.74%	9.26%	7.71	0.87	59.43	0.75	6.68
50	2235.1	92.59%	7.41%	7.71	0.96	59.48	0.91	7.38
51	2235.4	94.44%	5.56%	7.71	1.06	59.48	1.13	8.19
52	2244.8	96.30%	3.70%	7.72	1.19	59.54	1.42	9.20
53	2253.9	98.15%	1.85%	7.72	1.38	59.60	1.91	10.68
Suma total				405.73	-29.14	3106.05	87.99	-221.40

Nota: Elaboración propia.

Se distribuye las coordenadas y se ajustan a la línea recta. La ecuación determina los parámetros de la distribución de probabilidad de Weibull, el cual es la distribución de probabilidad seleccionada (Ver figura 40).

Figura 43

Dispersión de tiempos antes de fallos del muelle del sistema de suspensión posterior



Nota: Elaboración propia.

El modelo de la ecuación de la recta es confiable ya que el valor del coeficiente de determinación representado por R^2 , equivale a 0.8404 y nos dará buenas estimaciones para la presente investigación.

Tabla 23

Resultados de la regresión lineal

Resultados de la regresión lineal		
Modelo ecuación lineal	$y = a x + b$	
Pendiente	a	36.933
Intersección	b	-283.28
Coeficiente de determinación	R^2	0.8404

Nota: Elaboración propia.

Respecto al factor de correlación, representado por r , es positivamente fuerte y de efecto relevante debido que el valor equivale a 0.92, y pertenece al rango recomendado entre 0.7 a 1. Por ello existe una alta correlación.

Como segundo paso de la etapa, se determina los parámetros de la distribución de probabilidad óptima (Ver figura 34). Conocido la ecuación lineal, se calculan el parámetro de escala (η) y parámetro de forma (β) de la distribución de probabilidad de Weibull. Se toma como base la ecuación lineal (Ver tabla 22) y se relaciona con el modelo de ecuación lineal utilizando los parámetros de forma y escala.

$$\text{Ln} (\text{Ln} (R(t)^{-1}) = \beta \times (\text{Ln}(t) - \text{Ln}(\eta))$$

El parámetro de forma (β), equivale a la pendiente (a) de la ecuación lineal.

$$\text{Parámetro de forma} = \beta = a$$

El parámetro de escala (η), depende de la intersección de la ecuación lineal (b), la base logarítmica neperiana (e) y del parámetro de forma (β).

$$\text{Parámetro de escala} = \eta = e^{\left(\frac{b}{-\beta}\right)}$$

Tabla 24

Parámetros de la distribución de Weibull

Resultados de los parámetros de distribución de Weibull		
Nombre de parámetro	Símbolo	Valor
Parámetro de forma	β	36.93
Parámetro de escala	η	2143.30

Nota: Elaboración propia.

6.3.1.3. Etapa de cuantificación de la incertidumbre de datos de salida del escenario. Se aplica la estadística paramétrica luego de determinar los parámetros de la distribución de Weibull a través de la etapa de la propagación de la incertidumbre.

Como primer paso de la etapa (Ver figura 34), se mide la confiabilidad operacional, instrumento de medición de la dimensión durabilidad operativa representado por C (t).

$$C(t) = \int_t^{\infty} f(t) dt$$

Como la distribución de probabilidad a considerar es de Weibull, la confiabilidad operativa se obtiene por medio de los parámetros de la distribución (Ver figura 23).

$$C(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$$

Donde:

t = Tiempo operativo del volquete

β = Parámetro de forma

η = Parámetro de escala

Tabla 25

Tabulación de confiabilidad operativa del sistema de suspensión posterior

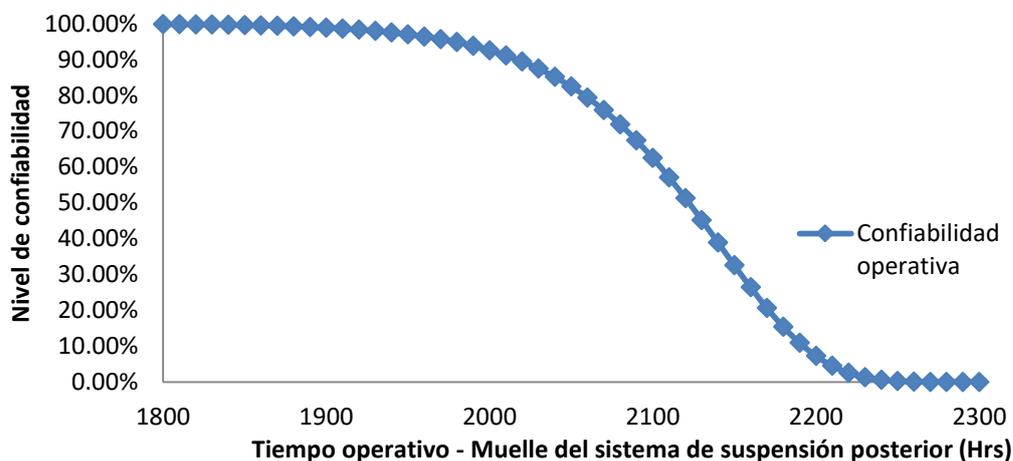
Muelle posterior del grupo funcional de suspensión del volquete Volvo FMX8X4R	
Tiempo operativo	Confiabilidad operativa
t	C(t)
1970 Horas	95.65%
1980 Horas	94.78%
1990 Horas	93.75%
2000 Horas	92.53%
2010 Horas	91.09%
2020 Horas	89.39%
2030 Horas	87.41%
2040 Horas	85.10%
2050 Horas	82.43%
2060 Horas	79.35%
2070 Horas	75.84%
2080 Horas	71.86%
2090 Horas	67.40%
2100 Horas	62.46%
2110 Horas	57.07%
2120 Horas	51.28%
2130 Horas	45.17%
2140 Horas	38.88%
2150 Horas	32.56%
2160 Horas	26.39%
2170 Horas	20.60%
2180 Horas	15.38%
2190 Horas	10.89%
2200 Horas	7.26%
2210 Horas	4.50%
2220 Horas	2.56%
2230 Horas	1.32%

Nota: Elaboración propia.

Mientras se mantenga la política preventiva de cambio del muelle del grupo funcional de suspensión posterior en un intervalo de 2400 horas de operación, la confiabilidad operativa de los volquetes en función al sistema indicado es prácticamente cero debido a los 53 casos de fallas antes de cumplirse las 2400 horas. El programar la política preventiva antes de las 2400 horas, aumenta la confiabilidad operativa.

Figura 44

Confiabilidad operativa del sistema de suspensión posterior



Nota: Elaboración propia.

Como segundo paso de la etapa (Ver figura 34), se mide la no confiabilidad operacional, instrumento de medición de la dimensión durabilidad operativa representado por $F(t)$.

$$F(t) = 1 - \int_t^{\infty} f(t) dt$$

Como la distribución de probabilidad a considerar es de Weibull, los valores de la no confiabilidad operativa se obtienen por medio de los parámetros de la distribución.

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}}$$

Donde:

t = Tiempo operativo del volquete

β = Parámetro de forma

η = Parámetro de escala

Tabla 26

Tabulación de no confiabilidad del sistema de suspensión posterior

Muelle posterior del grupo funcional de suspensión del volquete Volvo FMX8X4R	
Tiempo operativo	No confiabilidad operativa
t	$F(t)$
1970 Horas	4.35%
1980 Horas	5.22%
1990 Horas	6.25%
2000 Horas	7.47%
2010 Horas	8.91%
2020 Horas	10.61%
2030 Horas	12.59%
2040 Horas	14.90%
2050 Horas	17.57%
2060 Horas	20.65%
2070 Horas	24.16%
2080 Horas	28.14%
2090 Horas	32.60%
2100 Horas	37.54%
2110 Horas	42.93%
2120 Horas	48.72%
2130 Horas	54.83%
2140 Horas	61.12%
2150 Horas	67.44%
2160 Horas	73.61%
2170 Horas	79.40%
2180 Horas	84.62%
2190 Horas	89.11%
2200 Horas	92.74%
2210 Horas	95.50%
2220 Horas	97.44%
2230 Horas	98.68%

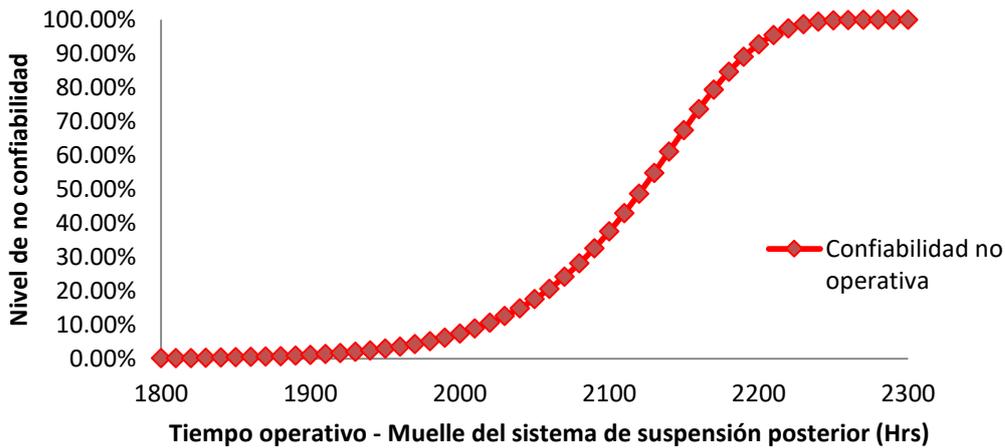
Nota: Elaboración propia.

Mientras se mantenga la política preventiva de cambio del muelle del grupo funcional de suspensión posterior en un intervalo de 2400 horas de operación, la no confiabilidad operativa de los volquetes en función al sistema indicado es alta debido a los 53 casos de

fallas antes de cumplirse las 2400 horas. El programar la política preventiva antes de las 2400 horas, disminuye la no confiabilidad operativa.

Figura 45

No confiabilidad operativa del sistema de suspensión posterior



Nota: Elaboración propia.

Como tercer paso de la etapa (Ver figura 34), se mide el tiempo medio entre intervenciones de mantenimiento, instrumento de medición de la dimensión durabilidad operativa representado por MTBI.

$$MTBI = \int_0^{T_p} R(t) dt$$

Como la distribución de probabilidad a considerar es de Weibull, los valores del tiempo medio entre intervenciones de mantenimiento se obtienen por medio de los parámetros de la distribución.

$$MTBI = \frac{\eta}{\beta} \times r \left[\left(\frac{t}{\eta} \right)^\beta, \frac{1}{\beta} \right] \times r \left[\frac{1}{\beta} \right]$$

Donde:

t = Tiempo operativo del volquete

β = Parámetro de forma

η = Parámetro de escala

$r []$ = Función Gamma

Tabla 27

Tabulación del tiempo medio entre intervenciones del sistema de suspensión posterior

Muelle posterior del grupo funcional de suspensión del volquete Volvo FMX8X4R	
Tiempo operativo	Tiempo medio entre intervenciones
t	MTBI
1970 Horas	1967.72 Horas
1980 Horas	1977.24 Horas
1990 Horas	1986.67 Horas
2000 Horas	1995.99 Horas
2010 Horas	2005.17 Horas
2020 Horas	2014.20 Horas
2030 Horas	2023.04 Horas
2040 Horas	2031.67 Horas
2050 Horas	2040.05 Horas
2060 Horas	2048.14 Horas
2070 Horas	2055.90 Horas
2080 Horas	2063.29 Horas
2090 Horas	2070.26 Horas
2100 Horas	2076.75 Horas
2110 Horas	2082.73 Horas
2120 Horas	2088.15 Horas
2130 Horas	2092.98 Horas
2140 Horas	2097.18 Horas
2150 Horas	2100.75 Horas
2160 Horas	2103.70 Horas
2170 Horas	2106.05 Horas
2180 Horas	2107.84 Horas
2190 Horas	2109.15 Horas
2200 Horas	2110.05 Horas
2210 Horas	2110.63 Horas
2220 Horas	2110.97 Horas
2230 Horas	2111.16 Horas

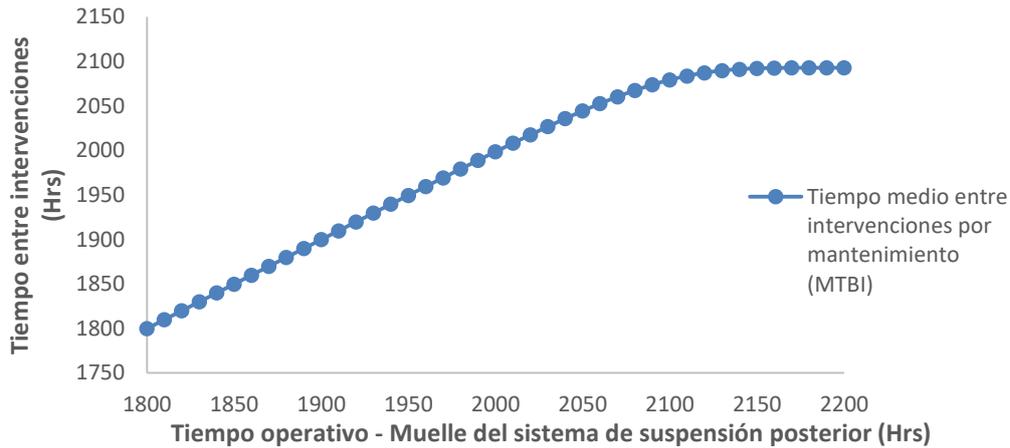
Nota: Elaboración propia.

Mientras se mantenga la política preventiva de cambio del muelle del grupo funcional de suspensión posterior en un intervalo de 2400 horas de operación, hay más tiempo de operación de los volquetes, pero poca confiabilidad en función al sistema indicado. El

programar la política preventiva antes de las 2400 horas, operan menos, pero hay más confiabilidad.

Figura 46

Tiempo medio entre intervenciones de mantenimiento en el sistema de suspensión posterior



Nota: Elaboración propia.

6.3.2. Fase de gerencia del riesgo

Se toma en cuenta modelos que informan si la propuesta de solución nos da como resultado que el riesgo es menor al permitido. Se adopta el modelo por optimización análisis costo, riesgo y beneficio; permitiendo comparar los costos asociados a la actividad de mitigación de riesgo.

6.3.2.1. Etapa de cuantificación del costo. Se cuantifica el costo horario de cada intervención de cambio preventivo de componentes del muelle en el sistema de suspensión posterior. El costo horario (C_{Horario}) es el instrumento de medición de la dimensión modelo de optimización.

$$C_{\text{Horario}} = \frac{C_p \times C(t)}{\text{MTBI}}$$

Donde:

C_p = Costo global por intervenciones de mantenimiento preventivo

$C(t)$ = Confiabilidad operativa

MTBI = Tiempo medio entre intervenciones

Como primer paso de la etapa (Ver figura 34), se tabula el costo horario por intervención preventiva. Se considera los costos globales por intervenciones preventivas durante la política de mantenimiento de 2400 horas en el año 2020, el cual está consolidado la mano de obra y los repuestos que se demandaron (Ver anexo 4).

Tabla 28

Costo global por flota de mantenimiento preventivo del grupo funcional de suspensión

Muelle del grupo funcional de suspensión posterior del volquete Volvo FMX 8X4R		
Costo global de mantenimiento preventivo en la flota		
Total	90,409.50	Soles / Flota

Nota: Elaboración propia.

Conociéndose que el número de intervenciones preventivas equivale a 55 eventos, se determina el costo por intervención preventiva en el equipo.

Tabla 29

Costo por intervención preventivo del muelle del grupo funcional de suspensión posterior

Muelle del grupo funcional de suspensión posterior del volquete Volvo FMX 8X4R		
Costo global por intervenciones de mantenimiento preventivo		
Cp	1,643.81	Soles / Intervención

Nota: Elaboración propia.

Se procede a tabular el costo horario por intervención preventiva en función al tiempo operativo del muelle de suspensión.

Tabla 30

Costo horario en el muelle del grupo funcional de suspensión posterior

Grupo funcional de suspensión posterior del volquete Volvo FMX 8X4R			
Tiempo operativo	Confiabilidad operativa	Tiempo medio entre intervenciones	Costo horario por intervención preventiva para afrontar el riesgo
t	C(t)	MTBI	Soles / Hora

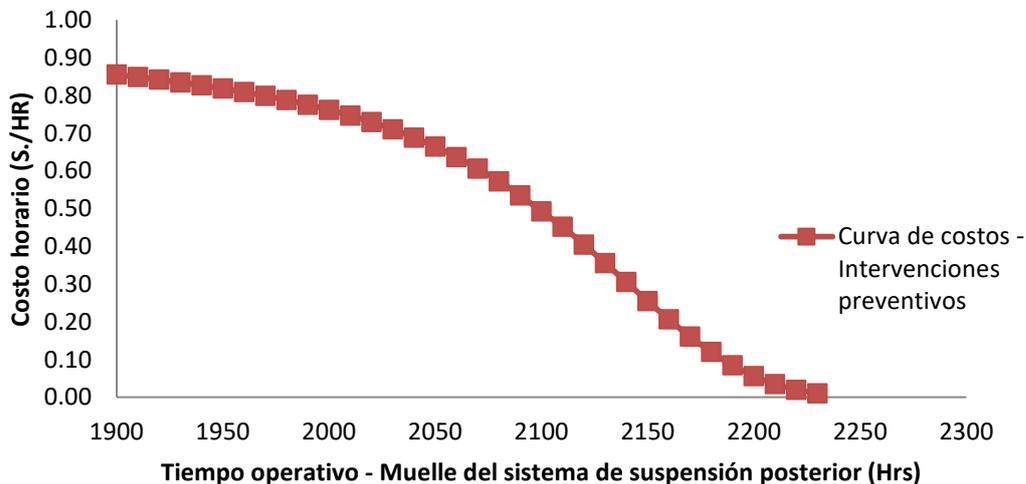
Horas	%	Horas	
1800	99.84%	1799.92	0.9118
1810	99.81%	1809.91	0.9065
1820	99.76%	1819.89	0.9011
1830	99.71%	1829.86	0.8957
1840	99.64%	1839.83	0.8903
1850	99.56%	1849.79	0.8848
1860	99.47%	1859.74	0.8792
1870	99.35%	1869.68	0.8735
1880	99.21%	1879.61	0.8677
1890	99.04%	1889.52	0.8616
1900	98.84%	1899.42	0.8554
1910	98.59%	1909.29	0.8488
1920	98.30%	1919.13	0.8419
1930	97.94%	1928.95	0.8346
1940	97.51%	1938.72	0.8268
1950	97.00%	1948.45	0.8183
1960	96.39%	1958.12	0.8091
1970	95.65%	1967.72	0.7991
1980	94.78%	1977.24	0.7880
1990	93.75%	1986.67	0.7757
2000	92.53%	1995.99	0.7620
2010	91.09%	2005.17	0.7467
2020	89.39%	2014.20	0.7296
2030	87.41%	2023.04	0.7103
2040	85.10%	2031.67	0.6886
2050	82.43%	2040.05	0.6642
2060	79.35%	2048.14	0.6369
2070	75.84%	2055.90	0.6063
2080	71.86%	2063.29	0.5725
2090	67.40%	2070.26	0.5352
2100	62.46%	2076.75	0.4928
2110	57.07%	2082.73	0.4517
2120	51.28%	2088.15	0.4047
2130	45.17%	2092.98	0.3556
2140	38.88%	2097.18	0.3054
2150	32.56%	2100.75	0.2552
2160	26.39%	2103.70	0.2065
2170	20.60%	2106.05	0.1610
2180	15.38%	2107.84	0.1200
2190	10.89%	2109.15	0.0850
2200	7.26%	2110.05	0.0566
2210	4.50%	2110.63	0.0350
2220	2.56%	2110.97	0.0200
2230	1.32%	2111.16	0.0103
2240	0.61%	2111.26	0.0047
2250	0.24%	2111.30	0.0019
2260	0.08%	2111.31	0.0007
2270	0.02%	2111.32	0.0002
2280	0.01%	2111.32	0.0000
2290	0.00%	2111.32	0.0000

Nota: Elaboración propia.

Mientras se mantenga el plan de cambio preventivo del muelle del sistema de suspensión posterior cada 2400 horas de operación, el costo horario por intervención preventiva para afrontar el riesgo es cero, debido a la baja confiabilidad operacional; al programar la actividad preventiva antes de las 2400 horas, aumenta el costo horario de acción preventiva, debido a que la probabilidad de confiabilidad operativa aumenta y el tiempo medio operativo entre intervenciones de mantenimientos disminuye.

Figura 47

Costo horario por intervención preventiva en función al tiempo operativo



Nota: Elaboración propia.

6.3.2.2. Etapa de cuantificación del riesgo. Se cuantifica el riesgo horario de cada intervención de cambio correctivo de componentes del muelle en el sistema de suspensión posterior. El riesgo horario (R_{Horario}) es el instrumento de medición de la dimensión modelo de optimización.

$$R_{\text{Horario}} = \frac{C_f \times F(t)}{\text{MTBI}}$$

Donde:

C_f = Costo global por intervenciones de mantenimiento correctivo

$F(t)$ = No confiabilidad operativa

MTBI = Tiempo medio entre intervenciones

Como primer paso de la etapa (Ver figura 34), se tabula el riesgo horario por intervención correctiva. Se considera a los costos globales por intervención correctiva durante la política de mantenimiento de 2400 horas en el año 2020 (Ver anexo 5), el cual está consolidado la mano de obra y los repuestos que se demandaron.

Tabla 31

Costo global por flota de mantenimiento correctivo del grupo funcional de suspensión

Muelle del grupo funcional de suspensión posterior del volquete Volvo FMX 8X4R		
Costo global de mantenimiento correctivo en la flota		
Total	120,417.62	Soles / Flota

Nota: Elaboración propia.

Conociéndose que el número de intervenciones correctivas equivale a 53 eventos, se determina el costo por intervención correctiva en el equipo.

Tabla 32

Costo por intervención correctiva del muelle del grupo funcional de suspensión posterior

Muelle del grupo funcional de suspensión posterior del volquete Volvo FMX 8X4R		
Costo global por intervenciones de mantenimiento correctivo		
Cf	2,272.03	Soles / Intervención

Nota: Elaboración propia.

Se procede a tabular el riesgo horario por intervención correctiva en función al tiempo operativo del muelle de suspensión.

Tabla 33

Riesgo horario en el muelle del grupo funcional de suspensión

Grupo funcional de suspensión posterior del volquete Volvo FMX 8X4R			
Tiempo operativo	No confiabilidad operativa	Tiempo medio entre intervenciones	Riesgo horario por intervención correctiva
t	F(t)	MTBI	
Horas	%	Horas	Soles / Hora

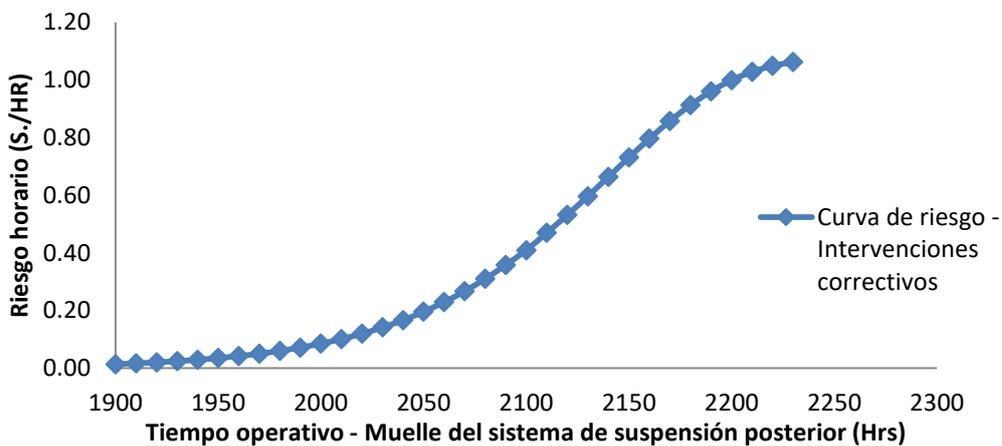
1800	0.16%	1799.92	0.0020
1810	0.19%	1809.91	0.0024
1820	0.24%	1819.89	0.0030
1830	0.29%	1829.86	0.0036
1840	0.36%	1839.83	0.0044
1850	0.44%	1849.79	0.0053
1860	0.53%	1859.74	0.0065
1870	0.65%	1869.68	0.0079
1880	0.79%	1879.61	0.0095
1890	0.96%	1889.52	0.0115
1900	1.16%	1899.42	0.0139
1910	1.41%	1909.29	0.0167
1920	1.70%	1919.13	0.0202
1930	2.06%	1928.95	0.0243
1940	2.49%	1938.72	0.0292
1950	3.00%	1948.45	0.0350
1960	3.61%	1958.12	0.0419
1970	4.35%	1967.72	0.0502
1980	5.22%	1977.24	0.0599
1990	6.25%	1986.67	0.0715
2000	7.47%	1995.99	0.0850
2010	8.91%	2005.17	0.1010
2020	10.61%	2014.20	0.1196
2030	12.59%	2023.04	0.1414
2040	14.90%	2031.67	0.1666
2050	17.57%	2040.05	0.1957
2060	20.65%	2048.14	0.2291
2070	24.16%	2055.90	0.2670
2080	28.14%	2063.29	0.3099
2090	32.60%	2070.26	0.3578
2100	37.54%	2076.75	0.4093
2110	42.93%	2082.73	0.4696
2120	48.72%	2088.15	0.5315
2130	54.83%	2092.98	0.5965
2140	61.12%	2097.18	0.6635
2150	67.44%	2100.75	0.7307
2160	73.61%	2103.70	0.7961
2170	79.40%	2106.05	0.8575
2180	84.62%	2107.84	0.9129
2190	89.11%	2109.15	0.9605
2200	92.74%	2110.05	0.9991
2210	95.50%	2110.63	1.0283
2220	97.44%	2110.97	1.0489
2230	98.68%	2111.16	1.0621
2240	99.39%	2111.26	1.0697
2250	99.76%	2111.30	1.0735
2260	99.92%	2111.31	1.0752
2270	99.98%	2111.32	1.0759
2280	99.99%	2111.32	1.0761
2290	100.00%	2111.32	1.0761

Nota: Elaboración propia.

Mientras se mantenga el plan de cambio preventivo del muelle del sistema de suspensión posterior cada 2400 horas de operación, el riesgo horario por intervención correctiva es 1.0761, debido a la baja confiabilidad operacional; mientras que, al programar la actividad preventiva antes de las 2400 horas, disminuye el riesgo horario, debido a que la probabilidad de confiabilidad operativa aumenta y el tiempo medio operativo entre intervenciones de mantenimientos disminuye.

Figura 48

Riesgo horario por intervención correctiva en función al tiempo operativo



Nota: Elaboración propia.

6.3.2.3. Etapa de impacto total. Se cuantifica el impacto total horario por la política preventiva sobre los componentes del muelle en el sistema de suspensión posterior. El impacto total horario (I_{Horario}).

$$I_{\text{Horario}} = R_{\text{Horario}} + C_{\text{Horario}}$$

$$I_{\text{Horario}} = \frac{C_f \times F(t)}{\text{MTBI}} + \frac{C_p \times C(t)}{\text{MTBI}}$$

Donde:

C_p = Costo global por intervenciones de mantenimiento preventivo

$C(t)$ = Confiabilidad operativa

C_f = Costo global por intervenciones de mantenimiento correctivo

$F(t)$ = No confiabilidad operativa

MTBI = Tiempo medio entre intervenciones

Como primer paso de la etapa (Ver figura 34), se tabula el impacto total horario por la política preventiva. El impacto total permite determinar el tiempo de operación óptima para proceder con las intervenciones por cambio preventivo de los repuestos del muelle del sistema de suspensión posterior.

Tabla 34

Impacto total horario por política preventiva en el grupo funcional de suspensión

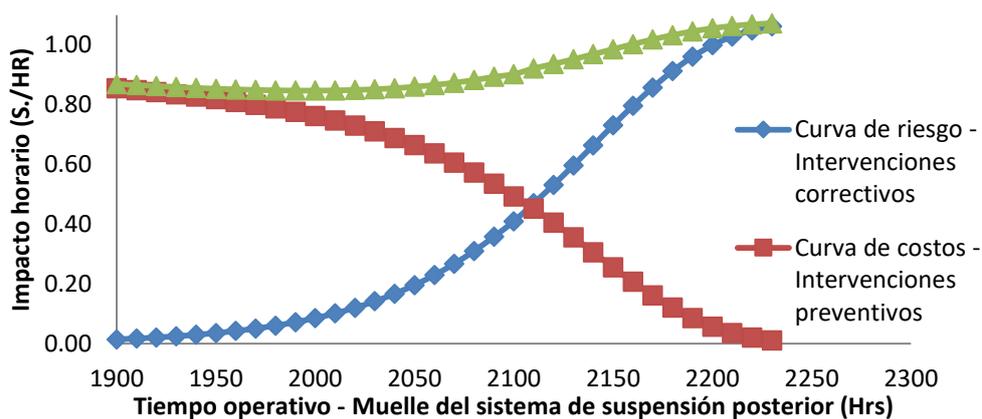
Grupo funcional de suspensión posterior del volquete Volvo FMX 8X4R			
Tiempo operativo	Costo horario por intervención preventiva para afrontar el riesgo	Riesgo horario por intervención correctiva	Impacto total horario por política preventiva
t	C_{Horario}	R_{Horario}	I_{Horario}
Horas	Soles / Hora	Soles / Hora	Soles / Hora
1800	0.9118	0.0020	0.9138
1810	0.9065	0.0024	0.9089
1820	0.9011	0.0030	0.9041
1830	0.8957	0.0036	0.8993
1840	0.8903	0.0044	0.8947
1850	0.8848	0.0053	0.8901
1860	0.8792	0.0065	0.8857
1870	0.8735	0.0079	0.8814
1880	0.8677	0.0095	0.8772
1890	0.8616	0.0115	0.8731
1900	0.8554	0.0139	0.8693
1910	0.8488	0.0167	0.8656
1920	0.8419	0.0202	0.8621
1930	0.8346	0.0243	0.8589
1940	0.8268	0.0292	0.8559
1950	0.8183	0.0350	0.8533
1960	0.8091	0.0419	0.8511
1970	0.7991	0.0502	0.8493
1980	0.7880	0.0599	0.8479
1990	0.7757	0.0715	0.8472
2000	0.7620	0.0850	0.8471
2010	0.7467	0.1010	0.8477
2020	0.7296	0.1196	0.8492
2030	0.7103	0.1414	0.8516
2040	0.6886	0.1666	0.8552

2050	0.6642	0.1957	0.8599
2060	0.6369	0.2291	0.8659
2070	0.6063	0.2670	0.8734
2080	0.5725	0.3099	0.8824
2090	0.5352	0.3578	0.8929
2100	0.4928	0.4093	0.9022
2110	0.4517	0.4696	0.9214
2120	0.4047	0.5315	0.9362
2130	0.3556	0.5965	0.9521
2140	0.3054	0.6635	0.9689
2150	0.2552	0.7307	0.9859
2160	0.2065	0.7961	1.0026
2170	0.1610	0.8575	1.0185
2180	0.1200	0.9129	1.0329
2190	0.0850	0.9605	1.0454
2200	0.0566	0.9991	1.0556
2210	0.0350	1.0283	1.0634
2220	0.0200	1.0489	1.0688
2230	0.0103	1.0621	1.0724
2240	0.0047	1.0697	1.0744
2250	0.0019	1.0735	1.0754
2260	0.0007	1.0752	1.0759
2270	0.0002	1.0759	1.0761
2280	0.0000	1.0761	1.0761
2290	0.0000	1.0761	1.0761

Nota: Elaboración propia.

Figura 49

Impacto total horario por política preventiva en función al tiempo operativo



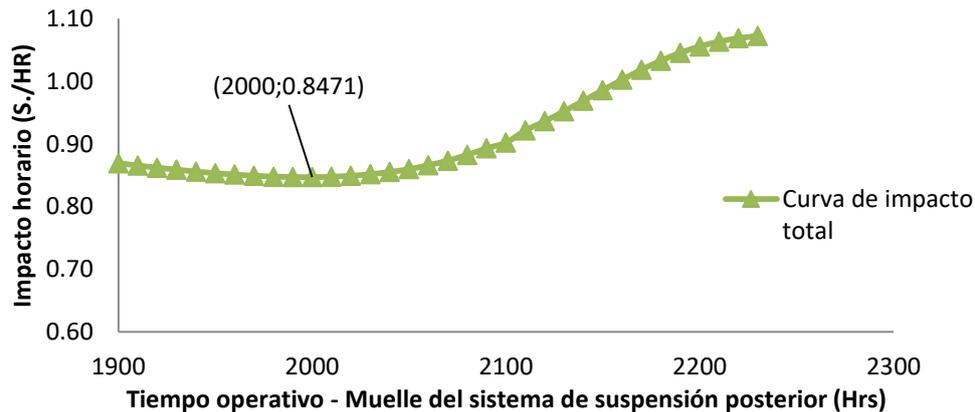
Nota: Elaboración propia.

Como segundo paso de la etapa (Ver figura 34), se selecciona la frecuencia óptima de la política preventiva. El mínimo valor del impacto total horario por política preventiva es el punto más bajo de la curva, cuyo desplazamiento a la derecha del punto implica asumir

mucho riesgo, mientras que a la izquierda implica gastar demasiado dinero. Por ello, la frecuencia óptima para realizar las intervenciones preventivas debe ser cada 2000 horas.

Figura 50

Intervalo óptimo para política preventiva del sistema de suspensión posterior

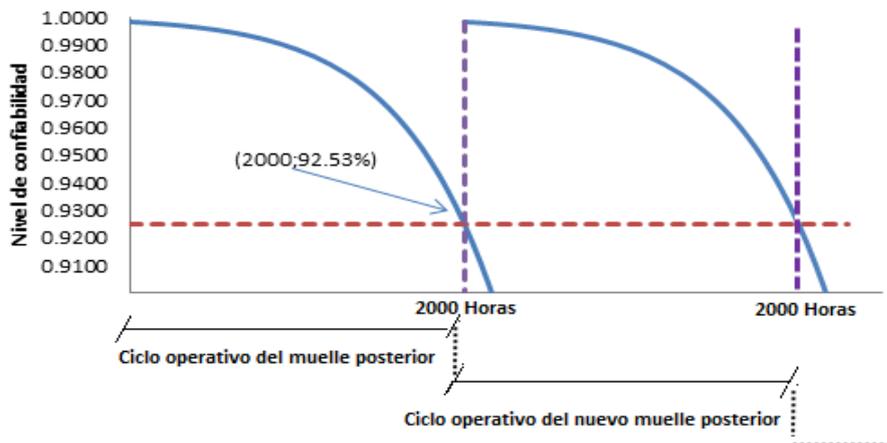


Nota: Elaboración propia.

Al modificar la política de cambio a las 2000 horas representa un 92.53% de confiabilidad en el sistema crítico de suspensión posterior de los volquetes. El cambio del muelle posterior es cíclico a las 2000 horas de operación para ser reemplazado con uno nuevo, debido a que como es un repuesto no reparable, no puede ser reutilizado.

Figura 51

Confiabilidad operacional por política preventiva de 2000 horas



Nota: Elaboración propia.

La selección del intervalo preventivo cada 2000 horas de operación, tiene un nivel de confiabilidad operacional alto y sincroniza con la frecuencia de tareas por cambio preventivo del sistema de suspensión delantero (Ver anexo 3). Dicha sincronización es conveniente con el fin de evitar más paradas preventivas que afecten al proceso productivo del cliente.

6.3.3. Fase de la comunicación del riesgo

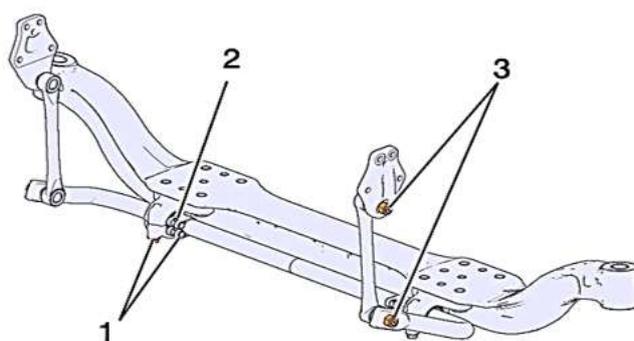
Se refleja la política de reemplazo preventiva de 2000 horas en el muelle del grupo funcional de suspensión posterior, el cual es seleccionado en la fase de gerencia del riesgo como óptimo.

6.3.3.1. Modificar plan de mantenimiento del escenario riesgoso. Se modifica el intervalo de reemplazo preventivo de repuestos que involucran al muelle posterior del sistema de suspensión de los volquetes, de 2400 a 2000 horas de operación. Se integra actividades de inspección de componentes y procedimientos de ajustes cada 1200 horas tanto al sistema de suspensión posterior como al delantero para evitar la aceleración de vida por vibraciones y saber qué componentes debe ser reemplazado cuando se llegue a las 2000 horas.

Figura 52

Ajuste en la barra estabilizadora y acoplamiento del sistema de suspensión delantero

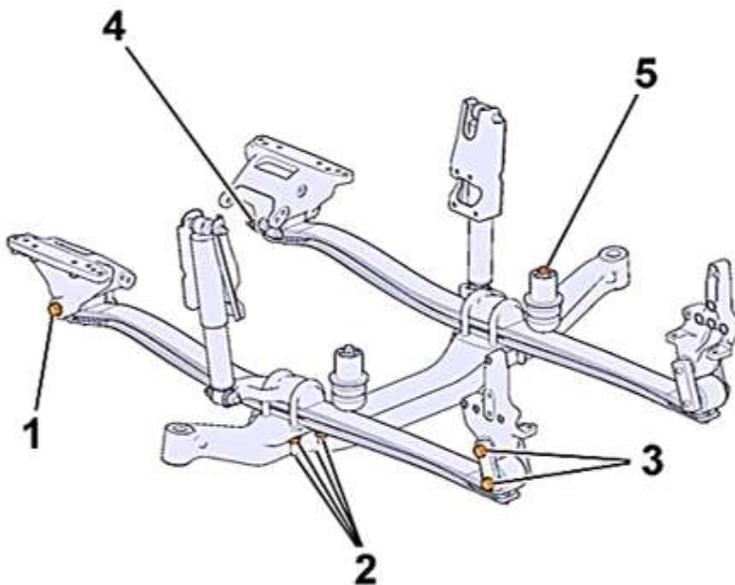
1	Tapa de barra estabilizadora, tornillo	155 ±31 Nm
2	Abrazadera, tornillo	20 ±4 Nm
3	Barra de acoplamiento, tuerca	150 ±15 Nm



Nota: Información adaptado del portal de mantenimiento de equipos móviles.

Figura 53*Ajuste en el muelle del sistema de suspensión delantero*

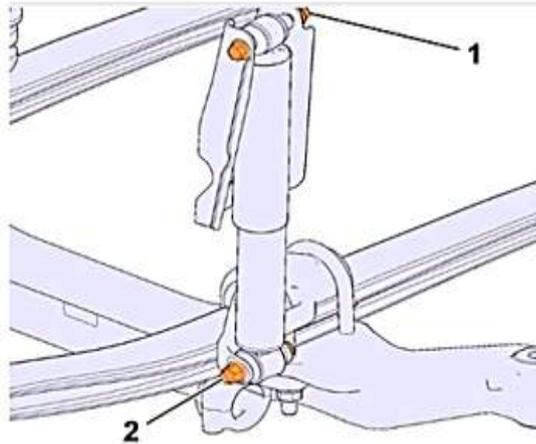
1 Ballesta, tornillo		800 ±100 Nm
1 Racor de lubricación		8 ±2 Nm
2 Perno en U, tuerca	M20	Secuencia de apriete: En cruz 630 ±85 Nm
2 Perno en U, tuerca, par de control	M20. Si el par es inferior al par de control, aflojar todas las tuercas y reapretarlas con el par nominal.	≥470 Nm
2 Perno en U, tuerca	M24	Secuencia de apriete: En cruz 900 ±180 Nm
2 Perno en U, tuerca, par de control	M24. Si el par es inferior al par de control, aflojar todas las tuercas y reapretarlas con el par nominal.	≥675 Nm
3 Gemela de ballesta, tornillo		800 ±100 Nm
3 Racor de lubricación		6 ±2 Nm
4 Perno de fijación de ballesta		140 ±25 Nm
5 Tope de pluma, tornillo		85 ±15 Nm



Nota: Información adaptado del portal de mantenimiento de equipos móviles.

Figura 54*Ajuste en el amortiguador del sistema de suspensión delantero*

1	Fijación superior, perno	220 ±40 Nm
2	Amortiguador, tornillo inferior	540 ±90 Nm

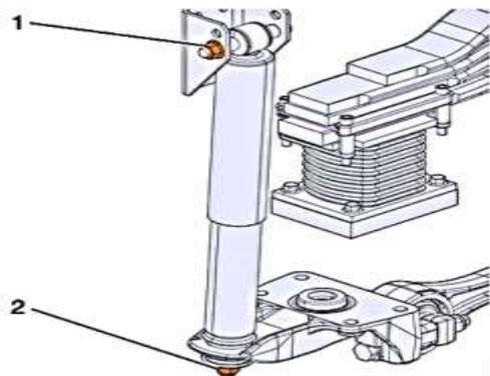


Nota: Información adaptado del portal de mantenimiento de equipos móviles.

Dichas especificaciones de ajustes en el sistema de suspensión delantero, son indicadas en el plano de mantenimiento preventivo de la flota de volquetes cuando estén operando en la sede minera. Igualmente, se especifica el apriete por torque a realizar en los componentes del sistema de suspensión posterior.

Figura 55*Ajuste en amortiguador del muelle del sistema de suspensión posterior*

1	Amortiguador, chasis, tuerca	275 ±45 Nm
2	Amortiguador, tuerca	85 ±15 Nm

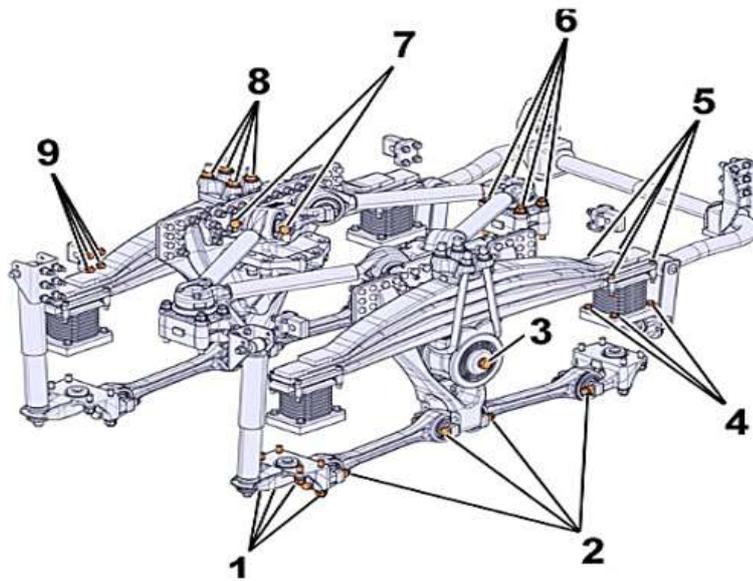


Nota: Información adaptado del portal de mantenimiento de equipos móviles.

Figura 56

Ajuste en el muelle del sistema de suspensión posterior

1 Barra de reacción, soporte, tuerca		310 ±35 Nm
1 Soporte, espárrago		90 ±10 Nm
2 Barra de reacción, tornillo		540 ±90 Nm
3 Cuna de ballesta posterior, tornillo		850 ±140 Nm
4 Resorte de goma, tornillo		175 ±30 Nm
5 Resorte de goma, tornillo		85 ±15 Nm
6 Barra en V, tuerca		310 ±35 Nm
6 Soporte, espárrago		90 ±10 Nm
7 Barra en V, tornillo de fijación M20.		490 ±50 Nm
8 abrazadera-u, tuerca	M24	Secuencia de apriete: En cruz 660 ±85 Nm
8 Perno en U, tuerca, par de control	M24. Si el par es inferior al par de control, aflojar todas las tuercas y reapretarlas con el par nominal.	≥500 Nm
9 Tope, tornillo		175 ±30 Nm

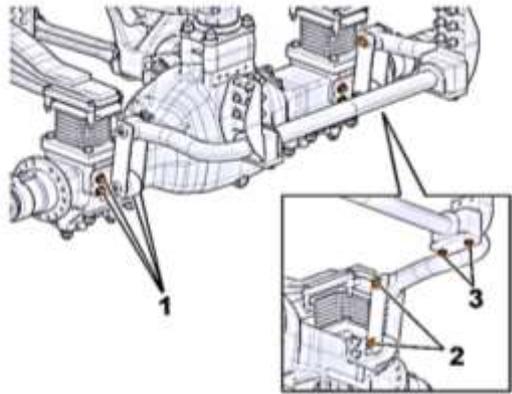


Nota: Información adaptado del portal de mantenimiento de equipos móviles.

Figura 57

Ajuste en soportes del muelle del sistema de suspensión posterior

1	Soporte de barra estabilizadora, tornillo	140 ±25 Nm
2	Barra estabilizadora, eje, tornillo	275 ±45 Nm
3	Soporte de barra estabilizadora, tornillo	175 ±30 Nm

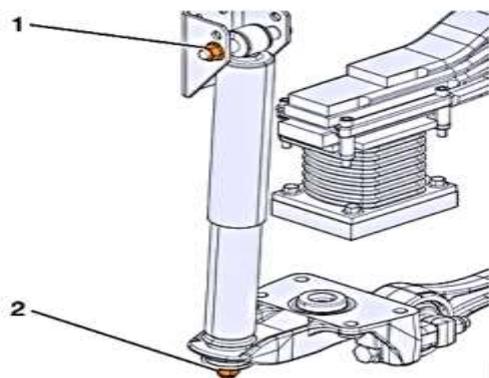


Nota: Información adaptado del portal de mantenimiento de equipos móviles.

Figura 58

Ajuste en amortiguador del muelle del sistema de suspensión posterior

1	Amortiguador, chasis, tuerca	275 ±45 Nm
2	Amortiguador, tuerca	85 ±15 Nm



Nota: Información adaptado del portal de mantenimiento de equipos móviles.

El plan de mantenimiento modificado es compartido a todas las áreas involucradas con la operación de la flota de volquetes en sede minera para su posterior cumplimiento de acuerdo al tiempo de contrato.

Tabla 35

Plano modificado de mantenimiento preventivo del sistema de suspensión del volquete marca Volvo modelo FMX 8X4R

Plan de mantenimiento	Actividad de mantenimiento	Puesto de trabajo	Texto de operación	Horas total de trabajo	Número técnicos	Tiempo operación	Unidad duración	Clase actividad
14396	Mecánico	Det-oper	Mantto.2000	0.000	0.000	0.000		
14396	Mecánico	Mecani-A	Detalle horas hombre	4.000	2.000	2.000	H	Tecman
14396	Mecánico	Det-oper	C/ Paquete suspensión delantera 1er eje RH	0.000	0.000	0.000		
14397	Mecánico	Det-oper	Mantto 2000	0.000	0.000	0.000		
14397	Mecánico	Mecani-A	Detalle horas hombre	4.000	2.000	2.000	H	Tecman
14397	Mecánico	Det-oper	C/ Paquete suspensión delantera 1er eje LH	0.000	0.000	0.000		
14398	Mecánico	Det-oper	Mantto 2000	0.000	0.000	0.000		
14398	Mecánico	Mecani-A	Detalle horas hombre	5.000	2.000	2.500	H	Tecman
14398	Mecánico	Det-oper	C/ Paquete suspensión posterior RH	0.000	0.000	0.000		
14399	Mecánico	Det-oper	Mantto 2000	0.000	0.000	0.000		
14399	Mecánico	Mecani-A	Detalle horas hombre	5.000	2.000	2.500	H	Tecman
14399	Mecánico	Det-oper	C/ Paquete suspensión posterior LH	0.000	0.000	0.000		
25180	Mecánico	Det-oper	Mantto 2000	0.000	0.000	0.000		
25180	Mecánico	Mecani-A	Detalle horas hombre	4.000	2.000	2.000	H	Tecman
25180	Mecánico	Det-oper	C/ Paquete suspensión delantera 2do eje LH	0.000	0.000	0.000		
25181	Mecánico	Det-oper	Mantto 2000	0.000	0.000	0.000		
25181	Mecánico	Mecani-A	Detalle horas hombre	4.000	2.000	2.000	H	Tecman
25181	Mecánico	Det-oper	C/ Paquete suspensión delantera 2do eje RH	0.000	0.000	0.000		
14400	Mecánico	Det-oper	Mantto 1200	0.000	0.000	0.000		
14400	Mecánico	Mecani-A	Detalle horas hombre	2.000	2.000	1.000	H	Tecman
14400	Mecánico	Det-oper	Inspección de estado y ajuste de tornillo, tuercas de componentes del muelle de suspensión delantero	0.000	0.000	0.000		

14400	Mecánico	Det-oper	Inspección de racor de lubricación	0.000	0.000	0.000		
14400	Mecánico	Det-oper	Inspección de perno en U	0.000	0.000	0.000		
14400	Mecánico	Det-oper	Inspección de gemela de ballesta	0.000	0.000	0.000		
14400	Mecánico	Det-oper	Inspección de perno de fijación	0.000	0.000	0.000		
14400	Mecánico	Det-oper	Inspección de tope de pluma	0.000	0.000	0.000		
14400	Mecánico	Det-oper	Inspección de tapa de barra estabilizadora	0.000	0.000	0.000		
14400	Mecánico	Det-oper	Inspección de abrazadera	0.000	0.000	0.000		
14400	Mecánico	Det-oper	Inspección de barra de acoplamiento	0.000	0.000	0.000		
14400	Mecánico	Det-oper	Inspección de fijación superior	0.000	0.000	0.000		
14400	Mecánico	Det-oper	Inspección de amortiguador	0.000	0.000	0.000		
14500	Mecánico	Det-oper	Mantto 1200	0.000	0.000	0.000		
14500	Mecánico	Mecani-A	Detalle horas hombre	2.000	2.000	1.000	H	Tecman
			Inspección de estado y ajuste de tornillo, tuercas y espárragos de componentes del					
14500	Mecánico	Det-oper	muelle de suspensión posterior	0.000	0.000	0.000		
14500	Mecánico	Det-oper	Inspección de barra de reacción	0.000	0.000	0.000		
14500	Mecánico	Det-oper	Inspección de soporte y espárrago	0.000	0.000	0.000		
14500	Mecánico	Det-oper	Inspección de resorte de goma	0.000	0.000	0.000		
14500	Mecánico	Det-oper	Inspección de soporte	0.000	0.000	0.000		
14500	Mecánico	Det-oper	Inspección de barra en V	0.000	0.000	0.000		
14500	Mecánico	Det-oper	Inspección de abrazadera en U	0.000	0.000	0.000		
14500	Mecánico	Det-oper	Inspección del perno en U	0.000	0.000	0.000		
14500	Mecánico	Det-oper	Inspección del tope	0.000	0.000	0.000		
14500	Mecánico	Det-oper	Inspección de cuna de ballesta	0.000	0.000	0.000		
14500	Mecánico	Det-oper	Inspección de soporte de barra estabilizadora	0.000	0.000	0.000		
14500	Mecánico	Det-oper	Inspección de barra estabilizadora	0.000	0.000	0.000		
14500	Mecánico	Det-oper	Inspección de amortiguador	0.000	0.000	0.000		

Nota: Elaboración propia.

La empresa cree conveniente en reemplazar anualmente la flota de volquetes por otros que operan en otros proyectos, y que se ponga en ejecución al plano de mantenimiento modificado, programando en función a los horómetros, el momento en que debe ejecutarse los cambios preventivos de repuestos del muelle del sistema de suspensión posterior.

Figura 59

Programación del primer cambio preventivo de repuestos del muelle posterior



Nota: Elaboración propia.

Figura 60

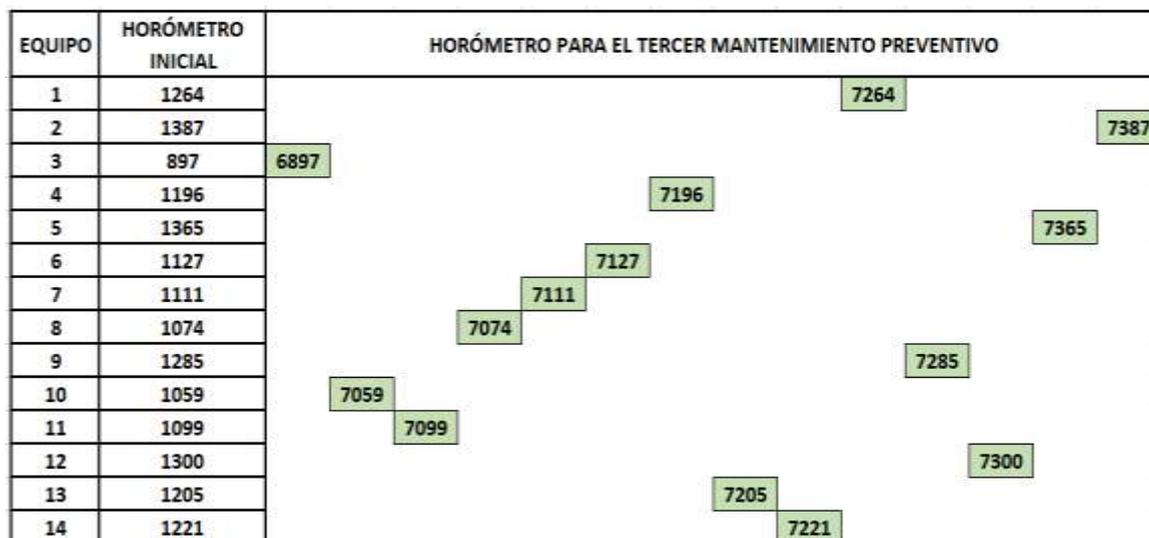
Programación del segundo cambio preventivo de repuestos del muelle posterior



Nota: Elaboración propia.

Figura 61

Programación del tercer cambio preventivo de repuestos del muelle posterior



Nota: Elaboración propia.

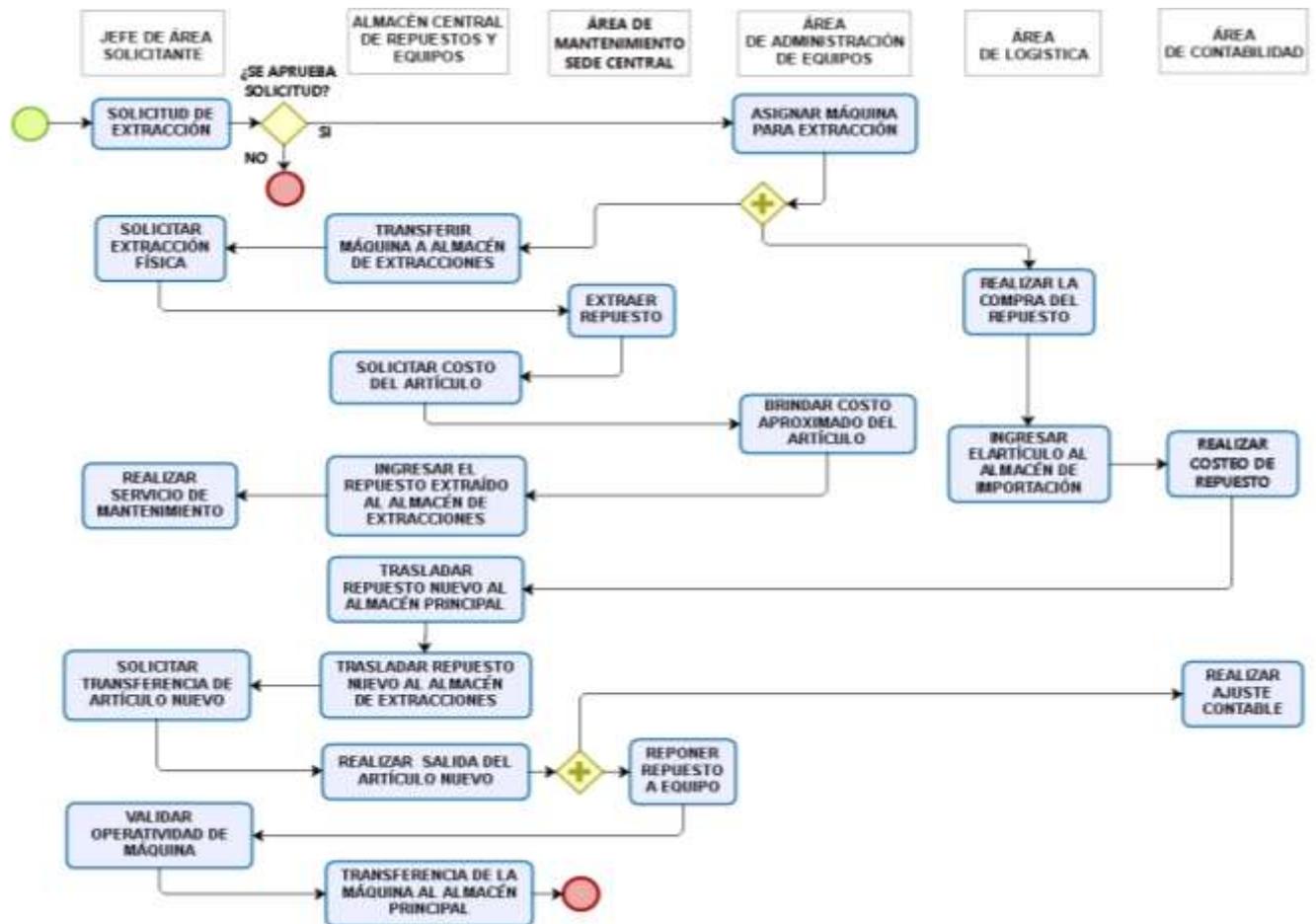
Ante una situación fuera de lo programado, el cual es común en todo tipo de implementación de mejora en lo que respecta a mantenimientos, se refuerza el proceso de flujo de extracción con reposición de repuestos en equipos no comprometidos con algún proyecto. El presente procedimiento tiene por finalidad establecer normas, pautas y responsabilidades para la extracción de repuestos o accesorios, de una maquinaria y atender así inmediatamente al cliente sin que afecten el control sobre los inventarios de la empresa.

La extracción consiste en sacar un componente de otra en la que está contenida o formando un todo con ella. También es conocido como despiece.

La identificación de la necesidad de usar un artículo que no se tiene en stock, da inicio al proceso de extracción del artículo de una máquina y termina con la reposición del artículo extraído a la máquina haciendo la consulta a los proveedores oficiales de los volquetes que se están alquilando.

Figura 62

Flujo de proceso de extracción de repuestos



Nota: Elaboración propia.

Capítulo VII: Resultados y discusión

La empresa Zapler está sujeta a dos situaciones, el antes y después de implementar la herramienta de ingeniería de mantenimiento basado en el riesgo (MBR); los resultados están enfocados al beneficio económico de la empresa como el beneficio en las operaciones del cliente al variar los indicadores de las variables señaladas en la presente investigación. Se valida técnicamente la propuesta de mejora mediante la metodología As Is y To Be mediante el proceso de simulación para revalidar los resultados y así proceder con la evaluación y validación económica.

7.1. Resultados

Durante la implementación del MBR, al modificar en el plano de mantenimiento el intervalo de reemplazo preventivo del muelle del sistema de suspensión posterior, de 2400 a 2000 horas de operación (Ver figura 49), genera la variación de los indicadores de la variable independiente sistema de mantenimiento basado en la confiabilidad (Ver tabla 35). Dicha variación influye directamente a los indicadores de la variable dependiente servicio de entrega (Ver tabla 36), impactando directamente a la facturación y a los costos por intervenciones correctivas para generar los beneficios de la metodología.

Tabla 36

Resultados en los indicadores de la variable independiente

Resultados en los indicadores de la variable independiente sistema de mantenimiento basado en el riesgo							
Propuesta de mejora	Frecuencia de cambio preventivo (t)	Confiabilidad operativa C(t)	No confiabilidad operativa F(t)	Riesgo por política preventiva R_{Horario}	Costo por política preventiva para afrontar el riesgo C_{Horario}	Tiempo medio entre intervenciones MTBI	Ocurrencia de órdenes de trabajo por mantenimiento correctivo
Implementando la Metodología MBR	2000 Horas	92.53%	7.47%	0.09 Soles/Hora	0.762 Soles/Hora	1995.99 Horas	4
Sin implementar la metodología MBR	2400 Horas	0.00%	100.00%	1.08 Soles/Hora	0.000 Soles/Hora	2111.32 Horas	53

Nota: Elaboración propia.

Tabla 37*Resultados en los indicadores de la variable dependiente*

Resultados en los indicadores de la variable dependiente servicio de entrega		
Propuesta de mejora	Disponibilidad operativa	Indisponibilidad por falla
Implementando la Metodología MBR	91.54 %	6.27 %
Sin implementar la Metodología MBR	78.05 %	21.95 %

Nota: Elaboración propia.

La variación de los indicadores de las variables consideradas, permiten reducir la pérdida de facturación por el alquiler de los volquetes, los costos de mantenimiento y los sobrecostos por las intervenciones correctivas, obteniendo un beneficio anual de 589,060.06 soles.

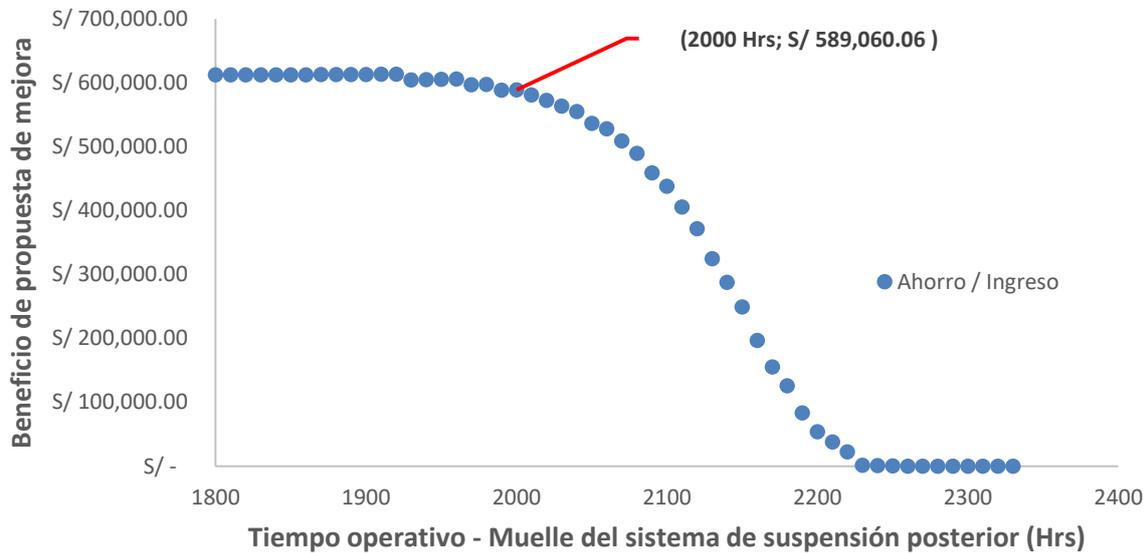
Tabla 38*Beneficio de la implementación de la propuesta de mejora*

Propuesta de mejora	Costo total anual de intervenciones correctivas	Costo total anual de intervenciones preventivas	Costo total anual de mantenimiento	Traslado de volquete prestado	Consumo de petróleo de volquete prestado	Pérdida por alquiler por volquete prestado	Pérdida por alquiler de volquete	Beneficio anual
Con metodología MBR	S/. 678.88	S/. 74,529.83	S/. 75,208.71	S/. 12,827.47	S/. 90,697.62	S/. 32,064.82	S/. 32,064.82	S/. 589,060.06
Sin metodología MBR	S/. 120,417.62	S/. 0.00	S/. 120,417.62	S/. 169,964.00	S/. 317,234.59	S/. 112,153.64	S/. 112,153.64	

Nota: Elaboración propia.

Figura 63

Diagrama de ahorro por metodología de mantenimiento basado en el riesgo



Nota: Elaboración propia.

7.2. Discusión de los resultados

En el estudio de Alfaro, (2019): “Gestión de mantenimiento basado en el riesgo para incrementar la confiabilidad de las maquinarias de la empresa Zinsac del Perú S.A.C.” se implementó una metodología de gestión basado en el riesgo para afrontar el estancamiento en el proceso de productividad. La implementación de la metodología cumplió con lo sugerido y a través del aumento de la confiabilidad en un 0.25%, se aumentó la disponibilidad operativa en un 4.39%, generando un beneficio anual de 26,387.9 dólares. A partir de los resultados encontrados, se acepta la hipótesis general, que establece que, si se implementa un sistema de mantenimiento basado en la confiabilidad, se mejorará servicio de entrega de la flota de volquetes en la unidad minera Cerro Corona. En la presente investigación hubo una mejora de la disponibilidad de la flota de equipos en un 13.49% al aumentar la confiabilidad del sistema más crítico a un 92.53%, generando un beneficio de 589,060.06 soles por año.

En el estudio de Sandoval, (2016): “Mejora en la confiabilidad operacional del sistema Power Shift de un camión minero Caterpillar modelo 797F: Desarrollo de una metodología de mantenimiento basado en el riesgo 2016” se priorizó el riesgo operativo de los sistemas que conforman los camiones mineros CAT modelo 797F para afrontar el estancamiento en el proceso productivo. La priorización cumplió con lo sugerido, determinando al sistema Power Shift como el más crítico, permitiendo el incremento de la confiabilidad en un 50%, con una disponibilidad promedio mayor a 90% y generando un beneficio anual de 65,590.94 dólares. A partir de los resultados encontrados, se acepta la hipótesis específica, que establece que, si se prioriza el riesgo operativo en los grupos funcionales de la flota de volquetes, mejora la disponibilidad operativa. En la presente investigación se determinó al muelle del sistema de suspensión posterior como el sistema más riesgoso al momento de fallar. hubo una mejora de la disponibilidad de la flota de equipos en un 13.49% al aumentar la confiabilidad del sistema más crítico a un 92.53%, generando un beneficio de 589,060.06 soles por año.

En el estudio de Salazar y Puma (2017): “Optimización del stock de componentes críticos para reducir costos e incrementar la disponibilidad de palas hidráulicas en minería” se tomó en cuenta la importancia del cambio del intervalo de intervenciones preventivas en repuestos de los sistemas que conforman la flota de 10 palas hidráulicas para afrontar la baja productividad. La manipulación de la frecuencia a un nivel óptimo cumplió con lo sugerido, debido a que el reemplazar el repuesto Swing Bearing de 28000 a 10250 horas de operación, permite el incremento de la confiabilidad de 26% a 100%; y con ella, la disponibilidad de la flota en función al sistema aumenta a 99%. A partir de los resultados encontrados, se acepta la hipótesis específica, que establece que, si se hace el seguimiento de la durabilidad operativa de los repuestos de la flota de volquetes, mejora la disponibilidad operativa. En la

presente investigación se varía el intervalo de reemplazo del muelle del sistema de suspensión posterior de 2400 a 2000 horas, influyendo en el aumento de la confiabilidad de la flota en función al sistema a 92.53% y con ella, aumenta la disponibilidad a 91.54 %.

En el estudio de Peláez y Valcárcel (2019): “Uso de la distribución Weibull para mejorar el proceso de la toma de decisiones del área de mantenimiento palas en una empresa del sector minero” se tomó en cuenta el modelo de optimización costo y riesgo en función al intervalo de reemplazo preventivo de repuestos críticos de la flota de palas hidráulicas EX2500 para afrontar la baja disponibilidad. El modelo de optimización cumplió con lo sugerido, debido a que el reemplazar los inyectores del motor a un tiempo óptimo de 10100 horas de operación, representa un costo global de 0.3780 dólares por hora, permitiendo el incremento de la confiabilidad de 95 a 97%; y con ello, se reduce el tiempo indispuerto por mantenimientos correctivos. A partir de los resultados encontrados, se acepta la hipótesis específica, que establece que, si se adopta el modelo de optimización costo y riesgo en la flota de volquetes, reduce el tiempo indispuerto por mantenimiento. En la presente investigación al optimizar el impacto total por política preventiva a 0.8471 soles por hora se varía el intervalo de reemplazo del muelle del sistema de suspensión posterior a 2000 horas, influyendo en el aumento de la confiabilidad de la flota en función al sistema a 92.53% y con ella, reduce la indisponibilidad por falla de 21.95 % a 6.27 %.

7.3. Validación técnica

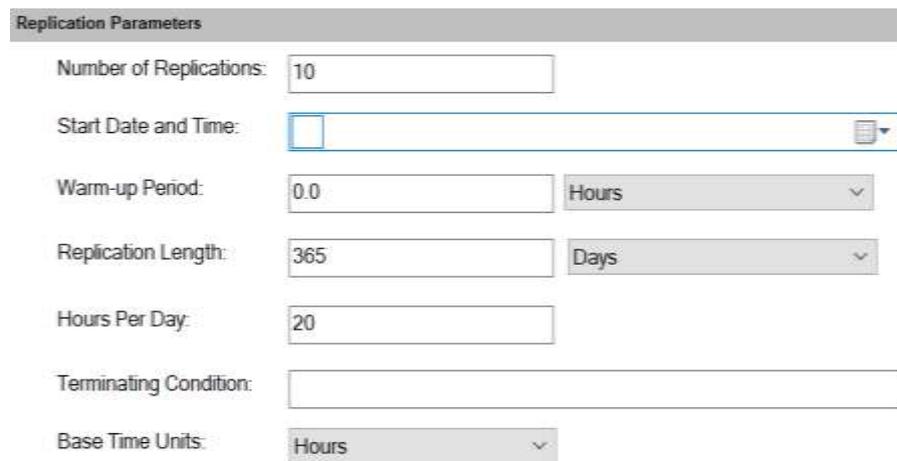
Por medio del software Arena, se simula los tiempos e intervenciones preventivas y correctivas antes y después de modificar el intervalo de política de cambio preventivo del muelle del sistema de suspensión posterior. Antes de simular, se procede registrar los parámetros. Por contrato, la flota de volquetes opera paralelamente 20 horas diarias en la unidad minera.

Tabla 39*Datos de parámetros para la simulación*

Datos de simulación en software Arena		
Días por año	365.00	Días/año
Horas por día	20.00	Horas/día
Horas por año	7300.00	Horas/año
Réplicas	10.00	Veces

Nota: Elaboración propia.

De acuerdo a los parámetros, se procede a programar en la opción ejecutor del simulador Arena.

Figura 64*Registro de información en la opción de ejecución del simulador*


The screenshot shows the 'Replication Parameters' dialog box with the following fields and values:

- Number of Replications: 10
- Start Date and Time: (empty)
- Warm-up Period: 0.0 Hours
- Replication Length: 365 Days
- Hours Per Day: 20
- Terminating Condition: (empty)
- Base Time Units: Hours

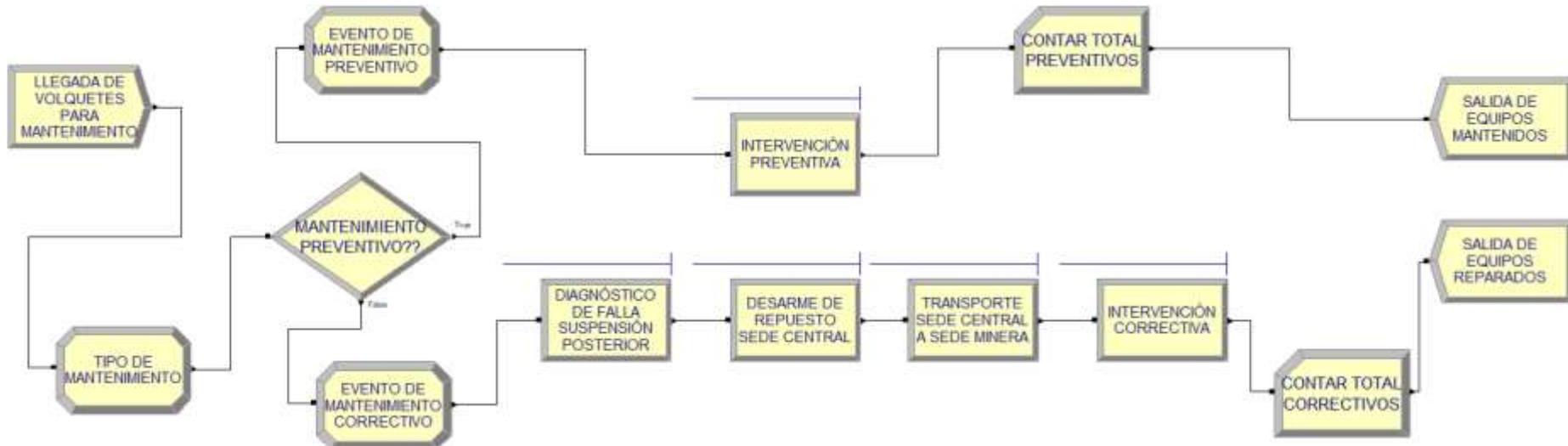
Nota: Elaboración propia. Adaptado del simulador Arena.

Se diseña el proceso de intervenciones por mantenimientos en el simulador Arena, el cual permite mostrar el número de eventos y el tiempo total que demanda las intervenciones correctivas y preventivas respecto al repuesto crítico muelle del grupo funcional de suspensión posterior según la política de mantenimiento a ejecutar.

Dichos resultados son importantes para saber a partir de la muestra de fallas, cuáles van a ser tratados como correctivos y preventivos según su nivel de confiabilidad operativa del intervalo actual y óptimo.

Figura 65

Estructura para la simulación en software Arena

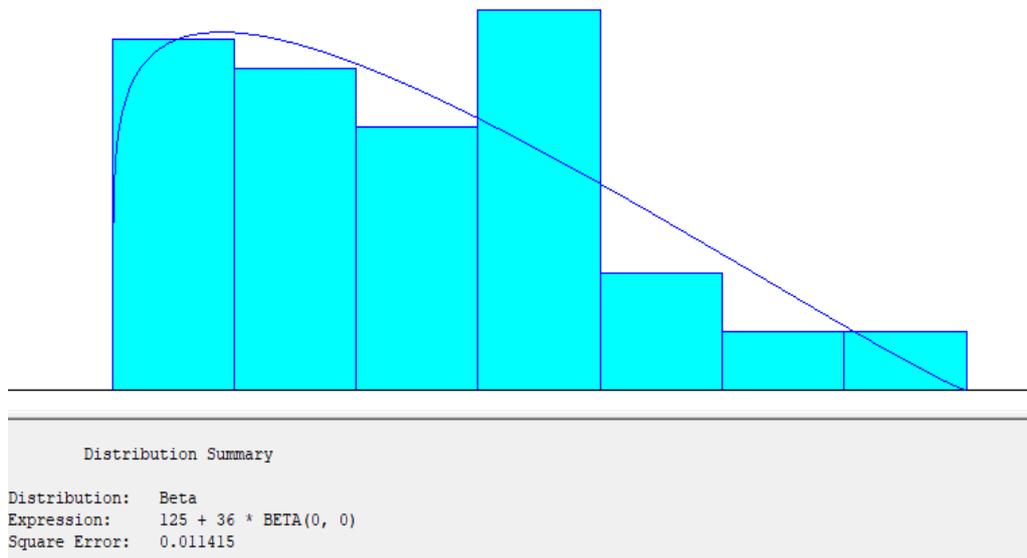


Nota: Elaboración propia. Adaptado del simulador Arena.

El tipo de entidad que ingresa al modelo de simulación, son los volquetes con observaciones en el muelle del sistema de suspensión posterior. Previo a la simulación, se registra en el Input Analyzer la tasa de ingreso de cada volquete (Ver anexo 6), el tiempo de diagnóstico de la intervención correctiva (Ver anexo 7), el tiempo de desarme del repuesto de muelle de suspensión (Ver anexo 8), el tiempo de transporte del volquete en préstamo con el repuesto de muelle de suspensión (Ver anexo 9), el tiempo de mantenimiento correctivo (Ver anexo 10) y el tiempo de mantenimiento preventivo (Ver anexo 11). En cada caso nos detalla la expresión a utilizar en el simulador Arena.

Figura 66

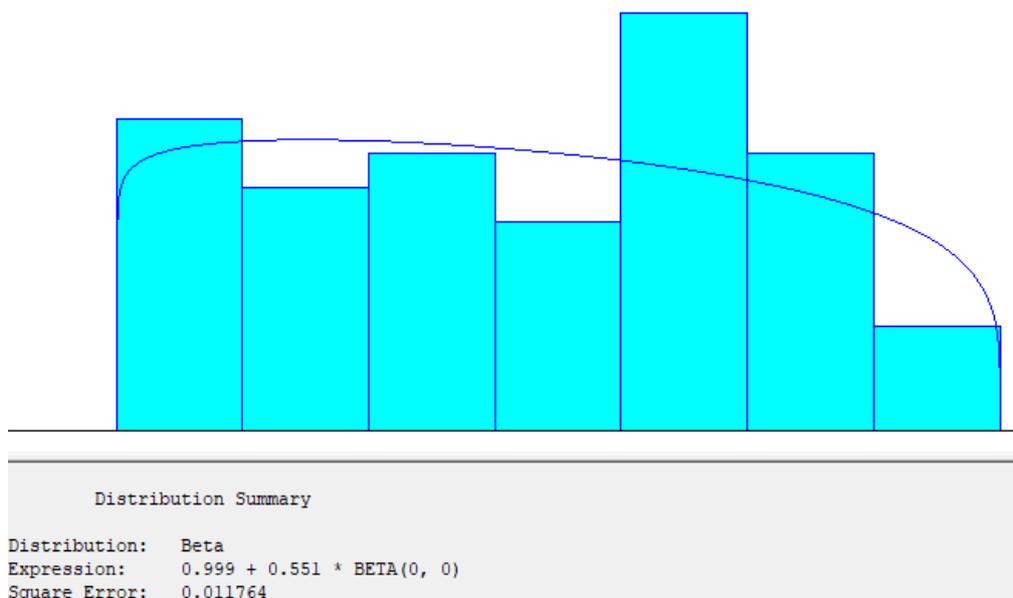
Input Analyzer del tiempo de llegada de volquetes por intervención de mantenimiento



Nota: Elaboración propia. Adaptado del simulador Arena.

Figura 67

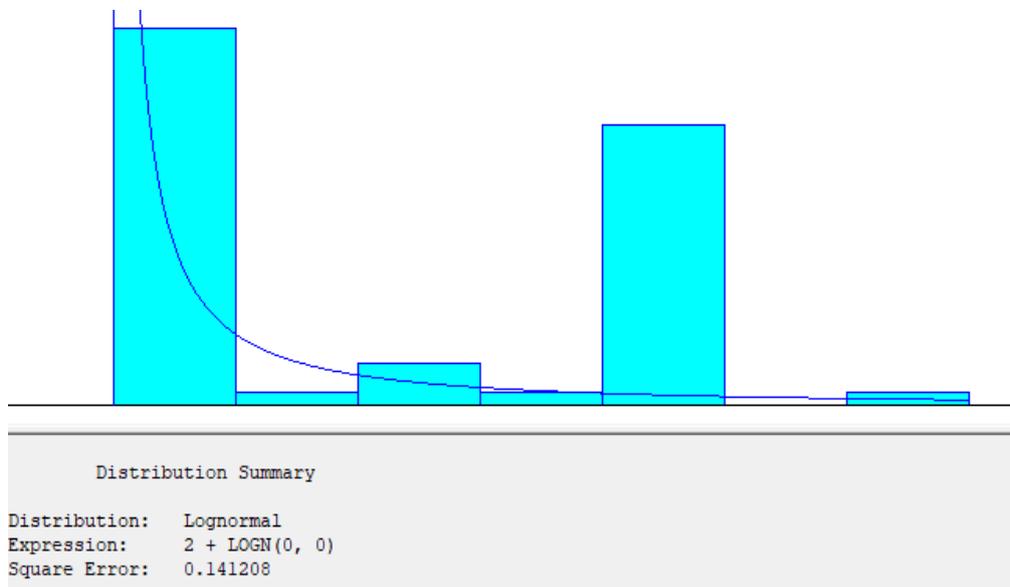
Input Analyzer del tiempo de diagnóstico de falla por intervención correctiva



Nota: Elaboración propia. Adaptado del simulador Arena.

Figura 68

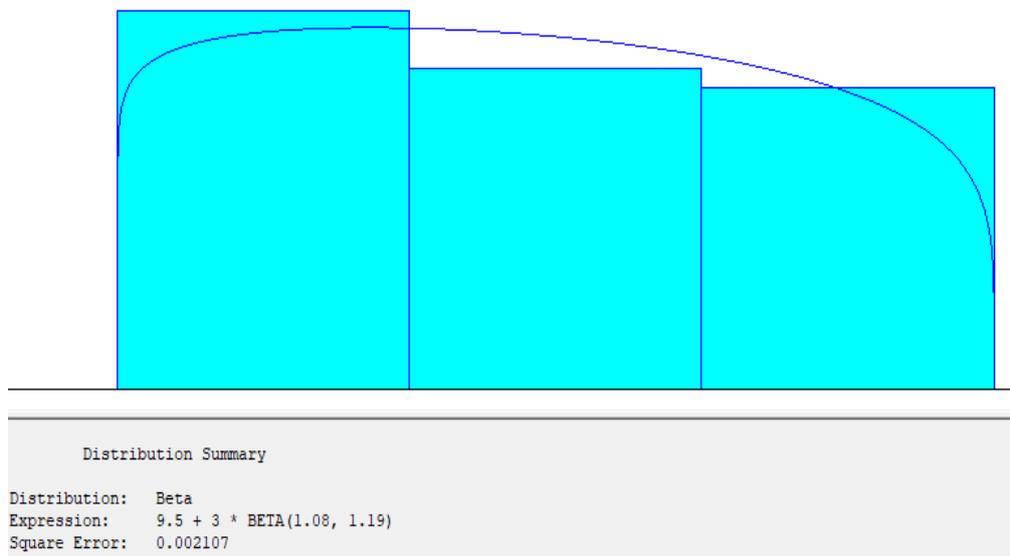
Input Analyzer del tiempo de desarme de repuestos del muelle por falla



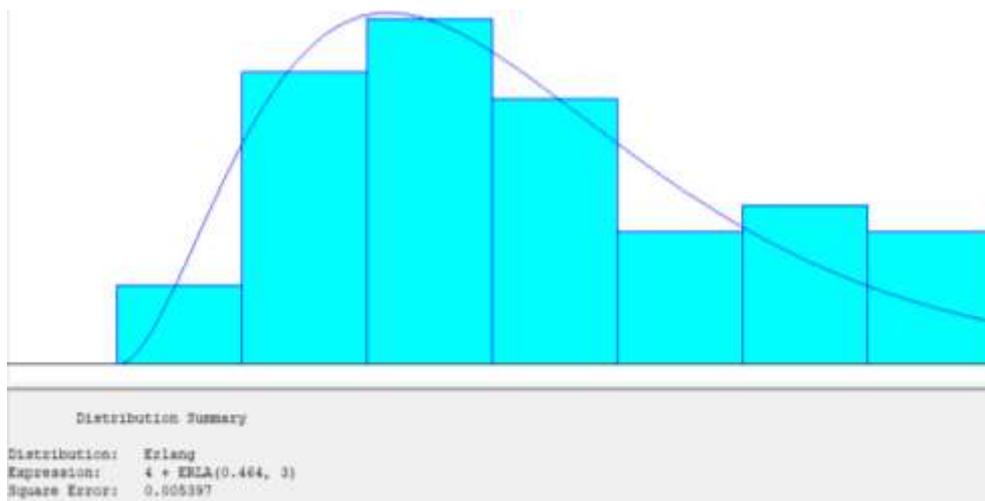
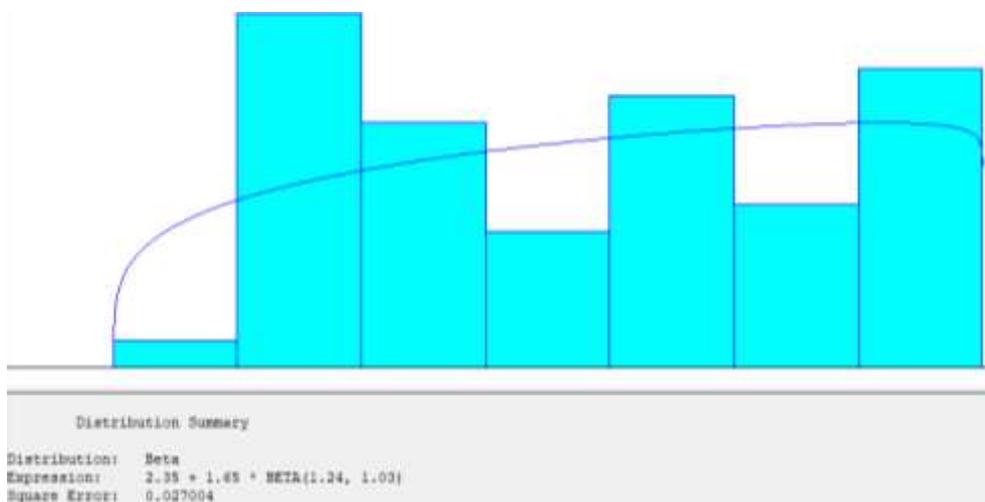
Nota: Elaboración propia. Adaptado del simulador Arena.

Figura 69

Input Analyzer del tiempo de transporte del volquete por préstamo y repuesto desarmado



Nota: Elaboración propia. Adaptado del simulador Arena.

Figura 70*Input Analyzer del tiempo de intervención correctiva**Nota:* Elaboración propia. Adaptado del simulador Arena.**Figura 71***Input Analyzer del tiempo de intervención preventiva**Nota:* Elaboración propia. Adaptado del simulador Arena.

7.3.1. Modelo As Is

Se simula la política de cambio preventivo con intervalo de 2400 horas al muelle del sistema de suspensión posterior antes de implementar el sistema de mantenimiento basado en la confiabilidad (MBR), esta política se ejecuta actualmente en la flota de volquetes que

operan en Cerro Corona. El nivel de confiabilidad operacional que representa (Ver tabla 35) es nulo debido a las fallas aleatorias antes de que se cumpla su tiempo de reemplazo, influyendo en la disponibilidad de los equipos alquilados, impactando en los costos operativos como también en la facturación.

Figura 72

Ingreso del nivel de confiabilidad operacional inicial en la opción decide del simulador

Assignments

Type:	Attribute	Attribute Name:	TIPO DE MANTTO
New Value:	DISC(0 1,1,0)		

Nota: Elaboración propia. Adaptado del simulador Arena.

La simulación informa que, de las 53 intervenciones correctivas en la flota, ninguna pasa a ser tratada como preventiva por su baja confiabilidad (Ver anexo 12 y 13).

Tabla 40

Resultados de simulación del escenario de intervalo preventivo de 2400 horas de operación

Simulación Arena con intervalo de 2400 horas de operación			
Tiempo de intervención por mantenimiento preventivo	tiempo	Horas/ Intervención	0.00
Tiempo de intervención por mantenimiento correctivo	tiempo	Horas/ Intervención	23.34
Eventos totales de mantenimiento preventivo	unidades	Intervención	0.00
Eventos totales de mantenimiento correctivo	unidades	Intervención	53.00
Tiempo total por mantenimiento preventivo	tiempo	Horas	0.00
Tiempo total por mantenimiento correctivo	tiempo	Horas	1237.19

Nota: Elaboración propia.

De acuerdo a los resultados de la simulación; al mantener el plan de cambio preventivo del repuesto crítico muelle en el sistema de suspensión posterior con intervalo de 2400 horas, la inactividad por reparación en el sistema de suspensión equivale a 1237.39 horas, ocasionando que la indisponibilidad por falla representa un 21.95%, mientras que la disponibilidad operativa representa un 78.05% (Ver tabla 36).

Figura 73

Tiempos de mantenimientos de la flota al aplicar política preventiva de 2400 horas

FLOTA DE VOLQUETES MARCA VOLVO MODELO FMX 8X4R UNIDAD MINERA CERRO CORONA	PROGRAMACIÓN DE MANTENIMIENTO EN EL SISTEMA DE SUSPENSIÓN DE LA FLOTA (HRS./FLOTA)	INACTIVIDAD POR REPARACIÓN EN EL SISTEMA DE SUSPENSIÓN DE LA FLOTA (HRS./FLOTA)	INACTIVIDAD POR REPARACIÓN EN OTROS SISTEMAS DE LA FLOTA (HRS./FLOTA)
	0	1237.19	365.00
TIEMPO DE OPERACIÓN TOTAL	7300.00		

Nota: Elaboración propia.

$$\text{Indisponibilidad}_{\text{Falla}} = \frac{\text{Hrs. Totales correctivos}}{\text{Hrs. Totales}} = \frac{(1237.19 + 365) \text{ Hrs.}}{7300 \text{ Hrs.}} = 21.95\%$$

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Hrs. Totales} - \text{Hrs. Mantenimiento}}{\text{Hrs. totales}} = \frac{(7300 - 1237.19 - 365) \text{ Hrs.}}{7300 \text{ Hrs.}} = 78.05\%$$

La política de cambio preventivo con intervalo de 2400 horas del muelle influye en la flota con un costo global de intervenciones correctivas de 120,417.62 soles.

Tabla 41

Costo total de intervenciones de mantenimiento por política preventiva de 2400 horas

Costo total anual de intervenciones correctivas		
Riesgo horario por intervención correctiva (R_{Horario})	1.0761	Soles / Hora
Tiempo medio entre intervenciones (MTBI)	2,111.32	Horas / Intervención
Eventos totales de mantenimiento correctivo (O.T. Correctiva)	53	Intervenciones / Año
Costo total de mantenimiento correctivo	120,417.62	Soles / Año
Costo total anual de intervenciones preventivas		
Riesgo horario por intervención preventiva (C_{Horario})	0	Soles / Hora
Tiempo medio entre intervenciones (MTBI)	2111.32	Horas / Intervención
Eventos totales de mantenimiento preventivo (O.T. Preventivo)	0	Intervenciones
Costo total de mantenimiento preventivo	0	Soles / Año
Costo total de mantenimiento	120,417.62	Soles / Año

Nota: Elaboración propia.

La simulación permite el cálculo de la pérdida por alquiler de los volquetes por el incumplimiento del contrato de disponibilidad, como también de la pérdida de oportunidad de alquiler al prestar por emergencia un equipo para reemplazar al equipo en falla, ya que se debe reponer el tiempo perdido.

Tabla 42*Pérdidas por alquiler durante la política preventiva de 2400 horas*

Pérdida por alquiler		
Precio horario por alquiler ($T_{Alquiler}$)	70	Soles / Hora
Tiempo operativo proyectado (T.O.)	7300	Horas / Año
Indisponibilidad por falla	21.95	%
Pérdida total por alquiler	112,153.64	Soles / Año
Pérdida por oportunidad de alquiler del volquete en préstamo		
Precio de alquiler ($T_{Alquiler}$)	70	Soles / Hora
Tiempo operativo proyectado (T.O.)	7300	Horas/Año
Indisponibilidad por falla	21.95	%
Pérdida total por oportunidad de alquiler	112,153.64	Soles / Año

Nota: Elaboración propia.

La simulación también permite el cálculo de las pérdidas por préstamo de emergencia de un volquete para cubrir al equipo indisponible por falla mientras se repara el equipo, ya sea por consumo de combustible, como también el traslado (Ver anexo 16).

Tabla 43*Pérdidas por préstamo de volquete durante la política preventiva de 2400 horas*

Pérdida por consumo de petróleo por emergencia		
Consumo promedio de petróleo ($D_{Petróleo}$)	11	Galones / Hora
Costo promedio de petróleo ($C_{Petróleo}$)	18	Soles / Galón
Tiempo operativo proyectado (T.O.)	7300	Horas/Año
Indisponibilidad por falla	21.95	%
Pérdida total por consumo	317,234.59	Soles / Año
Pérdida por traslado de volquete de emergencia		
Número de intervenciones correctivas (O.T. $_{Correctiva}$)	53	Intervenciones / Año
Costo promedio por traslado de volquete ($C_{Traslado}$)	3,206.87	Soles / Intervención
Pérdida total por traslado de volquete	169,964.00	Soles / Año

Nota: Elaboración propia.**7.3.2. Modelo To Be**

Con la intención de mejorar el servicio de entrega de volquetes alquilados, tomando en cuenta la disponibilidad, se utilizó el sistema de gestión de mantenimiento basado en la confiabilidad, específicamente la metodología de Mantenimiento basado en el riesgo (MBR).

Se simula la política de cambio preventivo con intervalo de 2000 horas al muelle del sistema de suspensión posterior, poniéndose a prueba el nivel de confiabilidad operacional de 92.53% que representa (Ver tabla 35) ante la disponibilidad de los equipos alquilados y su impacto sobre los costos operativos como también en la facturación.

Figura 74

Ingreso del nivel de confiabilidad operacional óptima en la opción decide del simulador

The image shows a screenshot of a software interface titled "Assignments". It contains a "Type:" dropdown menu with "Attribute" selected. To its right is an "Attribute Name:" dropdown menu with "TIPO DE MANTTO" selected. Below these is a "New Value:" text input field containing the formula "DISC(0.9253,1,1,0)".

Nota: Elaboración propia. Adaptado del simulador Arena.

La simulación informa que, de las 53 intervenciones correctivas en la flota; 49 intervenciones pasan a ser tratadas como preventivas debido a que sigue una política con alta confiabilidad, mientras que 4 intervenciones pasan a ser correctivas (Ver anexo 14 y 15).

Tabla 44

Resultados de simulación del escenario de intervalo preventivo de 2000 horas de operación

Simulación Arena con intervalo de 2000 horas de operación			
Tiempo de intervención por mantenimiento preventivo	tiempo	Horas/ Intervención	3.26
Tiempo de intervención por mantenimiento correctivo	tiempo	Horas/ Intervención	23.27
Eventos totales de mantenimiento preventivo	unidades	Intervención	49.00
Eventos totales de mantenimiento correctivo	unidades	Intervención	4.00
Tiempo total por mantenimiento preventivo	tiempo	Horas	159.86
Tiempo total por mantenimiento correctivo	tiempo	Horas	93.07

Nota: Elaboración propia.

De acuerdo a los resultados de la simulación; al mantener el plan de cambio preventivo del muelle en el sistema de suspensión posterior con intervalo de 2000 horas, la inactividad por reparación en el sistema de suspensión se reduce a 93.07 horas, ocasionando

que la indisponibilidad por falla representa un 6.27%, mientras que la disponibilidad operativa representa un 91.54% (Ver tabla 36).

Figura 75

Tiempos de inactividad de la flota al aplicar política preventiva de 2000 horas

FLOTA DE VOLQUETES MARCA VOLVO MODELO FMX 8X4R UNIDAD MINERA CERRO CORONA	PROGRAMACIÓN DE MANTENIMIENTO EN EL SISTEMA DE SUSPENSIÓN DE LA FLOTA (HRS./FLOTA)	INACTIVIDAD POR REPARACIÓN EN EL SISTEMA DE SUSPENSIÓN DE LA FLOTA (HRS./FLOTA)	INACTIVIDAD POR REPARACIÓN EN OTROS SISTEMAS DE LA FLOTA (HRS./FLOTA)
		159.86	93.07
TIEMPO DE OPERACIÓN TOTAL	7300.00		

Nota: Elaboración propia.

$$\text{Indisponibilidad}_{\text{Falla}} = \frac{\text{Hrs. Totales correctivos}}{\text{Hrs. Totales}} = \frac{(93.07 + 365) \text{ Hrs.}}{7300 \text{ Hrs.}} = 6.27\%$$

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Hrs. Totales} - \text{Hrs. Mantener}}{\text{Hrs. Totales}} = \frac{(7300 - 159.86 - 1237.19 - 365) \text{ Hrs.}}{7300 \text{ Hrs.}} = 91.54\%$$

La política de cambio preventivo con intervalo de 2000 horas del muelle influye en la flota con un costo global de intervenciones correctivas de 678.88 soles anual, mientras que en intervenciones preventivas equivale a 74,529.83 soles al año; cuyo monto total de mantenimientos es de 75,208.71 soles anual.

Tabla 45

Costo total de intervenciones de mantenimiento por política preventiva de 2000 horas

Costo total anual de intervenciones correctivas		
Riesgo horario por intervención correctiva (R_{Horario})	0.0850	Soles / Hora
Tiempo medio entre intervenciones (MTBI)	1995.99	Horas / Intervención
Eventos totales de mantenimiento correctivo (O.T. Correctiva)	4	Intervenciones / Año
Costo total de mantenimiento correctivo	678.88	Soles / Año
Costo total anual de intervenciones preventivas		
Riesgo horario por intervención preventiva (C_{Horario})	0.762	Soles / Hora
Tiempo medio entre intervenciones (MTBI)	1,995.99	Horas / Intervención
Eventos totales de mantenimiento preventivo (O.T. Preventivo)	49	Intervenciones
Costo total de mantenimiento preventivo	74,529.83	Soles / Año
Costo total de mantenimiento	75,208.71	Soles / Año

Nota: Elaboración propia.

Al simular con el nuevo intervalo de reemplazo de repuesto permite el nuevo cálculo de la pérdida por alquiler de los volquetes por el incumplimiento del contrato de disponibilidad, como también de la oportunidad de alquiler al prestar por emergencia un equipo para reemplazar al equipo en falla.

Tabla 46

Pérdidas por alquiler durante la política preventiva de 2000 horas

Pérdida por alquiler		
Precio horario por alquiler (T_{Alquiler})	70	Soles / Hora
Tiempo operativo proyectado (T.O.)	7300	Horas / Año
Indisponibilidad por falla	6.27	%
Pérdida total por alquiler	32,064.82	Soles / Año
Pérdida por oportunidad de alquiler del volquete en préstamo		
Precio de alquiler (T_{Alquiler})	70	Soles / Hora
Tiempo operativo proyectado (T.O.)	7300	Horas/Año
Indisponibilidad por falla	6.27	%
Pérdida total por oportunidad de alquiler	32,064.82	Soles / Año

Nota: Elaboración propia.

Respecto a las pérdidas por préstamo de emergencia de un volquete para cubrir al equipo indisponible por falla, se recalcula en función al número de intervenciones correctivas según la nueva simulación.

Tabla 47

Pérdidas por préstamo de volquete durante la política preventiva de 2000 horas

Pérdida por consumo de petróleo por emergencia		
Consumo promedio de petróleo ($D_{\text{Petróleo}}$)	11	Galones / Hora
Costo promedio de petróleo ($C_{\text{Petróleo}}$)	18	Soles / Galón
Tiempo operativo proyectado (T.O.)	7300	Horas/Año
Indisponibilidad por falla	6.27	%
Pérdida total por consumo	90,697.62	Soles / Año
Pérdida por traslado de volquete de emergencia		
Número de intervenciones correctivas ($O.T._{\text{Correctiva}}$)	4	Intervenciones / Año
Costo promedio por traslado de volquete (C_{Traslado})	3,206.87	Soles / Intervención
Pérdida total por traslado de volquete	12,827.47	Soles / Año
Pérdida total	103,525.09	Soles / Año

Nota: Elaboración propia.

Luego de aplicar los modelos As Is y To Be al variar el intervalo de intervenciones preventivas de 2400 a 2000 horas nos da un beneficio anual de 589,060.06 soles

Tabla 48

Ingreso al implementar el modelo gestión de confiabilidad operacional basado en el riesgo

Política de mantenimiento preventivo de cada 2400 Horas	
Pérdida por alquiler	S/ 112,153.64
Costo por política mantenimiento	S/ 120,417.62
Pérdida por oportunidad de alquiler del volquete en préstamo	S/ 112,153.64
Pérdida por consumo de petróleo por volquete en préstamo	S/ 317,234.59
Pérdida por traslado por volquete en préstamo	S/ 169,964.00
Total	S/ 831,923.50
Política de mantenimiento preventivo de cada 2000 Horas	
Pérdida por alquiler	S/ 32,064.82
Costo por política mantenimiento	S/ 75,208.71
Pérdida por oportunidad de alquiler del volquete en préstamo	S/ 32,064.82
Pérdida por consumo de petróleo por volquete en préstamo	S/ 90,697.62
Pérdida por traslado por volquete en préstamo	S/ 12,827.47
Total	S/ 242,863.44
Ingreso anual	S/589,060.06

Nota: Elaboración propia.

7.4. Validación económica-financiera

La evaluación de la rentabilidad y viabilidad económica de la implementación del modelo gestión de confiabilidad operacional basado en el riesgo se determina mediante los indicadores económicos, teniendo como base los flujos económico y financiero. Los indicadores a calcular para determinar la rentabilidad es la tasa interna de retorno (TIR), el valor actual neto (VAN) y el beneficio costo (B/C).

7.4.1. Ingresos

Se considera como ingreso al beneficio anual generado por la implementación del sistema de gestión basado en la confiabilidad, el cual equivale a un monto de 589,060.06 soles al año (Ver tabla 47).

7.4.2. Inversión

Para implementar el mantenimiento basado en el riesgo (MBR) se requiere de la inversión de una serie de recursos, ya sea activos fijos, activos intangibles y gastos operativos para poner en operación la nueva área de confiabilidad. Respecto a los integrantes, están conformado por 4 especialistas; el cual se instalarán en la sede central, pero esporádicamente realizarán viajes de campo para la actualización de información y supervisión de las actividades preventivas.

Tabla 49

Personal del área de confiabilidad de equipos

Integrantes	Salario neto	Asignación familiar	Bonificación	Área de confiabilidad de equipos							Total mes
				Ferriados	Gratificaciones	Vacaciones	C.T.S.	EsSalud	SCTR Salud	SCTR Pensión	
Jefe de confiabilidad	S/. 5,000.00	S/. 95.00	S/. 1,250.00	S/. 180.56	S/. 833.33	S/. 424.58	S/. 509.07	S/. 588.01	S/. 71.87	S/. 359.34	S/. 8,061.77
Supervisor de confiabilidad	S/. 3,000.00	S/. 95.00	S/. 750.00	S/. 108.33	S/. 500.00	S/. 257.92	S/. 308.61	S/. 356.51	S/. 43.57	S/. 217.87	S/. 4,887.82
Técnico 1 de confiabilidad	S/. 2,500.00	S/. 95.00	S/. 625.00	S/. 90.28	S/. 416.50	S/. 216.16	S/. 301.49	S/. 298.61	S/. 36.50	S/. 37.49	S/. 4,617.04
Técnico 2 de confiabilidad	S/. 2,500.00	S/. 95.00	S/. 625.00	S/. 90.28	S/. 416.50	S/. 216.16	S/. 301.49	S/. 298.61	S/. 36.50	S/. 37.49	S/. 4,617.04
Total mensual											S/. 22,183.66
Total anual											S/. 266,203.94

Nota: Elaboración propia.

Respecto a los activos fijos que se requiere, la mayoría son artículos de oficina básicos para los integrantes del área de confiabilidad de equipos, con el fin de almacenar, analizar su base de datos y reflejar en informes para reflejar los resultados. En cuanto a herramientas se considera como activo al torquímetro, ya que es fundamental para los ajustes indicados en el nuevo plan de mantenimiento preventivo sobre el muelle del sistema de suspensión posterior y delantero.

Tabla 50*Inversión en activos fijos*

Activos fijos										
Descripción	Cantidad	Costo Unitario	Valor Total	Total	Vida útil	Depreciación	V.Libros (4° año)	V. Mercado (%)	V. Mercado (Soles)	Valor de Desecho
	ad			precio	(Años)	(4° año)				
Laptop Lenovo	4	S/. 1,100.00	S/. 4,400.00	S/. 5,192.00	5	S/3,520.00	S/880.00	32%	S/1,408.00	S/1,249.60
Impresora HP	1	S/. 1,500.00	S/. 1,500.00	S/. 1,770.00	5	S/1,200.00	S/300.00	15%	S/225.00	S/247.50
Módulo de oficina	1	S/. 20,400.00	S/. 20,400.00	S/. 24,072.00	10	S/8,160.00	S/12,240.00	28%	S/5,712.00	S/7,670.40
Torquímetro	3	S/. 1,800.00	S/. 5,400.00	S/. 6,372.00	4	S/5,400.00	S/ -	20%	S/1,080.00	S/756.00
Total				S/. 37,406.00			S/. 13,420.00			S/9,923.50

Nota: Elaboración propia.

Respecto a los activos intangibles, resalta los softwares básicos, usuarios del ERP SAP y usuarios de aplicativos internos a instalar en las laptops que utilizarán los integrantes del área de confiabilidad.

Tabla 51*Inversión de activos intangibles*

Activos intangibles			
Licencias de software	Valor	Importe Total	
Usuario aplicativo flujo de extracciones de repuestos	S/. 1,000.00	S/.	1,180.00
Windows Server 2019	S/. 925.00	S/.	1,091.50
Antivirus Norton	S/. 620.00	S/.	731.60
Usuario SAP B1	S/. 3,000.00	S/.	3,540.00
Total		S/.	6,543.10

Nota: Elaboración propia.

Respecto a los gastos operativos, se toma en cuenta activos no depreciables y las capacitaciones al personal de confiabilidad, enfocadas directamente al uso de estrategias de mantenimientos en flotas de equipos para garantizar la confiabilidad operativa.

Tabla 52*Inversión por gastos operativos*

Gastos operativos						
Concepto	Cant.	Costo Unitario	Valor Total	I.G.V.	Importe Total	
Escritorio	4	S/. 300.00	S/. 1,200.00	S/. 216.00	S/.	1,416.00
Silla giratoria	4	S/. 172.00	S/. 688.00	S/. 123.84	S/.	811.84
Estantes	2	S/. 230.00	S/. 460.00	S/. 82.80	S/.	542.80
Elevador hidráulico de botella	2	S/. 110.00	S/. 220.00	S/. 39.60	S/.	259.60
Calibrador de láminas	2	S/. 29.66	S/. 59.32	S/. 10.68	S/.	70.00
Calibrador de pie de rey	2	S/. 121.54	S/. 243.08	S/. 43.75	S/.	286.83
Llave francesa	2	S/. 97.50	S/. 195.00	S/. 35.10	S/.	230.10
Imán extensible	2	S/. 35.00	S/. 70.00	S/. 12.60	S/.	82.60
Amperímetro	2	S/. 772.92	S/. 1,545.84	S/. 278.25	S/.	1,824.09

Multitester	2	S/.	228.00	S/.	456.00	S/.	82.08	S/.	538.08
Martillo de bola	2	S/.	53.00	S/.	106.00	S/.	19.08	S/.	125.08
Martillo de goma	2	S/.	34.00	S/.	68.00	S/.	12.24	S/.	80.24
Alquiler camioneta	1	S/.	15,981.66	S/.	15,981.66	S/.	2,876.70	S/.	18,858.36
Juego de alicates	2	S/.	109.00	S/.	218.00	S/.	39.24	S/.	257.24
Alicate de presión	2	S/.	38.14	S/.	76.28	S/.	13.73	S/.	90.01
Juego de llaves hexagonales	2	S/.	35.00	S/.	70.00	S/.	12.60	S/.	82.60
Linterna	2	S/.	252.00	S/.	504.00	S/.	90.72	S/.	594.72
Extensión eléctrica	2	S/.	65.00	S/.	130.00	S/.	23.40	S/.	153.40
Cuchilla	2	S/.	35.00	S/.	70.00	S/.	12.60	S/.	82.60
Compresora de aire	2	S/.	792.00	S/.	1,584.00	S/.	285.12	S/.	1,869.12
Caja de herramientas	2	S/.	88.14	S/.	176.28	S/.	31.73	S/.	208.01
Juego de destornilladores	2	S/.	42.37	S/.	84.74	S/.	15.25	S/.	99.99
Juego de llaves mixtas	2	S/.	200.00	S/.	400.00	S/.	72.00	S/.	472.00
Juego de dados	2	S/.	337.50	S/.	675.00	S/.	121.50	S/.	796.50
Engrasadora	2	S/.	104.00	S/.	208.00	S/.	37.44	S/.	245.44
Zapato industrial	4	S/.	82.00	S/.	328.00	S/.	59.04	S/.	387.04
Casco industrial	4	S/.	31.00	S/.	124.00	S/.	22.32	S/.	146.32
Lentes de seguridad	4	S/.	5.50	S/.	22.00	S/.	3.96	S/.	25.96
Orejas	4	S/.	36.00	S/.	144.00	S/.	25.92	S/.	169.92
Mascarilla descartable	4	S/.	11.40	S/.	45.60	S/.	8.21	S/.	53.81
Respirador de media cara	4	S/.	45.00	S/.	180.00	S/.	32.40	S/.	212.40
Uniforme completo	4	S/.	70.00	S/.	280.00	S/.	50.40	S/.	330.40
Total de activo no depreciable				S/.	26,612.80	S/.	4,790.30	S/.	31,403.10
Tinta para impresora	30	S/.	12.00	S/.	360.00	S/.	64.80	S/.	424.80
Paquete hojas bond	7	S/.	8.47	S/.	59.32	S/.	10.68	S/.	70.00
Pizarra acrílica	2	S/.	80.00	S/.	160.00	S/.	28.80	S/.	188.80
Mota para pizarra	6	S/.	1.35	S/.	8.10	S/.	1.46	S/.	9.56
Plumón para pizarra	15	S/.	2.76	S/.	41.40	S/.	7.45	S/.	48.85
Lapiceros	15	S/.	1.27	S/.	19.07	S/.	3.43	S/.	22.50
Lápices	15	S/.	0.68	S/.	10.17	S/.	1.83	S/.	12.00
Folder manila	20	S/.	0.42	S/.	8.47	S/.	1.53	S/.	10.00

Achivador	10	S/.	2.86	S/.	28.60	S/.	5.15	S/.	33.75
Desinfectante en gel	10	S/.	20.00	S/.	200.00	S/.	36.00	S/.	236.00
Cesto	2	S/.	49.00	S/.	98.00	S/.	17.64	S/.	115.64
Cuadernos	10	S/.	4.20	S/.	42.00	S/.	7.56	S/.	49.56
Total utensilios y útiles de escritorio				S/.	1,035.13	S/.	186.32	S/.	1,221.46
Total capacitación ingeniería de confiabilidad	4	S/.	2,000.00	S/.	8,000.00	S/.	1,440.00	S/.	9,440.00
Total de planilla	1	S/.	266,203.94	S/.	266,203.94	-		S/.	266,203.94
Total de gastos operativos								S/.	308,268.50

Nota: Elaboración propia.

De acuerdo a lo detallado, la inversión necesaria para la implementación de la gestión de mantenimiento asado en el riesgo equivale a un monto de 352,217.60 soles.

Los accionistas de la empresa están dispuestos a aportar el 50% de la inversión total, lo que equivale a 166,679.62 soles, mientras que lo restante es por préstamo bancario.

Tabla 53

Financiamiento de la metodología

Tipo	Monto	%
Deuda	S/ 176,108.80	50%
Capital Propio	S/ 176,108.80	50%
Total	S/ 352,217.60	100%

Nota: Elaboración propia.

El financiamiento bancario se pagará en veinticuatro cuotas mensuales fijas a una tasa efectiva mensual de 1.81 %. la cuota de pago mensual asciende a S/. 9,111 soles.

Tabla 54*Condiciones de financiamiento*

Préstamo Activos fijos	176,108.80 soles
TCEA	24.00%
TCEM	1.81%
Plazo en años	2
Plazo en meses	24
Cuota Mensual	9,111 soles

Nota: Elaboración propia.

Tabla 55*Cronograma de pagos*

Cronograma de Pagos						
Mes	Saldo Inicial (S/)	Interés (S/)	Capital	Cuota	Escudo Fiscal	Saldo Final
1	176,109	3,185	5,925	9,111	940	170,184
2	170,184	3,078	6,032	9,111	908	164,151
3	164,151	2,969	6,141	9,111	876	158,010
4	158,010	2,858	6,253	9,111	843	151,757
5	151,757	2,745	6,366	9,111	810	145,392
6	145,392	2,630	6,481	9,111	776	138,911
7	138,911	2,513	6,598	9,111	741	132,313
8	132,313	2,393	6,717	9,111	706	125,595
9	125,595	2,272	6,839	9,111	670	118,757
10	118,757	2,148	6,963	9,111	634	111,794
11	111,794	2,022	7,088	9,111	597	104,706
12	104,706	1,894	7,217	9,111	559	97,489
13	97,489	1,763	7,347	9,111	520	90,142
14	90,142	1,630	7,480	9,111	481	82,661
15	82,661	1,495	7,615	9,111	441	75,046
16	75,046	1,357	7,753	9,111	400	67,293
17	67,293	1,217	7,893	9,111	359	59,399
18	59,399	1,074	8,036	9,111	317	51,363
19	51,363	929	8,182	9,111	274	43,182
20	43,182	781	8,330	9,111	230	34,852
21	34,852	630	8,480	9,111	186	26,372
22	26,372	477	8,634	9,111	141	17,739
23	17,739	321	8,790	9,111	95	8,949
24	8,949	162	8,949	9,111	48	0

Nota: Elaboración propia.

7.4.3. Egresos

Los egresos en los próximos 4 años de operación, ya que se ha extendido el servicio de alquiler, los costos operativos se distribuyen de la siguiente manera:

Tabla 56*Costos operativos*

Año	2022	2023	2024	2025
Costos Operativos	-S/ 298,624.38	-S/ 300,921.82	-S/ 301,550.78	-S/ 301,651.89
Costos indirectos	-S/ 20,433.14	-S/ 23,726.02	-S/ 23,359.54	-S/ 24,456.09
Escritorio				-S/ 1,416.00
Silla giratoria			-S/ 811.84	
Estantes Promart				-S/ 542.80
Elevador hidráulico de botella		-S/ 259.60		
Calibrador de láminas		-S/ 70.00		
Calibrador de pie de rey		-S/ 286.83		
Llave francesa		-S/ 230.10		
Imán extensible		-S/ 82.60		
Amperímetro				-S/ 1,824.09
Multitester				-S/ 538.08
Martillo de bola		-S/ 125.08		
Martillo de goma		-S/ 80.24		
Alquiler camioneta	-S/ 18,858.36	-S/ 18,858.36	-S/ 18,858.36	-S/ 18,858.36
Juego de alicates		-S/ 257.24		
Alicate de presión	-S/ 90.01		-S/ 90.01	
Juego de llaves hexagonales		-S/ 82.60		
Linterna		-S/ 594.72		
Extensión eléctrica		-S/ 153.40		
Cuchilla	-S/ 82.60	-S/ 82.60	-S/ 82.60	-S/ 82.60
Compresora de aire			-S/ 1,869.12	
Caja de herramientas	-S/ 208.01		-S/ 208.01	
Juego de destornilladores		-S/ 99.99		
Juego de llaves mixtas		-S/ 472.00		
Mantenimiento de activos fijos	-S/ 1,194.16	-S/ 1,194.16	-S/ 1,194.16	-S/ 1,194.16
Juego de dados		-S/ 796.50		
Engrasadora			-S/ 245.44	
Gastos administrativos	-S/ 278,191.25	-S/ 277,195.80	-S/ 278,191.25	-S/ 277,195.80
Planilla Total	-S/ 266,203.94	-S/ 266,203.94	-S/ 266,203.94	-S/ 266,203.94
Tinta para impresora	-S/ 424.80	-S/ 424.80	-S/ 424.80	-S/ 424.80
Paquete hojas bond	-S/ 70.00	-S/ 70.00	-S/ 70.00	-S/ 70.00
Pizarra acrílica	-S/ 188.80	-S/ 188.80	-S/ 188.80	-S/ 188.80
Mota para pizarra	-S/ 9.56	-S/ 9.56	-S/ 9.56	-S/ 9.56
Plumón para pizarra	-S/ 48.85	-S/ 48.85	-S/ 48.85	-S/ 48.85
Lapiceros FC	-S/ 22.50	-S/ 22.50	-S/ 22.50	-S/ 22.50
Lápices FC	-S/ 12.00	-S/ 12.00	-S/ 12.00	-S/ 12.00
Folder manila	-S/ 10.00	-S/ 10.00	-S/ 10.00	-S/ 10.00
Achivador de plástico	-S/ 33.75	-S/ 33.75	-S/ 33.75	-S/ 33.75
Desinfectante en gel	-S/ 236.00	-S/ 236.00	-S/ 236.00	-S/ 236.00
Cesto de metal	-S/ 115.64	-S/ 115.64	-S/ 115.64	-S/ 115.64
Cuadernos	-S/ 49.56	-S/ 49.56	-S/ 49.56	-S/ 49.56
Zapato industrial	-S/ 387.04		-S/ 387.04	
Casco industrial	-S/ 146.32		-S/ 146.32	

Lentes de seguridad	-S/	25.96		-S/	25.96			
Orejas	-S/	169.92		-S/	169.92			
Mascarilla descartable	-S/	53.81		-S/	53.81			
Respirador de media cara	-S/	212.40		-S/	212.40			
Uniforme completo	-S/	330.40	-S/	330.40	-S/	330.40	-S/	330.40
Capacitación en mantenimiento e ingeniería confiabilidad	-S/	9,440.00	-S/	9,440.00	-S/	9,440.00	-S/	9,440.00

Nota: Elaboración propia.

7.4.4. Flujo de caja

Definido los ingresos, la inversión y los egresos en el transcurso de los años proyectados, se genera el flujo de caja económico respectivo para poder evaluar los indicadores de rentabilidad.

Tabla 57

Flujo de caja económico

Año	2021	2022	2023	2024	2025
Ingreso - Beneficio	S/ -	S/ 589,060.06	S/ 589,060.06	S/ 589,060.06	S/ 589,060.06
Costos Operativos	S/ -	-S/ 298,624.38	-S/ 300,921.82	-S/ 301,550.78	-S/ 301,651.89
Costos indirectos	S/ -	-S/ 20,433.14	-S/ 23,726.02	-S/ 23,359.54	-S/ 24,456.09
Gastos administrativos	S/ -	-S/ 278,191.25	-S/ 277,195.80	-S/ 278,191.25	-S/ 277,195.80
Depreciación de activos fijos	S/ -	-S/ 7,925.00	-S/ 7,925.00	-S/ 7,925.00	-S/ 7,925.00
Amortización de activos intangibles	S/ -	-S/ 1,386.25	-S/ 1,386.25	-S/ 1,386.25	-S/ 1,386.25
Valor Libro	S/ -	S/ -	S/ -	S/ -	-S/ 13,420.00
Utilidad antes de impuestos	S/ -	S/ 281,124.42	S/ 278,826.98	S/ 278,198.02	S/ 264,676.92
Impuestos	S/ -	-S/ 84,337.33	-S/ 83,648.10	-S/ 83,459.41	-S/ 79,403.08
Utilidad después de impuestos	S/ -	S/ 196,787.09	S/ 195,178.89	S/ 194,738.61	S/ 185,273.84
Más depreciación	S/ -	S/ 7,925.00	S/ 7,925.00	S/ 7,925.00	S/ 7,925.00
Más amortización intangibles	S/ -	S/ 1,386.25	S/ 1,386.25	S/ 1,386.25	S/ 1,386.25
Más Valor libro	S/ -	S/ -	S/ -	S/ -	S/ 13,420.00
Inversión	-S/ 352,217.60	S/ -	S/ -	S/ -	S/ -
Activo fijo	-S/ 37,406.00	S/ -	S/ -	S/ -	S/ -
Intangibles	-S/ 6,543.10	S/ -	S/ -	S/ -	S/ -
Gastos operativos	-S/ 308,268.50	S/ -	S/ -	S/ -	S/ -
Valor de desecho		S/ -	S/ -	S/ -	S/ 9,923.50
Flujo económico	-S/ 352,217.60	S/ 206,098.34	S/ 204,490.14	S/ 204,049.86	S/ 217,928.59

Nota: Elaboración propia.

Conocido el flujo de financiamiento, en base al cronograma de pagos, permite estructurar el flujo de caja financiero.

Tabla 58

Flujo de caja económico y financiero

Año	2021	2022	2023	2024	2025
Flujo de caja económico	-S/ 352,217.60	S/ 206,098.34	S/ 204,490.14	S/ 204,049.86	S/ 217,928.59
Flujo de financiamiento neto	S/ 176,108.80	-S/ 100,268.31	-S/ 105,834.58	S/ -	S/ -
Flujo de caja financiero	-S/ 176,108.80	S/ 105,830.03	S/ 98,655.56	S/ 204,049.86	S/ 217,928.59

Nota: Elaboración propia.

7.4.5. Costo de oportunidad de capital

Respecto a la tasa de descuento, se calcula el COK mediante el modelo CAPM. Se utilizarán las fórmulas de cálculo para el Beta apalancado.

$$\text{COK} = r_f + \beta_{\text{Apalancado}} (r_m - r_f) + r_p$$

Donde:

r_f = Tasa libre de riesgo

$\beta_{\text{Apalancado}}$ = Beta apalancado

r_m = Rendimiento de mercado

r_p = Prima de riesgo país

Respecto al beta apalancada, se considera la siguiente ecuación:

$$\beta_{\text{Apalancado}} = \beta_{\text{Desapalancado}} \left(\left(1 + \frac{D}{E} \right) (1 - I) \right)$$

Donde:

$\beta_{\text{Desapalancado}}$ = Beta desapalancado

I = Tasa de impuesto a la renta

D = Financiamiento

E = Capital propio

Tabla 59

Modelo CAPM

Concepto	Base	Sigla	Dato
Rendimiento del Mercado	Rendimiento USA (S&P 500) - Damodaran	r_m	11.36%
Tasa Libre de Riesgo	Tasa USA (T-Bonds) - Damodaran	r_f	5.10%
Beta desapalancada	Healthcare Products - Damodaran	$\beta_{\text{Desapalancado}}$	1.06
% Capital Propio	Estructura de financiamiento del proyecto	E	50.00%
% Financiamiento	Estructura de financiamiento del proyecto	D	50.00%
Tasa Impuesto a la Renta	Leagislación Vigente	I	30.00%
Riesgo País		r_p	1.42%
Beta Apalancado		$\beta_{\text{Apalancado}}$	2.79
Costo Capital Propio		COK	17.80%

Nota: Elaboración propia.

El COK equivale a 17.80%. Se utilizará para descontar el Flujo de caja financiero.

7.4.6. Costo promedio ponderado de capital

El costo medio ponderado del capital (WACC), representa la tasa de rendimiento mínimo que el inversionista espera obtener considerando el aporte propio y de las fuentes de financiamiento.

$$\text{WACC} = \% \text{ Capital financiado} \times \text{TCEA} \times (1 - I) \times \% \text{ Aporte propio} \times \text{COK}$$

Donde:

TCEA = Tasa de interés de la deuda

I = Tasa de impuesto a la renta

COK = Costo de oportunidad de capital

$$\text{WACC} = 50\% \times 24\% \times (1 - 30\%) \times 50\% \times 17.80\%$$

$$\text{WACC} = 17.30\%$$

El WACC equivale a 17.30%. Se utilizará para descontar el Flujo de caja económico.

7.4.7. Indicadores de rentabilidad

Para los indicadores de rentabilidad, se examina el escenario pesimista, normal y optimista, al implementar la metodología de mantenimiento basado en riesgo. Están en función al nivel de confiabilidad operacional que estará sujeto la flota de volquetes, ya que su variación influirá el beneficio o ahorro de la empresa.

Tomando como referencia la tabulación de la confiabilidad operacional del muelle del sistema de suspensión posterior (Ver tabla 24), se considera para un escenario pesimista un nivel de 79.35%, en el escenario optimista 97.94% y el escenario normal es el nivel óptimo seleccionado en 92.53 %.

Tabla 60

Escenario pesimista, normal y optimista

Escenario	Pesimista	Normal	Optimista
Confiabilidad operativa	79.35%	92.53%	97.94%
Intervalo de intervención preventiva	2060 Horas	2000 Horas	1930 Horas
Costo por política mantenimiento	S/ 59,108.83	S/75,208.71	S/ 83,763.11
Pérdida por alquiler	S/ 43,576.74	S/ 32,064.82	S/27,060.66
Pérdida por consumo	S/ 123,259.91	S/ 90,697.62	S/76,543.02
Pérdida por traslado	S/ 38,482.42	S/ 12,827.47	S/ 3,206.87
Total	S/308,004.63	S/242,863.44	S/217,634.32
Beneficio / Ahorro	S/ 523,918.86	S/589,060.06	S/614,289.18

Nota: Elaboración propia.

Respecto al escenario normal, tomando como base el flujo de caja económico y financiero, el resultado del valor actual neto económico es de 213,665.09 soles, mientras que el valor actual neto financiero equivale a 222,852.43 soles. Se cumple el criterio de que su valor sea mayor a cero.

Tabla 61*Valor actual neto económico y financiero*

Año	2021	2022	2023	2024	2025
Flujo de caja económico	-S/ 352,217.60	S/ 206,098.34	S/ 204,490.14	S/ 204,049.86	S/ 217,928.59
Flujo de caja financiero	-S/ 176,108.80	S/ 105,830.03	S/ 98,655.56	S/ 204,049.86	S/ 217,928.59
Valor actual neto					
Valor actual neto económico (VANE)	S/ 213,665.09				
Valor actual neto financiero (VANF)	S/ 222,852.43				

Nota: Elaboración propia

Respecto a la tasa interna de retorno económico es de 45.68%, mientras que la tasa interna de retorno financiero es de 64.62%. Se cumple el criterio que económicamente el TIR debe ser mayor que al WACC de 17.30% y que financieramente el TIR debe ser mayor al COK de 17.80%.

Tabla 62*Tasa interna de retorno económico y financiero*

Año	2021	2022	2023	2024	2025
Flujo de caja económico	-S/ 352,217.60	S/ 206,098.34	S/ 204,490.14	S/ 204,049.86	S/ 217,928.59
Flujo de caja financiero	-S/ 176,108.80	S/ 105,830.03	S/ 98,655.56	S/ 204,049.86	S/ 217,928.59
Tasa interna de retorno					
Tasa interna de retorno económico (TIRE)	45.68%				
Tasa interna de retorno financiero (TIRF)	64.62%				

Nota: Elaboración propia

Respecto al ratio del Beneficio/Costo nos da como resultado económico el valor de 1.61, mientras que financieramente equivale a 2.27. Se cumple el criterio de rentabilidad por ser mayor a uno.

Tabla 63*Ratio de Beneficio – Costo*

Año	2021	2022	2023	2024	2025
Flujo económico descontado	-S/ 352,217.60	S/ 175,704.72	S/ 148,624.44	S/ 126,433.77	S/ 115,119.77
Flujo financiero descontado	-S/ 176,108.80	S/ 89,841.60	S/ 71,098.20	S/ 124,836.58	S/ 113,184.85
Beneficio Costo					
Beneficio / Costo Económico				1.61	
Beneficio / Costo Financiero				2.27	

Nota: Elaboración propia.

En el escenario pesimista al considerar una política de intervenciones preventivas del muelle del sistema de suspensión posterior con una confiabilidad de 79.35%, el beneficio puede disminuir a 523,918.86 soles y el escenario seguiría siendo viable, ya que los indicadores de rentabilidad cumplen con los criterios de viabilidad.

Tabla 64*Indicadores de rentabilidad en escenario pesimista*

Año	2021	2022	2023	2024	2025
Flujo de caja económico	-S/ 352,217.60	S/ 160,499.51	S/ 158,891.31	S/ 158,451.03	S/ 172,329.76
Flujo de caja financiero	-S/ 176,108.80	S/ 60,231.20	S/ 53,056.73	S/ 158,451.03	S/ 172,329.76
Valor actual neto	Económico (VANE)				S/ 89,307.92
	Financiero (VANF)				S/ 99,701.12
Tasa interna de retorno	Económico (TIRE)				29.62%
	Financiero (TIRF)				38.95%
Beneficio costo	Económico				1.25
	Financiero				1.57

Nota: Elaboración propia.

En el escenario optimista al considerar una política de intervenciones preventivas del muelle del sistema de suspensión posterior con una confiabilidad de 97.94%, el beneficio puede aumentar a 614,289.18 soles y el escenario seguiría siendo viable, ya que los indicadores de rentabilidad cumplen con los criterios.

Tabla 65*Indicadores de rentabilidad en escenario optimista*

Año	2021	2022	2023	2024	2025
Flujo de caja económico	-S/ 352,217.60	S/ 223,758.73	S/ 222,150.53	S/ 221,710.25	S/ 235,588.98
Flujo de caja financiero	-S/ 176,108.80	S/ 123,490.42	S/ 116,315.95	S/ 221,710.25	S/ 235,588.98
Valor actual neto	Económico (VANE)			S/ 261,828.51	
	Financiero (VANF)			S/ 270,548.82	
Tasa interna de retorno	Económico (TIRE)			51.66%	
	Financiero (TIRF)			74.50%	
Beneficio costo	Económico			1.74	
	Financiero			2.54	

Nota: Elaboración propia.

Analizando de manera multidimensional. Para el escenario pesimista se considera una probabilidad del 40.81%, para el escenario normal una probabilidad de 28.72% y el escenario optimista se considera una probabilidad de 30.47%. Las probabilidades de ocurrencias son sustentadas mediante una matriz de puntuación (Ver anexo 17).

Tabla 66*Indicadores de rentabilidad esperado*

	Pesimista	Normal	Optimista
Confiabilidad operativa	79.35%	92.53%	97.94%
Variables de salida			
VANF	S/99,701.12	S/222,852.43	S/270,548.82
TIRF	38.95%	64.62%	74.50%
VANE	S/89,307.92	S/213,665.09	S/261,828.51
TIRE	29.62%	45.68%	51.66%
Beneficio Costo económico	1.25	1.61	1.74
Beneficio Costo financiero	1.57	2.27	2.54
Probabilidad de ocurrencia	40.81%	28.72%	30.47%
Valor actual neto financiero esperado			S/187,123.69
Valor actual neto económico esperado			S/177,586.51
Tasa interna de retorno financiero esperado			57.15%
Tasa interna de retorno económico esperado			40.95%
Beneficio / Costo financiero esperado			2.06
Beneficio / Costo económico esperado			1.50

Nota: Elaboración propia.

De acuerdo a los resultados, se demuestran que la metodología es viable económicamente y financieramente para la empresa al implementarlo.

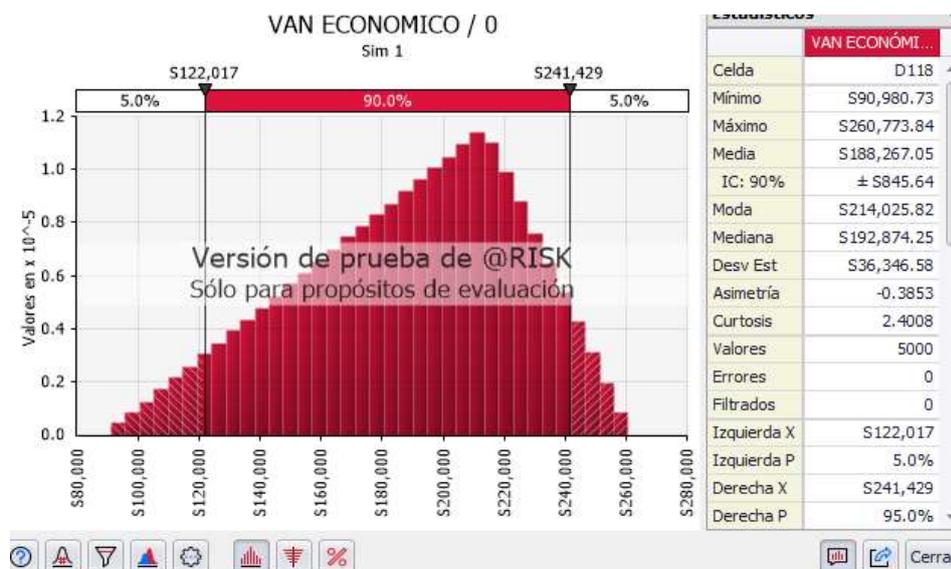
7.4.8. Simulación por @Risk

Usando el simulador @Risk, se valida los indicadores de rentabilidad económica y financieramente realizados anteriormente. Para ello, se trabaja con la distribución de probabilidad triangular, cuyos datos de salida están enfocados al valor actual neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR) y la relación del beneficio costo. La simulación se trabaja con 5000 iteraciones con 100 veces en simular.

Los resultados señalan que la implementación de la metodología es factible en un 90% debido a que el valor actual neto económico se encuentra dentro del rango 122,017 soles hasta 241,429 soles; mientras que el valor actual neto financiero se encuentra dentro del rango 132,097 soles hasta 250,358 soles.

Figura 76

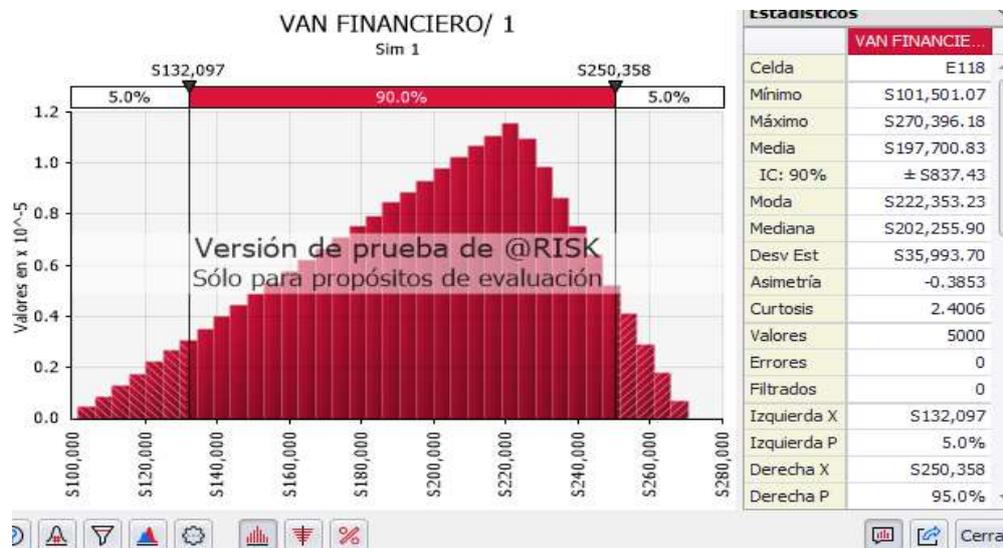
Simulación del valor actual neto económico en @Risk



Nota: Elaboración propia.

Figura 77

Simulación del valor actual neto financiero en @Risk



Nota: Elaboración propia

Respecto a la tasa interna de retorno económico, la metodología es factible en un 90% debido a que se encuentra dentro del rango 33.95% hasta 49.14%; mientras que la tasa interna de retorno financiero se encuentra dentro del rango 45.74% hasta 70.32%.

Figura 78

Simulación de la tasa interna de retorno económico en @Risk



Nota: Elaboración propia

Figura 79

Simulación de la tasa interna de retorno financiero en @Risk



Nota: Elaboración propia

Respecto al ratio beneficio - costo económico, la metodología es factible en un 90% debido a que se encuentra dentro del rango 1.3464 hasta 1.6854 mientras que el beneficio - costo financiero se encuentra dentro del rango 1.75 hasta 2.422.

Figura 80

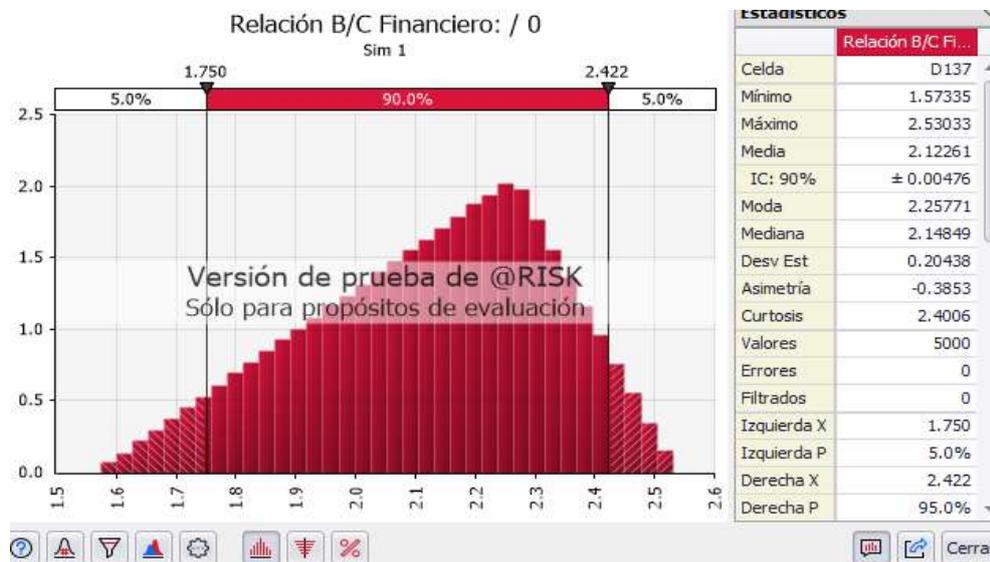
Simulación del beneficio costo económico en @Risk



Nota: Elaboración propia

Figura 81

Simulación del beneficio costo financiero en @Risk



Nota: Elaboración propia

Capítulo VIII: Conclusiones y recomendaciones

8.1. Conclusiones

En la implementación de un sistema de mantenimiento basado en la confiabilidad para la mejora del servicio de entrega de la flota de volquetes en la unidad minera Cerro Corona, se destaca las siguientes conclusiones:

En la investigación se mejoró mediante la implementación del sistema de mantenimiento basado en la confiabilidad, el servicio de entrega de la flota de volquetes en la minera Cerro Corona, debido a que el cambio del plan de reemplazo preventivo de 2400 a 2000 horas del componente riesgoso paquete de muelle del sistema de suspensión posterior optimiza el costo y riesgo, generando un beneficio anual de 589,060.06 soles, siendo rentable al cumplir con los criterios de los indicadores económicos y financieros.

En la investigación se mejoró mediante la priorización de riesgo operativo, la disponibilidad de la flota de volquetes en la minera Cerro Corona, debido a que la reducción

de 53 a 4 el número anual de intervenciones por mantenimiento correctivo del componente riesgoso paquete de muelle del sistema de suspensión posterior, genera el aumento de la disponibilidad operativa en un 13.48%.

En la investigación se mejoró mediante la durabilidad operativa de repuestos, la disponibilidad de la flota de volquetes en la minera Cerro Corona, debido a que en función del repuesto riesgoso paquete de muelle del sistema de suspensión posterior, al realizar sus cambios preventivos en intervalos más cortos se aumenta el tiempo medio entre intervenciones de mantenimiento y la confiabilidad operativa, generando el aumento de la disponibilidad operativa en un 13.48%.

En la investigación se mejoró mediante el modelo de optimización costo y riesgo, el tiempo indisponible por mantenimiento de la flota de volquetes en la minera Cerro Corona, debido a que el ahorro entre el costo horario por las intervenciones preventivas y el riesgo horario por las intervenciones correctivas, reajusta el intervalo de reemplazo preventivo del repuesto paquete de muelle del sistema de suspensión posterior, generando más preventivos para anticipar a las fallas, reduciendo la indisponibilidad por falla en un 15.67%.

La metodología del mantenimiento basado en el riesgo puede ser aplicada en otros equipos de la empresa destinados a la venta o alquiler con el fin de evitar paradas imprevistas por la aceleración del ciclo de vida útil de sus componentes críticos, a su vez puede ser utilizado en otros problemas de diferentes empresas relacionadas a trabajos productivos de la minería.

8.2. Recomendaciones

Establecer un programa de charla a los técnicos de campo, sobre la correcta manera de anotar los reportes de mantenimientos, para que la información que receptiona el área de gestión sea lo más verídico posible.

Integrar el área de mantenimiento con los nuevos integrantes de confiabilidad de equipos. Esto permitirá compartir informaciones entre ambas áreas para que la implementación de la metodología sea lo más fluida durante las operaciones en la unidad minera.

Luego de implementar de gestión de confiabilidad operacional MBR al sistema de suspensión posterior de los volquetes, se recomienda continuar con el sistema de llantas, ya que es dependiente al buen funcionamiento de las suspensiones.

Seguimiento al avance de los horómetros de los volquetes en operación, para la comunicación oportuna al cliente en cuanto a la disponibilidad de los equipos para su mantenimiento preventivo de acuerdo al nuevo plan de mantenimiento y evitar los desfases de la programación de los mantenimientos.

Seguimiento a las reposiciones de los repuestos que se extraen en vehículos que aún no han sido alquiladas mediante el flujo de extracciones, con el fin de no retrasar futuras entregas a nuevos clientes.

Comunicación constante de los técnicos de campo con los operadores de los volquetes; cuya información diaria en cuanto al rendimiento de los equipos, luego de su periodo de trabajo es vital para que los técnicos puedan alertar la proximidad de intervenciones preventivas.

Referencias

- Acosta, C. (2017). *Diseño de un mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM II) en un conjunto de grupos electrógenos para el suministro de energía eléctrica en el proyecto Agro Olmos – Lambayeque*. (Tesis de Título profesional inédita). Instituto Superior Tecnológico TECSUP, Lima.
- Alave, W. (2016). *Desarrollo e implementación de una metodología de gestión de mantenimiento basado en el riesgo para microcentrales hidroeléctricas*. (Tesis de maestría). Universidad mayor de San Andrés, La Paz.
- Alfaro, W. (2019). *Gestión de mantenimiento basado en el riesgo para incrementar la confiabilidad de las máquinas de la empresa Zinsac del Perú S.A.C.* (Tesis de Título profesional). Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo.
- Allauca, N. (2019). *Plan de mantenimiento basado en RCM para caldero de 50BHP, caso: Hospital Ciudad del Cusco* (Tesis de Maestría). Universidad Nacional San Agustín de Arequipa, Arequipa.
- Amador, L. (2005). *Diseño de un plan de mantenimiento predictivo para la flota de equipos pesados de la gerencia de PMH de la empresa C.V.G. ferrominera Orinoco C.A.* (Tesis de grado). Universidad Nacional Experimental Politécnica Antonio José de Sucre, Puerto Ordaz.
- Aróstegui, B. (2014). *Diseño de un plan de monitoreo de condiciones para reducir los costos de mantenimiento en la flota del cargador frontal 962H Caterpillar*. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
- Arróspide, C. (2008). *Glosario de términos en la gestión de mantenimiento*. Recuperado de <https://www.gestiopolis.com/wp-content/uploads/2017/07/glosario-terminos-mantenimiento.pdf>
- Aymachoque, N. (2019). *Plan de mantenimiento basado en la metodología: Optimización de planes de mantenimiento (PMO) para incrementar la confiabilidad de la flota de camiones 797Fde minera Chinalco Perú*. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional del Callao, Callao.

- Barros, O. (2015). *Planificación estratégica de mantenimiento como herramienta preventiva y predictiva para la disminución de la accidentabilidad de un sistema de gestión de seguridad y salud ocupacional*. (Tesis de maestría). Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca.
- Caldas, A. (2019). *Innovaciones tecnológicas en el mantenimiento de los camiones volquetes roqueros empleados en una planta procesadora de agregados*. (Tesis de maestría). Universidad Nacional Federico Villareal, Lima.
- Cascajosa, M. (2005). *Ingeniería de vehículos. Sistemas y cálculos*. (2ª. ed.). México D.F: Editorial Alfaomega.
- Crismatt, Y. & Valencia, D. (2012). *Análisis de confiabilidad y disponibilidad de las líneas de producción en la empresa COMAI LTDA*. (Tesis de Título profesional). Universidad Tecnológica de Bolívar, Cartagena.
- Dávila, R. (2019). *Planificación del mantenimiento preventivo para los neumáticos de la flota de camiones de la empresa de transportes Rodrigo Carranza*. (Tesis de Título profesional). Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo.
- Donayre, E. (2014). *Propuesta de diseño de un sistema de gestión de mantenimiento para una empresa de servicios de elevación de Lima*. (Tesis de Título profesional). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima.
- Flores, A. & Mc Caherty, J. (2007) *Metrics (KPI'S) to assess process performance* (3ª.ed.). Illinois.: Caterpillar.
- García, S. (2010) *Organización y gestión integral de mantenimiento* (1ª. ed.). Madrid: Ediciones Díaz de Santos, S. A.
- Hernández, R., Fernández, C. & Baptista, P. (2010) *Metodología de la investigación* (5ª. ed.). México, D.F.: Mc Graw-Hill.
- Landeo, V. (2021). *Propuesta de implementación de un sistema de gestión de mantenimiento preventivo al sistema de flota "MINESTAR" para reducir costos en una empresa Minera en Junín*. (Tesis de Título profesional). Universidad Privada del Norte, Cajamarca.

- Macedo, J. (2018). *Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) para mejorar la productividad de la línea 14 de envasado Tetra Pak – Lurigancho 2018*. (Tesis de Título profesional). Universidad César Vallejo, Lima.
- Márquez, R. (2016). *Mejora de los procedimientos del mantenimiento preventivo para la reducción del costo de intervención en grúas y descortezadoras*. (Tesis de Título profesional). Universidad San Ignacio de Loyola, Lima.
- Ministerio de Comercio y turismo (2015). Transporte terrestre. *Guía de orientación al usuario de transporte terrestre*, 3 (2), 24. Recuperado de https://www.mincetur.gob.pe/wp-content/uploads/documentos/comercio_exterior/facilitacion_comercio_exterior/Guia_Transporte_Terrestre_13072015.pdf.
- Ministerio de energía y minas (2021). En primer trimestre de 2021. Exportación de cobre alcanza 45% de incremento. *Boletín estadístico minero*, (4),1-32. Recuperado de <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/Mineria/PUBLICACIONES/VARIABLES/2021/BEM%2004-2021.pdf>
- Mora, L.A. (2009). *Mantenimiento. Planeación, ejecución y control*. (1a. ed.). México D.F: Editorial Alfaomega.
- Moreno, E. & Quevedo, F. (2002). *Adaptación e integración de las metodologías de confiabilidad operacional para mejorar la gestión de mantenimiento en plantas de distribución de combustible de PDVSA*. (Tesis de Título profesional). Universidad Metropolitana, Caracas.
- Moubray, J. (2004) *Mantenimiento centrado en la confiabilidad*. (2ª. ed.). Gran Bretaña: Biddles.
- Ninacuri, J. (2016) *Análisis de mantenimiento de la maquinaria pesada del gobierno autónomo descentralizado municipal del Cantón Pastaza y su incidencia en la disponibilidad*. (Tesis de Título profesional). Universidad Técnica de Ambato, Ambato.
- Ortiz, F. (2017). *Diseño de un sistema de gestión de mantenimiento basado en el riesgo (MBR) aplicado al pool de maquinaria pesada de la Municipalidad Provincial de Moyobamba para aumentar su disponibilidad y reducir los retrasos de producción*. (Tesis de Título profesional). Universidad César Vallejo, Trujillo.

- Osorio, S. (2015). *Diseño de plan de mantenimiento basado en riesgo para planta de tratamiento de residuos sólidos y líquidos*. (Tesis de Título profesional). Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso.
- Pascual, R. (2005) *El arte de mantener*. Universidad de Chile, Santiago.
- Peláez, Y. & Valcárcel, R. (2019). *Uso de la distribución Weibull para mejorar el proceso de tomas de decisiones del área de mantenimiento palas en una empresa del sector minero*. (Tesis de Título profesional). Universidad Privada del Norte, Cajamarca.
- Paz, E. (2015). *Diseño de un programa de mantenimiento preventivo basado en el riesgo para aumentar la disponibilidad y reducir los costos de operación del pool maquinaria pesada de la Municipalidad de Rioja*. (Tesis de Título profesional). Universidad César Vallejo, Trujillo.
- Peña, D. (2019). *Análisis para la selección y reemplazo de volquetes de 25 m³ de capacidad para la optimización del acarreo y transporte en la operación minera – Mina Los Andes Perú Gold – Huamachuco*. (Tesis de Título profesional). Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo.
- Peralta, G. (2019). *Plan de mantenimiento preventivo para incrementar la productividad de la empresa metalmecánica AR&ML Constructores E.I.R.L., San Juan de Lurigancho, 2019*. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional del Callao, Callao.
- Pistarelli, A.J. (2010). *Manual de mantenimiento: Ingeniería, gestión y organización*. (1a. ed.). Buenos Aires: Talleres gráficos R y C.
- Ramos, S. & Urbano, P. (2021). *Propuesta de mejora en el proceso de fabricación de mezclas secas embolsadas en una empresa concretera*. (Tesis de Título profesional). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima.
- Reyes, P. (2019). *Reducción de costos operativos por medio del control de indicadores en el proceso de perforación y voladura en Minera Yanaquihua S.A.C. – Estudio de caso*. (Tesis de Título profesional). Universidad Tecnológica del Perú, Arequipa.

- Rojas, J. (2015). *Propuesta de mejora en la gestión del mantenimiento en una empresa de servicio de alquiler de maquinarias basado en RCM*. (Tesis de Título profesional). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima.
- Ruiz, C. (2018). *Propuesta de plan de inspección y mantenimiento basado en riesgos para el área de envasado de empresa vitivinícola*. (Tesis de Título profesional). Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso.
- Salazar, G. & Puma, J. (2017). *Optimización del stock de componentes críticos para reducir costos e incrementar la disponibilidad de las palas hidráulicas en minería*. (Tesis de Título profesional). Universidad Privada del Norte, Cajamarca.
- Sandoval, G. (2016). *Mejora en la confiabilidad operacional del sistema Power Shift de un camión minero Caterpillar modelo 797F: Desarrollo de una metodología de mantenimiento basado en el riesgo 2016*. (Tesis título profesional). Universidad Católica de Santa María, Arequipa.
- Tavares, L.A. (2005). *Administración moderna de mantenimiento*. (1a. ed.). Rio de Janeiro: Editorial Novo Polo Publicaciones.
- Yáñez, M., Gómez, H. & Valbuena, G. (2004) *Ingeniería de Confiabilidad y análisis probabilístico de riesgo* (1ª. ed.). México, D.F.: Reliability and Risk Management, S.A.
- Zamora, C. (2014). *Análisis de Weibull en la gestión de mantenimiento de equipos trackles (Minería subterránea)*. (Informe de experiencia laboral para título profesional). Universidad Nacional del Callao, Callao.
- Zamora, I. (2018). *Diseño de un plan de mantenimiento para un molino de bolas de la empresa compañía minera Cerro Negro S.A.* (Tesis título profesional). Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Quilpué.
- Vidal, E., Yarín, A., Velásquez, C., López, I., De la Cruz, L., Núñez, L., Gálvez, R. & Gálvez, (2015). Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad de motores de combustión interna de las embarcaciones pesqueras de la serie intrépido de una empresa pesquera. *PESQUIMAT*, 18 (2), 5-18.

Anexos

Anexo 1

Unidades designadas para operar en la unidad minera Cerro Corona

Código	Descripción	Marca	Modelo	Año Fabricación	Capacidad Nominal
V-334	Camión Volquete	Volvo	FMX 8x4R	2019	20 M3
V-335	Camión Volquete	Volvo	FMX 8x4R	2019	20 M3
V-336	Camión Volquete	Volvo	FMX 8x4R	2019	20 M3
V-337	Camión Volquete	Volvo	FMX 8x4R	2019	20 M3
V-338	Camión Volquete	Volvo	FMX 8x4R	2019	20 M3
V-339	Camión Volquete	Volvo	FMX 8x4R	2019	20 M3
V-340	Camión Volquete	Volvo	FMX 8x4R	2019	20 M3
V-341	Camión Volquete	Volvo	FMX 8x4R	2019	20 M3
V-342	Camión Volquete	Volvo	FMX 8x4R	2019	20 M3
V-343	Camión Volquete	Volvo	FMX 8x4R	2019	20 M3
V-344	Camión Volquete	Volvo	FMX 8x4R	2019	20 M3
V-359	Camión Volquete	Volvo	FMX 8x4R	2019	20 M3
V-360	Camión Volquete	Volvo	FMX 8x4R	2019	20 M3
V-361	Camión Volquete	Volvo	FMX 8x4R	2019	20 M3

Nota: Imagen recuperada del área de mantenimiento de equipos móviles.

Anexo 2

Descarga de reporte de órdenes de trabajo de mantenimientos en el ERP SAP

Nota: Imagen recuperada del sistema ERP SAP del área de mantenimiento de equipos móviles.

Anexo 3*Plano actual de mantenimiento preventivo del sistema de suspensión del volquete*

Plan de mantenimiento	Actividad de mantenimiento	Puesto de trabajo	Texto de operación	Horas total de trabajo	Número técnicos	Tiempo operación	Unidad duración	Clase actividad
14396	Mecánico	Det-oper	Mantto.2000					
14396	Mecánico	Mecani-A	Detalle horas hombre	4.000	2.000	2.000	H	Tecman
14396	Mecánico	Det-oper	C/ Paquete suspensión delantera 1er eje RH					
14397	Mecánico	Det-oper	Mantto 2000					
14397	Mecánico	Mecani-A	Detalle horas hombre	4.000	2.000	2.000	H	Tecman
14397	Mecánico	Det-oper	C/ Paquete suspensión delantera 1er eje LH					
14398	Mecánico	Det-oper	Mantto 2400					
14398	Mecánico	Mecani-A	Detalle horas hombre	5.000	2.000	2.500	H	Tecman
14398	Mecánico	Det-oper	C/ Paquete suspensión posterior RH					
14399	Mecánico	Det-oper	Mantto 2400					
14399	Mecánico	Mecani-A	Detalle horas hombre	5.000	2.000	2.500	H	Tecman
14399	Mecánico	Det-oper	C/ Paquete suspensión posterior LH					
25180	Mecánico	Det-oper	Mantto 2000					
25180	Mecánico	Mecani-A	Detalle horas hombre	4.000	2.000	2.000	H	Tecman
25180	Mecánico	Det-oper	C/ Paquete suspensión delantera 2do eje LH					
25181	Mecánico	Det-oper	Mantto 2000					
25181	Mecánico	Mecani-A	Detalle horas hombre	4.000	2.000	2.000	H	Tecman
25181	Mecánico	Det-oper	C/ Paquete suspensión delantera 2do eje RH					

Fuente: Información recuperada del sistema ERP SAP del área de mantenimiento de equipos móviles.

Anexo 4*Reporte de órdenes de trabajo preventivo del muelle en el sistema de suspensión posterior*

Orden	Sistema	Texto breve	Costo total real	Denominación	Mantenimiento	Año	Fase
50148753	Suspensión	Reposición de abrazadera	1745.88 soles	FMX 8X4R	Preventivo	2020	MM MAN.MEC
50143845	Suspensión	PM04 Mantto. 1200	1745.88 soles	FMX 8X4R	Preventivo	2020	MM MAN.MEC
50147670	Suspensión	PM06 Mantto. 1200	1745.88 soles	FMX 8X4R	Preventivo	2020	MM MAN.MEC
50147355	Suspensión	PM06 Mantto. 1200	1745.88 soles	FMX 8X4R	Preventivo	2020	MM MAN.MEC
50157329	Suspensión	PM04 Mantto. 1200	1745.88 soles	FMX 8X4R	Preventivo	2020	MM MAN.MEC
50155314	Suspensión	PM08 Mantto. 1400	1745.88 soles	FMX 8X4R	Preventivo	2020	MM MAN.MEC
50155065	Suspensión	PM04 Mantto. 1200	1745.88 soles	FMX 8X4R	Preventivo	2020	MM MAN.MEC
50154920	Suspensión	PM04 Mantto. 1200	1745.88 soles	FMX 8X4R	Preventivo	2020	MM MAN.MEC
50152722	Suspensión	Reposición de abrazadera	1745.88 soles	FMX 8X4R	Preventivo	2020	MM MAN.MEC
50152161	Suspensión	Reposición de tuerca de abrazadera	845.88 soles	FMX 8X4R	Preventivo	2020	MM MAN.MEC
50159814	Suspensión	Reposición de abrazadera	845.88 soles	FMX 8X4R	Preventivo	2020	MM MAN.MEC
50161302	Suspensión	Reposición de abrazadera	944.15 soles	FMX 8X4R	Preventivo	2020	MM MAN.MEC
50154440	Suspensión	Reposición de abrazadera	944.15 soles	FMX 8X4R	Preventivo	2020	MM MAN.MEC
50159810	Suspensión	Reposición de abrazadera	944.15 soles	FMX 8X4R	Preventivo	2020	MM MAN.MEC
50152726	Suspensión	Reposición de abrazadera	944.15 soles	FMX 8X4R	Preventivo	2020	MM MAN.MEC
50161769	Suspensión	Reposición de hoja N° 7	944.15 soles	FMX 8X4R	Preventivo	2020	MM MAN.MEC
50160807	Suspensión	Reposición de hoja de muelle N° 3	944.15 soles	FMX 8X4R	Preventivo	2020	MM MAN.MEC
50154298	Suspensión	PM04 Mantto. 1200	944.15 soles	FMX 8X4R	Preventivo	2020	MM MAN.MEC
50151573	Suspensión	PM16 Mantto. 1200	944.15 soles	FMX 8X4R	Preventivo	2020	MM MAN.MEC
50152723	Suspensión	Reposición de hoja N° 7	944.15 soles	FMX 8X4R	Preventivo	2020	MM MAN.MEC
50154428	Suspensión	Reposición de abrazadera	944.15 soles	FMX 8X4R	Preventivo	2020	MM MAN.MEC
50153368	Suspensión	Reposición de hoja N° 3	944.15 soles	FMX 8X4R	Preventivo	2020	MM MAN.MEC
50148396	Suspensión	Reposición de abrazadera	1900 soles	FMX 8X4R	Preventivo	2020	MM MAN.MEC
50161762	Suspensión	Reposición de hoja N° 2	1156 soles	FMX 8X4R	Preventivo	2020	MM MAN.MEC

50156490	Suspensión	Reposición de abrazadera	1156 soles	FMX 8X4R	Preventivo	2020	MM	MAN.MEC
50157496	Suspensión	Reajuste de perno	1156 soles	FMX 8X4R	Preventivo	2020	MM	MAN.MEC
50153370	Suspensión	Reposición de abrazadera	1156 soles	FMX 8X4R	Preventivo	2020	MM	MAN.MEC
50152729	Suspensión	Reposición de 01 abrazadera y 02 tuercas	1156 soles	FMX 8X4R	Preventivo	2020	MM	MAN.MEC
50152725	Suspensión	Reposición de 01 abrazadera y 02 tuercas	1156 soles	FMX 8X4R	Preventivo	2020	MM	MAN.MEC
50153827	Suspensión	Reposición de grillete	1156 soles	FMX 8X4R	Preventivo	2020	MM	MAN.MEC
50157102	Suspensión	Reposición de muelle	1156 soles	FMX 8X4R	Preventivo	2020	MM	MAN.MEC
50147222	Suspensión	Reposición de perno grillete	1156 soles	FMX 8X4R	Preventivo	2020	MM	MAN.MEC
50154948	Suspensión	Reposición de muelle	1406.73 soles	FMX 8X4R	Preventivo	2020	MM	MAN.MEC
50150026	Suspensión	Reposición de hoja N° 5	1406.73 soles	FMX 8X4R	Preventivo	2020	MM	MAN.MEC
50152724	Suspensión	Reposición de hoja N° 2	1406.73 soles	FMX 8X4R	Preventivo	2020	MM	MAN.MEC
50152730	Suspensión	Reposición de 2 abrazaderas	1406.73 soles	FMX 8X4R	Preventivo	2020	MM	MAN.MEC
50155933	Suspensión	Reposición de muelle	1406.73 soles	FMX 8X4R	Preventivo	2020	MM	MAN.MEC
50155924	Suspensión	Reposición de perno a grillete	1406.73 soles	FMX 8X4R	Preventivo	2020	MM	MAN.MEC
50161767	Suspensión	Reposición de hoja N° 6 y7	1406.73 soles	FMX 8X4R	Preventivo	2020	MM	MAN.MEC
50156493	Suspensión	Reposición de hoja N° 2	1406.73 soles	FMX 8X4R	Preventivo	2020	MM	MAN.MEC
50148764	Suspensión	Reposición de abrazaderas y perno centro	1406.73 soles	FMX 8X4R	Preventivo	2020	MM	MAN.MEC
50155607	Suspensión	Reposición de abrazadera	1623 soles	FMX 8X4R	Preventivo	2020	MM	MAN.MEC
50153839	Suspensión	Reposición de abrazadera	1623 soles	FMX 8X4R	Preventivo	2020	MM	MAN.MEC
50149295	Suspensión	Reposición de abrazadera	1623 soles	FMX 8X4R	Preventivo	2020	MM	MAN.MEC
50149059	Suspensión	Reposición de abrazadera	1623 soles	FMX 8X4R	Preventivo	2020	MM	MAN.MEC
50161306	Suspensión	Reposición de abrazaderas y perno centro	1623 soles	FMX 8X4R	Preventivo	2020	MM	MAN.MEC
50155049	Suspensión	Reposición de abrazaderas y perno centro	2223 soles	FMX 8X4R	Preventivo	2020	MM	MAN.MEC
50155048	Suspensión	Reposición de abrazaderas y perno centro	2223 soles	FMX 8X4R	Preventivo	2020	MM	MAN.MEC

50155943	Suspensión	Reposición de muelle	2223 soles	FMX 8X4R	Preventivo	2020	MM MAN.MEC
50156489	Suspensión	Reposición de muelle	2223 soles	FMX 8X4R	Preventivo	2020	MM MAN.MEC
50155945	Suspensión	Reposición de muelle	4129.52 soles	FMX 8X4R	Preventivo	2020	MM MAN.MEC
50152159	Suspensión	Reposición abrazadera, pernos y hoja N° 7 y 8	4129.52 soles	FMX 8X4R	Preventivo	2020	MM MAN.MEC
50157106	Suspensión	Reposición abrazadera, pernos y hoja N° 6,7 y 8	4129.52 soles	FMX 8X4R	Preventivo	2020	MM MAN.MEC
50155980	Suspensión	Reposición de muelle	4129.52 soles	FMX 8X4R	Preventivo	2020	MM MAN.MEC
50155349	Suspensión	Reposición de muelle	4129.52 soles	FMX 8X4R	Preventivo	2020	MM MAN.MEC

Fuente: Información recuperada del área de mantenimiento de equipos móviles.

Anexo 5

Reporte de órdenes de trabajo correctivo del muelle en el sistema de suspensión posterior

Orden	Sistema	Texto breve	Costo total real	Denominación	Mantenimiento	Año	Fase
50152669	Suspensión	Alineamiento de muelles cambio de abrazadera muelle	874.98 soles	FMX 8X4R	Correctivo	2020	MM MAN.MEC
50151770	Suspensión	Cambio de abrazadera de muelle Cambio de hoja de muelle	299.31 soles	FMX 8X4R	Correctivo	2020	MM MAN.MEC
50157490	Suspensión	Cambio de hoja 01 de muelle Corte de abrazadera de muelle Cambio de abrazadera de muelle	1672.02 soles	FMX 8X4R	Correctivo	2020	MM MAN.MEC
50160133	Suspensión	Cambio de tuercas de abrazadera de muelle Cambio de hoja 02 de muelle	1460.13 soles	FMX 8X4R	Correctivo	2020	MM MAN.MEC
50159792	Suspensión	Cambio de abrazadera y perno centro Cambio hoja muelle	1588.96 soles	FMX 8X4R	Correctivo	2020	MM MAN.MEC
50159787	Suspensión	Cambio de tuercas de abrazadera de muelle Cambio de abrazadera de muelle	1155.30 soles	FMX 8X4R	Correctivo	2020	MM MAN.MEC
50158843	Suspensión	Cambio hoja 2 de segundo eje RH Cambio de abrazadera de muelle	1224.09 soles	FMX 8X4R	Correctivo	2020	MM MAN.MEC

50156252	Suspensión	Cambio de abrazadera muelle Cambio de hoja 01 de muelle Cambio de hoja 3 de muelle Cambio de hoja 05 de muelle Cambio de hoja madre muelle	1654.26 soles	FMX 8X4R	Correctivo	2020	MM	MAN.MEC
50155657	Suspensión	Cambio de abrazadera de muelle Cambio de tuercas y abrazadera de muelle Cambio de hoja 01 madre de muelle	563.80 soles	FMX 8X4R	Correctivo	2020	MM	MAN.MEC
50149807	Suspensión	Cambio de abrazadera muelle Cambio de muelle hoja 3 muelle Cambio perno muelle de grillete muelle Cambio de hoja de muelle	1853.19 soles	FMX 8X4R	Correctivo	2020	MM	MAN.MEC
50161218	Suspensión	Cambio de hoja 04 de muelle Cambio de abrazadera de muelle	761.68 soles	FMX 8X4R	Correctivo	2020	MM	MAN.MEC
50161212	Suspensión	Instalación de amortiguador cuarto eje Cambio de 2 abrazaderas muelle	761.68 soles	FMX 8X4R	Correctivo	2020	MM	MAN.MEC
50160230	Suspensión	Cambio de abrazadera muelle Cambio de perno centro de muelle Cambio de hoja 01 de muelle	811.25 soles	FMX 8X4R	Correctivo	2020	MM	MAN.MEC
50159291	Suspensión	Cambio de abrazadera muelle Cambio de hoja 07 y 08 de muelle	576.22 soles	FMX 8X4R	Correctivo	2020	MM	MAN.MEC
50159287	Suspensión	Cambio de hoja 01 de muelle Cambio de base espaciador y resorte Cambio de 02 abrazaderas de muelle	1206.18 soles	FMX 8X4R	Correctivo	2020	MM	MAN.MEC
50157963	Suspensión	Cambio de hoja 09 de muelle Cambio de perno de muelle	1379.48 soles	FMX 8X4R	Correctivo	2020	MM	MAN.MEC
50157957	Suspensión	Cambio de abrazadera de muelle	471.33 soles	FMX 8X4R	Correctivo	2020	MM	MAN.MEC
50149733	Suspensión	Cambio de abrazadera y perno centro	423.22 soles	FMX 8X4R	Correctivo	2020	MM	MAN.MEC
50149734	Suspensión	Cambio de abrazadera de muelle	531.68 soles	FMX 8X4R	Correctivo	2020	MM	MAN.MEC

50150798	Suspensión	Cambio de abrazadera de muelle Cambio de hoja de muelles Cambio de barra antivuelco Cambio de muelle segundo	2387.97 soles	FMX 8X4R	Correctivo	2020	MM	MAN.MEC
50151181	Suspensión	Cambio de perno de bocina de muelle Cambio de 02 pernos de grilletes de muelle Cambio de hoja de muelle n1°	2618.23 soles	FMX 8X4R	Correctivo	2020	MM	MAN.MEC
50150733	Suspensión	Cambio de abrazadera muelle Cambio de hoja 01 y 02 de muelle Cambio abrazadera muelle	2166.14 soles	FMX 8X4R	Correctivo	2020	MM	MAN.MEC
50148784	Suspensión	Cambio de resortes progresivos Cambio de abrazaderas de paquete de muelle	2650.83 soles	FMX 8X4R	Correctivo	2020	MM	MAN.MEC
50162035	Suspensión	Cambio de abrazadera muelle	754.93 soles	FMX 8X4R	Correctivo	2020	MM	MAN.MEC
50153300	Suspensión	Cambio de hoja 07 y 08 de muelle Cambio de abrazadera muelle Cambio de 3ra hoja de muelle	2083.03 soles	FMX 8X4R	Correctivo	2020	MM	MAN.MEC
50153267	Suspensión	Cambio de hoja 03 de muelle Cambio de abrazadera de muelle Cambio de abrazaderas de muelle	1341.15 soles	FMX 8X4R	Correctivo	2020	MM	MAN.MEC
50153266	Suspensión	reposición de pernos y planchas de resortes	1372.57 soles	FMX 8X4R	Correctivo	2020	MM	MAN.MEC
50153262	Suspensión	Cambio de perno de1 eje muelle RH	895.99 soles	FMX 8X4R	Correctivo	2020	MM	MAN.MEC
50153260	Suspensión	Cambio de bocinas de muelle Cambio de abrazadera de muelle Cambio abrazadera muelle	1483.22 soles	FMX 8X4R	Correctivo	2020	MM	MAN.MEC
50150903	Suspensión	Cambio de hoja muelle n°6,7,8,9,10	1766.87 soles	FMX 8X4R	Correctivo	2020	MM	MAN.MEC
50152649	Suspensión	Cambio de perno centro muelle	1117.13 soles	FMX 8X4R	Correctivo	2020	MM	MAN.MEC
50151443	Suspensión	Cambio de abrazadera muelle	1126.36 soles	FMX 8X4R	Correctivo	2020	MM	MAN.MEC

50149783	Suspensión	Cambio de perno centro de muelle Cambio de abrazaderas de muelle Cambio hoja 06,07,08 y 09 de muelle Cambio de bocinas de muelle	4368.33 soles	FMX 8X4R	Correctivo	2020	MM	MAN.MEC
50161456	Suspensión	Cambio de hoja 03 de muelle	747.37 soles	FMX 8X4R	Correctivo	2020	MM	MAN.MEC
50159274	Suspensión	Cambio de abrazadera de muelle	1144.25 soles	FMX 8X4R	Correctivo	2020	MM	MAN.MEC
50161447	Suspensión	Cambio de hoja 04 y 08 de muelle Cambio de abrazadera de muelle Cambio de grillete de muelle Cambio de perno centro de muelle Cambio de resortes progresivos	6108.04 soles	FMX 8X4R	Correctivo	2020	MM	MAN.MEC
50159664	Suspensión	Cambio de perno centro de muelle	1380.78 soles	FMX 8X4R	Correctivo	2020	MM	MAN.MEC
50150009	Suspensión	Cambio de perno centro/cambio de hojas de muelle	1375.04 soles	FMX 8X4R	Correctivo	2020	MM	MAN.MEC
50161427	Suspensión	Cambio de abrazadera y perno centro	1499.71 soles	FMX 8X4R	Correctivo	2020	MM	MAN.MEC
50160255	Suspensión	Cambio de abrazadera y hojas de muelle	1687.39 soles	FMX 8X4R	Correctivo	2020	MM	MAN.MEC
50152487	Suspensión	Cambio de muelle hojas madre posterior	1740.89 soles	FMX 8X4R	Correctivo	2020	MM	MAN.MEC
50160776	Suspensión	Cambio de hojas de paquete de muelle	2131.88 soles	FMX 8X4R	Correctivo	2020	MM	MAN.MEC
50160389	Suspensión	Cambio de hojas de paquete de muelle	2131.88 soles	FMX 8X4R	Correctivo	2020	MM	MAN.MEC
50159341	Suspensión	Cambio de hoja muelle n° 3 eje RH	3002.60 soles	FMX 8X4R	Correctivo	2020	MM	MAN.MEC
50154184	Suspensión	Cambio de hojas de paquete de muelle	3057.93 soles	FMX 8X4R	Correctivo	2020	MM	MAN.MEC
50152673	Suspensión	Cambio de hojas de paquete de muelle	2865.89 soles	FMX 8X4R	Correctivo	2020	MM	MAN.MEC

50152646	Suspensión	Cambio de hojas de paquete de muelle	4909.50 soles	FMX 8X4R	Correctivo	2020	MM	MAN.MEC
50148038	Suspensión	Cambio de muelles RH - LH	7480.63 soles	FMX 8X4R	Correctivo	2020	MM	MAN.MEC
50153247	Suspensión	Cambio de muelles RH - LH	7873.63 soles	FMX 8X4R	Correctivo	2020	MM	MAN.MEC
50152126	Suspensión	Cambio de muelles RH - LH	7873.63 soles	FMX 8X4R	Correctivo	2020	MM	MAN.MEC
50158456	Suspensión	Cambio de muelles RH - LH	7873.63 soles	FMX 8X4R	Correctivo	2020	MM	MAN.MEC
50156226	Suspensión	Cambio de muelles RH - LH	7480.61 soles	FMX 8X4R	Correctivo	2020	MM	MAN.MEC

Fuente: Información recuperada del área de mantenimiento de equipos móviles.

Anexo 6

Tasa de ingreso de volquetes por intervención en el muelle de suspensión posterior

Tasa de ingreso de volquetes por intervenciones de mantenimiento							
Expresión: $125 + 36 * \text{BETA}(1.16, 2.12)$							
Ordinal	Tiempo entre llegada por intervenciones correctivas	Ordinal	Tiempo entre llegada por intervenciones correctivas	Ordinal	Tiempo entre llegada por intervenciones correctivas	Ordinal	Tiempo entre llegada por intervenciones correctivas
1	129.4 Horas	14	136.2 Horas	27	148.4 Horas	40	131.2 Horas
2	142.9 Horas	15	131.3 Horas	28	141.3 Horas	41	129.3 Horas
3	128 Horas	16	134.2 Horas	29	127.6 Horas	42	135.4 Horas
4	140.6 Horas	17	129.8 Horas	30	153 Horas	43	144.1 Horas
5	149.9 Horas	18	125.1 Horas	31	142 Horas	44	131.6 Horas
6	152.4 Horas	19	130 Horas	32	132.3 Horas	45	139.5 Horas
7	139.8 Horas	20	131.4 Horas	33	137.4 Horas	46	143.5 Horas
8	160.8 Horas	21	133 Horas	34	142.3 Horas	47	135.5 Horas
9	145 Horas	22	141.7 Horas	35	125.9 Horas	48	127.7 Horas

10	132.1 Horas	23	134.3 Horas	36	128.1 Horas	49	139.9 Horas
11	128.2 Horas	24	144 Horas	37	141.8 Horas	50	135.4 Horas
12	147.3 Horas	25	130.7 Horas	38	143 Horas	51	128.7 Horas
13	135.8 Horas	26	147.3 Horas	39	134.8 Horas	52	156 Horas
						53	144.3 Horas

Nota: Elaboración propia. Información recuperada del área de mantenimiento de equipos móviles.

Anexo 7

Tiempo de diagnóstico por intervención correctiva en el muelle posterior

Tiempo de diagnóstico de falla de volquetes por intervenciones correctivas en el muelle del sistema de suspensión posterior							
Expresión: $0.999 + 0.551 * \text{BETA}(1.06, 1.22)$							
Ordinal	Diagnóstico de falla por intervención correctiva	Ordinal	Diagnóstico de falla por intervención correctiva	Ordinal	Diagnóstico de falla por intervención correctiva	Ordinal	Diagnóstico de falla por intervención correctiva
1	1.48 Horas	14	1.38 Horas	27	1.02 Horas	40	1.09 Horas
2	1.36 Horas	15	1.02 Horas	28	1.43 Horas	41	1.22 Horas
3	1.2 Horas	16	1.33 Horas	29	1.34 Horas	42	1.27 Horas
4	1.16 Horas	17	1.1 Horas	30	1.5 Horas	43	1.25 Horas
5	1.18 Horas	18	1.05 Horas	31	1.31 Horas	44	1.46 Horas
6	1.49 Horas	19	1.44 Horas	32	1.37 Horas	45	1 Horas
7	1.21 Horas	20	1.35 Horas	33	1.43 Horas	46	1.19 Horas
8	1.36 Horas	21	1.37 Horas	34	1.29 Horas	47	1.47 Horas
9	1.1 Horas	22	1.06 Horas	35	1.44 Horas	48	1.05 Horas
10	1.37 Horas	23	1.27 Horas	36	1.36 Horas	49	1.01 Horas
11	1.15 Horas	24	1.01 Horas	37	1.19 Horas	50	1.4 Horas
12	1.03 Horas	25	1.33 Horas	38	1.14 Horas	51	1.33 Horas
13	1.1 Horas	26	1.22 Horas	39	1.28 Horas	52	1.14 Horas
						53	1.43 Horas

Nota: Elaboración propia. Información recuperada del área de mantenimiento de equipos móviles.

Anexo 8*Tiempo de desarme por intervención correctiva en el muelle posterior*

Tiempo de desarme de repuestos por intervenciones correctivas en el muelle del sistema de suspensión posterior

Expresión: $2 + \text{LOGN}(9.18, 3.01e+03)$

Ordinal	Tiempo de desarme						
1	2 Horas	14	3 Horas	27	2 Horas	40	3 Horas
2	2.5 Horas	15	2 Horas	28	3 Horas	41	2 Horas
3	3 Horas	16	2 Horas	29	2 Horas	42	2 Horas
4	3 Horas	17	2 Horas	30	2 Horas	43	3 Horas
5	2 Horas	18	2 Horas	31	2 Horas	44	2 Horas
6	2 Horas	19	3.1 Horas	32	2 Horas	45	3 Horas
7	3.5 Horas	20	3 Horas	33	2 Horas	46	3 Horas
8	2 Horas	21	3 Horas	34	3 Horas	47	3 Horas
9	2 Horas	22	2.3 Horas	35	2 Horas	48	2 Horas
10	2 Horas	23	3 Horas	36	2.5 Horas	49	2.5 Horas
11	2 Horas	24	3 Horas	37	2 Horas	50	3 Horas
12	3 Horas	25	2 Horas	38	2.8 Horas	51	3 Horas
13	3 Horas	26	2 Horas	39	2 Horas	52	2 Horas
						53	3 Horas

Nota: Elaboración propia. Información recuperada del área de mantenimiento de equipos móviles.

Anexo 9*Tiempo de transporte del volquete en préstamo con el repuesto de muelle posterior*

Tiempo de transporte gdel volquete en préstamo con el repuesto de muelle de suspensión							
Expresión: $9.5 + 3 * \text{BETA}(1.08, 1.19)$							
Ordinal	Tiempo de transporte	Ordinal	Tiempo de transporte	Ordinal	Tiempo de transporte	Ordinal	Tiempo de transporte
1	10 Horas	14	10 Horas	27	12 Horas	40	11 Horas
2	12 Horas	15	10 Horas	28	12 Horas	41	12 Horas
3	11 Horas	16	11 Horas	29	10 Horas	42	12 Horas
4	11 Horas	17	11 Horas	30	11 Horas	43	11 Horas
5	11 Horas	18	12 Horas	31	11 Horas	44	12 Horas
6	12 Horas	19	10 Horas	32	12 Horas	45	12 Horas
7	10 Horas	20	11 Horas	33	11 Horas	46	12 Horas
8	10 Horas	21	10 Horas	34	11 Horas	47	10 Horas
9	11 Horas	22	10 Horas	35	12 Horas	48	12 Horas
10	10 Horas	23	10 Horas	36	12 Horas	49	10 Horas
11	10 Horas	24	10 Horas	37	11 Horas	50	10 Horas
12	12 Horas	25	10 Horas	38	10 Horas	51	10 Horas
13	10 Horas	26	11 Horas	39	12 Horas	52	11 Horas
						53	11 Horas

Nota: Elaboración propia. Información recuperada del área de mantenimiento de equipos móviles.

Anexo 10*Tiempo de mantenimiento correctivo del muelle de suspensión posterior*

Tiempo de mantenimiento correctivo							
Expresión: $4 + \text{ERLA}(0.464, 3)$							
Ordinal	Tiempo de mantenimiento correctivo	Ordinal	Tiempo de mantenimiento correctivo	Ordinal	Tiempo de mantenimiento correctivo	Ordinal	Tiempo de mantenimiento correctivo
1	5.3 Horas	14	5.3 Horas	27	5.7 Horas	40	5.26 Horas
2	5.52 Horas	15	4.81 Horas	28	5.66 Horas	41	6.97 Horas
3	4.58 Horas	16	4.96 Horas	29	6.28 Horas	42	4.13 Horas
4	5.15 Horas	17	4.2 Horas	30	5.22 Horas	43	6.65 Horas
5	6.44 Horas	18	5.29 Horas	31	5.93 Horas	44	5.12 Horas
6	4.45 Horas	19	4.48 Horas	32	5.23 Horas	45	5.74 Horas
7	5.07 Horas	20	6.27 Horas	33	5.15 Horas	46	5.2 Horas
8	4.55 Horas	21	5.3 Horas	34	6.37 Horas	47	6.59 Horas
9	5.69 Horas	22	4.86 Horas	35	6.28 Horas	48	5.48 Horas
10	4.51 Horas	23	6.72 Horas	36	6.34 Horas	49	4.99 Horas
11	5.71 Horas	24	5.82 Horas	37	4.76 Horas	50	6.9 Horas
12	4.55 Horas	25	4.55 Horas	38	5.99 Horas	51	4.98 Horas
13	4.34 Horas	26	4.55 Horas	39	4.69 Horas	52	6 Horas
						53	5.21 Horas

Nota: Elaboración propia. Información recuperada del área de mantenimiento de equipos móviles.

Anexo 11

Tiempo de mantenimiento preventivo del muelle de suspensión posterior

Tiempo de mantenimiento preventivo							
Expresión: $2.35 + 1.65 * \text{BETA}(1.24, 1.03)$							
Ordinal	Tiempo de mantenimiento preventivo	Ordinal	Tiempo de mantenimiento preventivo	Ordinal	Tiempo de mantenimiento preventivo	Ordinal	Tiempo de mantenimiento preventivo
1	3.91 Horas	14	3.5 Horas	28	3.8 Horas	42	3.16 Horas
2	2.87 Horas	15	4 Horas	29	3.8 Horas	43	3.21 Horas
3	3.69 Horas	16	2.79 Horas	30	3.33 Horas	44	3.92 Horas
4	3.17 Horas	17	2.71 Horas	31	2.65 Horas	45	2.86 Horas
5	3.04 Horas	18	3.87 Horas	32	3.41 Horas	46	3.48 Horas
6	3.71 Horas	19	3.35 Horas	33	3.89 Horas	47	2.89 Horas
7	2.87 Horas	20	3.54 Horas	34	2.98 Horas	48	2.65 Horas
8	2.62 Horas	21	2.82 Horas	35	3.02 Horas	49	3.32 Horas
9	3.17 Horas	22	2.79 Horas	36	3.75 Horas	50	2.71 Horas
10	3.84 Horas	23	3.03 Horas	37	2.71 Horas	51	3.96 Horas
11	3.86 Horas	24	3.06 Horas	38	2.68 Horas	52	3.69 Horas
12	2.93 Horas	25	2.5 Horas	39	3.31 Horas	53	2.8 Horas
13	3.47 Horas	26	3.36 Horas	40	2.75 Horas	54	3.94 Horas
		27	2.64 Horas	41	3.45 Horas	55	3.62 Horas

Nota: Elaboración propia. Información recuperada del área de mantenimiento de equipos móviles.

Anexo 12

Resultados de simulación por el conteo de correctivos y preventivos cada 2400 horas de mantenimiento

ARENA Simulation Results

Project: Unnamed Project Run execution date :12/11/2021
 Analyst: PC Model revision date:12/11/2021
 Replication ended at time : 7300.0 Hours
 Base Time Units: Hours

<p style="text-align: center;">Summary for Replication 1 of 10</p> <table border="0" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Identifier</th> <th colspan="2" style="text-align: center;">COUNTERS</th> </tr> <tr> <th></th> <th style="text-align: center;">Count</th> <th style="text-align: center;">Limit</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CONTAR TOTAL PREVENTIVOS</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">Infinite</td> </tr> <tr> <td>CONTAR TOTAL CORRECTIVOS</td> <td style="text-align: center;">54</td> <td style="text-align: center;">Infinite</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">Summary for Replication 2 of 10</p> <table border="0" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Identifier</th> <th colspan="2" style="text-align: center;">COUNTERS</th> </tr> <tr> <th></th> <th style="text-align: center;">Count</th> <th style="text-align: center;">Limit</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CONTAR TOTAL PREVENTIVOS</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">Infinite</td> </tr> <tr> <td>CONTAR TOTAL CORRECTIVOS</td> <td style="text-align: center;">53</td> <td style="text-align: center;">Infinite</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">Summary for Replication 3 of 10</p> <table border="0" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Identifier</th> <th colspan="2" style="text-align: center;">COUNTERS</th> </tr> <tr> <th></th> <th style="text-align: center;">Count</th> <th style="text-align: center;">Limit</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CONTAR TOTAL PREVENTIVOS</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">Infinite</td> </tr> <tr> <td>CONTAR TOTAL CORRECTIVOS</td> <td style="text-align: center;">53</td> <td style="text-align: center;">Infinite</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">Summary for Replication 4 of 10</p> <table border="0" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Identifier</th> <th colspan="2" style="text-align: center;">COUNTERS</th> </tr> <tr> <th></th> <th style="text-align: center;">Count</th> <th style="text-align: center;">Limit</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CONTAR TOTAL PREVENTIVOS</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">Infinite</td> </tr> <tr> <td>CONTAR TOTAL CORRECTIVOS</td> <td style="text-align: center;">54</td> <td style="text-align: center;">Infinite</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">Summary for Replication 5 of 10</p> <table border="0" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Identifier</th> <th colspan="2" style="text-align: center;">COUNTERS</th> </tr> <tr> <th></th> <th style="text-align: center;">Count</th> <th style="text-align: center;">Limit</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CONTAR TOTAL PREVENTIVOS</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">Infinite</td> </tr> <tr> <td>CONTAR TOTAL CORRECTIVOS</td> <td style="text-align: center;">54</td> <td style="text-align: center;">Infinite</td> </tr> </tbody> </table>	Identifier	COUNTERS			Count	Limit	CONTAR TOTAL PREVENTIVOS	0	Infinite	CONTAR TOTAL CORRECTIVOS	54	Infinite	Identifier	COUNTERS			Count	Limit	CONTAR TOTAL PREVENTIVOS	0	Infinite	CONTAR TOTAL CORRECTIVOS	53	Infinite	Identifier	COUNTERS			Count	Limit	CONTAR TOTAL PREVENTIVOS	0	Infinite	CONTAR TOTAL CORRECTIVOS	53	Infinite	Identifier	COUNTERS			Count	Limit	CONTAR TOTAL PREVENTIVOS	0	Infinite	CONTAR TOTAL CORRECTIVOS	54	Infinite	Identifier	COUNTERS			Count	Limit	CONTAR TOTAL PREVENTIVOS	0	Infinite	CONTAR TOTAL CORRECTIVOS	54	Infinite	<p style="text-align: center;">Summary for Replication 6 of 10</p> <table border="0" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Identifier</th> <th colspan="2" style="text-align: center;">COUNTERS</th> </tr> <tr> <th></th> <th style="text-align: center;">Count</th> <th style="text-align: center;">Limit</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CONTAR TOTAL PREVENTIVOS</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">Infinite</td> </tr> <tr> <td>CONTAR TOTAL CORRECTIVOS</td> <td style="text-align: center;">53</td> <td style="text-align: center;">Infinite</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">Summary for Replication 7 of 10</p> <table border="0" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Identifier</th> <th colspan="2" style="text-align: center;">COUNTERS</th> </tr> <tr> <th></th> <th style="text-align: center;">Count</th> <th style="text-align: center;">Limit</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CONTAR TOTAL PREVENTIVOS</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">Infinite</td> </tr> <tr> <td>CONTAR TOTAL CORRECTIVOS</td> <td style="text-align: center;">54</td> <td style="text-align: center;">Infinite</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">Summary for Replication 8 of 10</p> <table border="0" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Identifier</th> <th colspan="2" style="text-align: center;">COUNTERS</th> </tr> <tr> <th></th> <th style="text-align: center;">Count</th> <th style="text-align: center;">Limit</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CONTAR TOTAL PREVENTIVOS</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">Infinite</td> </tr> <tr> <td>CONTAR TOTAL CORRECTIVOS</td> <td style="text-align: center;">53</td> <td style="text-align: center;">Infinite</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">Summary for Replication 9 of 10</p> <table border="0" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Identifier</th> <th colspan="2" style="text-align: center;">COUNTERS</th> </tr> <tr> <th></th> <th style="text-align: center;">Count</th> <th style="text-align: center;">Limit</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CONTAR TOTAL PREVENTIVOS</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">Infinite</td> </tr> <tr> <td>CONTAR TOTAL CORRECTIVOS</td> <td style="text-align: center;">53</td> <td style="text-align: center;">Infinite</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">Summary for Replication 10 of 10</p> <table border="0" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Identifier</th> <th colspan="2" style="text-align: center;">COUNTERS</th> </tr> <tr> <th></th> <th style="text-align: center;">Count</th> <th style="text-align: center;">Limit</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CONTAR TOTAL PREVENTIVOS</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">Infinite</td> </tr> <tr> <td>CONTAR TOTAL CORRECTIVOS</td> <td style="text-align: center;">53</td> <td style="text-align: center;">Infinite</td> </tr> </tbody> </table>	Identifier	COUNTERS			Count	Limit	CONTAR TOTAL PREVENTIVOS	0	Infinite	CONTAR TOTAL CORRECTIVOS	53	Infinite	Identifier	COUNTERS			Count	Limit	CONTAR TOTAL PREVENTIVOS	0	Infinite	CONTAR TOTAL CORRECTIVOS	54	Infinite	Identifier	COUNTERS			Count	Limit	CONTAR TOTAL PREVENTIVOS	0	Infinite	CONTAR TOTAL CORRECTIVOS	53	Infinite	Identifier	COUNTERS			Count	Limit	CONTAR TOTAL PREVENTIVOS	0	Infinite	CONTAR TOTAL CORRECTIVOS	53	Infinite	Identifier	COUNTERS			Count	Limit	CONTAR TOTAL PREVENTIVOS	0	Infinite	CONTAR TOTAL CORRECTIVOS	53	Infinite
Identifier	COUNTERS																																																																																																																								
	Count	Limit																																																																																																																							
CONTAR TOTAL PREVENTIVOS	0	Infinite																																																																																																																							
CONTAR TOTAL CORRECTIVOS	54	Infinite																																																																																																																							
Identifier	COUNTERS																																																																																																																								
	Count	Limit																																																																																																																							
CONTAR TOTAL PREVENTIVOS	0	Infinite																																																																																																																							
CONTAR TOTAL CORRECTIVOS	53	Infinite																																																																																																																							
Identifier	COUNTERS																																																																																																																								
	Count	Limit																																																																																																																							
CONTAR TOTAL PREVENTIVOS	0	Infinite																																																																																																																							
CONTAR TOTAL CORRECTIVOS	53	Infinite																																																																																																																							
Identifier	COUNTERS																																																																																																																								
	Count	Limit																																																																																																																							
CONTAR TOTAL PREVENTIVOS	0	Infinite																																																																																																																							
CONTAR TOTAL CORRECTIVOS	54	Infinite																																																																																																																							
Identifier	COUNTERS																																																																																																																								
	Count	Limit																																																																																																																							
CONTAR TOTAL PREVENTIVOS	0	Infinite																																																																																																																							
CONTAR TOTAL CORRECTIVOS	54	Infinite																																																																																																																							
Identifier	COUNTERS																																																																																																																								
	Count	Limit																																																																																																																							
CONTAR TOTAL PREVENTIVOS	0	Infinite																																																																																																																							
CONTAR TOTAL CORRECTIVOS	53	Infinite																																																																																																																							
Identifier	COUNTERS																																																																																																																								
	Count	Limit																																																																																																																							
CONTAR TOTAL PREVENTIVOS	0	Infinite																																																																																																																							
CONTAR TOTAL CORRECTIVOS	54	Infinite																																																																																																																							
Identifier	COUNTERS																																																																																																																								
	Count	Limit																																																																																																																							
CONTAR TOTAL PREVENTIVOS	0	Infinite																																																																																																																							
CONTAR TOTAL CORRECTIVOS	53	Infinite																																																																																																																							
Identifier	COUNTERS																																																																																																																								
	Count	Limit																																																																																																																							
CONTAR TOTAL PREVENTIVOS	0	Infinite																																																																																																																							
CONTAR TOTAL CORRECTIVOS	53	Infinite																																																																																																																							
Identifier	COUNTERS																																																																																																																								
	Count	Limit																																																																																																																							
CONTAR TOTAL PREVENTIVOS	0	Infinite																																																																																																																							
CONTAR TOTAL CORRECTIVOS	53	Infinite																																																																																																																							

Nota: Elaboración propia.

Anexo 13

Resultados de simulación de tiempo de intervenciones correctivos y preventivos cada 2400 horas de mantenimiento

ARENA Simulation Results						Summary for Replication 4 of 10					
Summary for Replication 1 of 10						Summary for Replication 5 of 10					
Project: Unases Project						Run execution date: 11/11/2021					
Analysis: PC						Model revision date: 11/11/2021					
Replication ended at time: 1:7000.0 hours											
Base Time Units: Hours											
Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations	Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations
VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.VaTime	--	--	--	--	0	VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.VaTime	22.513	(Insuf)	17.316	151.75	54
VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.WaTime	--	--	--	--	0	VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.WaTime	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	54
VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.WaitTime	--	--	--	--	0	VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.WaitTime	.23850	(Insuf)	.00000	11.764	54
VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.TranTime	--	--	--	--	0	VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.TranTime	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	54
VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.OtherTime	--	--	--	--	0	VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.OtherTime	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	54
VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.TotalTime	--	--	--	--	0	VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.TotalTime	22.751	(Insuf)	17.316	152.85	54
VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.VaTime	21.678	(Insuf)	17.459	94.777	54	Summary for Replication 6 of 10					
VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.WaTime	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	54	Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations
VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.WaitTime	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	54	VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.VaTime	--	--	--	--	0
VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.TranTime	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	54	VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.WaTime	--	--	--	--	0
VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.OtherTime	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	54	VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.WaitTime	--	--	--	--	0
VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.TotalTime	21.678	(Insuf)	17.459	94.777	54	VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.TranTime	--	--	--	--	0
Summary for Replication 2 of 10						VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.OtherTime	--	--	--	--	0
TALLY VARIABLES						VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.TotalTime	--	--	--	--	0
Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations	VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.VaTime	20.483	(Insuf)	17.681	47.392	54
VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.VaTime	--	--	--	--	0	VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.WaTime	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	54
VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.WaTime	--	--	--	--	0	VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.WaitTime	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	54
VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.WaitTime	--	--	--	--	0	VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.TranTime	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	54
VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.TranTime	--	--	--	--	0	VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.OtherTime	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	54
VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.OtherTime	--	--	--	--	0	VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.TotalTime	20.483	(Insuf)	17.681	47.392	54
VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.TotalTime	--	--	--	--	0	Summary for Replication 8 of 10					
VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.VaTime	25.457	(Insuf)	17.688	231.18	53	Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations
VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.WaTime	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	53	VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.VaTime	--	--	--	--	0
VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.WaitTime	1.8822	(Insuf)	.00000	88.643	53	VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.WaTime	--	--	--	--	0
VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.TranTime	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	53	VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.WaitTime	--	--	--	--	0
VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.OtherTime	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	53	VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.TranTime	--	--	--	--	0
VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.TotalTime	27.339	(Insuf)	17.688	242.38	53	VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.OtherTime	--	--	--	--	0
Summary for Replication 3 of 10						VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.TotalTime	--	--	--	--	0
Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations	VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.VaTime	20.389	(Insuf)	17.639	40.312	53
VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.VaTime	--	--	--	--	0	VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.WaTime	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	53
VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.WaTime	--	--	--	--	0	VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.WaitTime	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	53
VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.WaitTime	--	--	--	--	0	VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.TranTime	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	53
VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.TranTime	--	--	--	--	0	VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.OtherTime	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	53
VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.OtherTime	--	--	--	--	0	VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.TotalTime	20.389	(Insuf)	17.639	40.312	53
VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.TotalTime	--	--	--	--	0	Summary for Replication 10 of 10					
VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.VaTime	22.697	(Insuf)	17.369	70.296	53	Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observation
VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.WaTime	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	53	VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.VaTime	--	--	--	--	0
VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.WaitTime	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	53	VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.WaTime	--	--	--	--	0
VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.TranTime	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	53	VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.WaitTime	--	--	--	--	0
VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.OtherTime	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	53	VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.TranTime	--	--	--	--	0
VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.TotalTime	22.697	(Insuf)	17.369	70.296	53	VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.OtherTime	--	--	--	--	0
Summary for Replication 7 of 10						VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.TotalTime	--	--	--	--	0
Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observator	VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.VaTime	22.947	(Insuf)	17.786	89.361	54
VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.VaTime	--	--	--	--	0	VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.WaTime	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	54
VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.WaTime	--	--	--	--	0	VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.WaitTime	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	54
VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.WaitTime	--	--	--	--	0	VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.TranTime	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	54
VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.TranTime	--	--	--	--	0	VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.OtherTime	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	54
VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.OtherTime	--	--	--	--	0	VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.TotalTime	22.947	(Insuf)	17.786	89.361	54
VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.TotalTime	--	--	--	--	0	Summary for Replication 9 of 10					
VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.VaTime	22.691	(Insuf)	17.059	241.00	53	Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observation
VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.WaTime	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	53	VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.VaTime	--	--	--	--	0
VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.WaitTime	2.2834	(Insuf)	.00000	108.17	53	VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.WaTime	--	--	--	--	0
VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.TranTime	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	53	VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.WaitTime	--	--	--	--	0
VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.OtherTime	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	53	VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.TranTime	--	--	--	--	0
VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.TotalTime	22.974	(Insuf)	17.283	250.53	53	VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.OtherTime	--	--	--	--	0

Nota: Elaboración propia.

Anexo 14

Resultados de simulación por el conteo de correctivos y preventivos cada 2000 horas de mantenimiento

ARENA Simulation Results

Project: Unnamed Project
Analyst: PC

Run execution date :12/11/2021
Model revision date:12/11/2021

Replication ended at time : 7300.0 Hours
Base Time Units: Hours

Summary for Replication 1 of 10
COUNTERS

Identifier	Count	Limit
CONTAR TOTAL PREVENTIVOS	49	Infinite
CONTAR TOTAL CORRECTIVOS	4	Infinite

Summary for Replication 2 of 10
COUNTERS

Identifier	Count	Limit
CONTAR TOTAL PREVENTIVOS	48	Infinite
CONTAR TOTAL CORRECTIVOS	5	Infinite

Summary for Replication 3 of 10
COUNTERS

Identifier	Count	Limit
CONTAR TOTAL PREVENTIVOS	48	Infinite
CONTAR TOTAL CORRECTIVOS	6	Infinite

Summary for Replication 4 of 10
COUNTERS

Identifier	Count	Limit
CONTAR TOTAL PREVENTIVOS	52	Infinite
CONTAR TOTAL CORRECTIVOS	2	Infinite

Summary for Replication 5 of 10
COUNTERS

Identifier	Count	Limit
CONTAR TOTAL PREVENTIVOS	48	Infinite
CONTAR TOTAL CORRECTIVOS	5	Infinite

Summary for Replication 6 of 10
COUNTERS

Identifier	Count	Limit
CONTAR TOTAL PREVENTIVOS	53	Infinite
CONTAR TOTAL CORRECTIVOS	1	Infinite

Summary for Replication 7 of 10
COUNTERS

Identifier	Count	Limit
CONTAR TOTAL PREVENTIVOS	49	Infinite
CONTAR TOTAL CORRECTIVOS	5	Infinite

Summary for Replication 8 of 10
COUNTERS

Identifier	Count	Limit
CONTAR TOTAL PREVENTIVOS	48	Infinite
CONTAR TOTAL CORRECTIVOS	6	Infinite

Summary for Replication 9 of 10
COUNTERS

Identifier	Count	Limit
CONTAR TOTAL PREVENTIVOS	49	Infinite
CONTAR TOTAL CORRECTIVOS	5	Infinite

Summary for Replication 10 of 10
COUNTERS

Identifier	Count	Limit
CONTAR TOTAL PREVENTIVOS	48	Infinite
CONTAR TOTAL CORRECTIVOS	5	Infinite

Nota: Elaboración propia.

Anexo 15

Resultados de simulación de tiempo de intervenciones correctivos y preventivos cada 2000 horas de mantenimiento

ARMA Simulation Results				Summary for Replication 4 of 18							
Summary for Replication 1 of 18				Summary for Replication 8 of 18							
Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations	Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations
Project: Unnamed Project				Run execution date: 12/11/2021							
Analyst: PC				Model revision date: 12/11/2021							
Replication ended at time: 7366.8 hours											
Base Time Units: Hours											
Summary for Replication 1 of 18				Summary for Replication 8 of 18							
Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations	Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations
VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.VaTime	3.2733	[Insuf]	2.3797	3.9983	49	VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.VaTime	3.3818	[Insuf]	2.3788	3.9768	48
VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.WaTime	.00000	[Insuf]	.00000	.00000	49	VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.WaTime	.00000	[Insuf]	.00000	.00000	48
VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.WaitTime	.00000	[Insuf]	.00000	.00000	49	VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.WaitTime	.00000	[Insuf]	.00000	.00000	48
VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.TransTime	.00000	[Insuf]	.00000	.00000	49	VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.TransTime	.00000	[Insuf]	.00000	.00000	48
VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.OtherTime	.00000	[Insuf]	.00000	.00000	49	VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.OtherTime	.00000	[Insuf]	.00000	.00000	48
VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.TotalTime	3.2733	[Insuf]	2.3797	3.9983	49	VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.TotalTime	3.3818	[Insuf]	2.3788	3.9768	48
VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.VaTime	42.008	[Insuf]	18.704	185.12	4	VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.VaTime	19.481	[Insuf]	18.518	28.189	6
VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.WaTime	.00000	[Insuf]	.00000	.00000	4	VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.WaTime	.00000	[Insuf]	.00000	.00000	6
VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.WaitTime	.00000	[Insuf]	.00000	.00000	4	VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.WaitTime	.00000	[Insuf]	.00000	.00000	6
VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.TransTime	.00000	[Insuf]	.00000	.00000	4	VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.TransTime	.00000	[Insuf]	.00000	.00000	6
VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.OtherTime	.00000	[Insuf]	.00000	.00000	4	VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.OtherTime	.00000	[Insuf]	.00000	.00000	6
VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.TotalTime	42.008	[Insuf]	18.704	185.12	4	VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.TotalTime	19.481	[Insuf]	18.518	28.189	6
Summary for Replication 2 of 18				Summary for Replication 9 of 18							
Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations	Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations
VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.VaTime	3.2517	[Insuf]	2.3891	3.9595	48	VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.VaTime	3.2489	[Insuf]	2.3643	3.9774	48
VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.WaTime	.00000	[Insuf]	.00000	.00000	48	VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.WaTime	.00000	[Insuf]	.00000	.00000	49
VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.WaitTime	.00000	[Insuf]	.00000	.00000	48	VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.WaitTime	.00000	[Insuf]	.00000	.00000	49
VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.TransTime	.00000	[Insuf]	.00000	.00000	48	VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.TransTime	.00000	[Insuf]	.00000	.00000	49
VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.OtherTime	.00000	[Insuf]	.00000	.00000	48	VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.OtherTime	.00000	[Insuf]	.00000	.00000	49
VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.TotalTime	3.2517	[Insuf]	2.3891	3.9595	48	VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.TotalTime	3.2489	[Insuf]	2.3643	3.9774	48
VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.VaTime	21.285	[Insuf]	19.688	22.166	5	VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.VaTime	21.517	[Insuf]	19.451	24.289	5
VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.WaTime	.00000	[Insuf]	.00000	.00000	5	VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.WaTime	.00000	[Insuf]	.00000	.00000	5
VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.WaitTime	.00000	[Insuf]	.00000	.00000	5	VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.WaitTime	.00000	[Insuf]	.00000	.00000	5
VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.TransTime	.00000	[Insuf]	.00000	.00000	5	VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.TransTime	.00000	[Insuf]	.00000	.00000	5
VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.OtherTime	.00000	[Insuf]	.00000	.00000	5	VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.OtherTime	.00000	[Insuf]	.00000	.00000	5
VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.TotalTime	21.285	[Insuf]	19.688	22.166	5	VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.TotalTime	21.517	[Insuf]	19.451	24.289	5
Summary for Replication 3 of 18				Summary for Replication 6 of 18							
Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations	Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations
VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.VaTime	3.1114	[Insuf]	2.4828	3.9288	48	VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.VaTime	3.3828	[Insuf]	2.4528	3.9782	53
VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.WaTime	.00000	[Insuf]	.00000	.00000	48	VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.WaTime	.00000	[Insuf]	.00000	.00000	53
VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.WaitTime	.00000	[Insuf]	.00000	.00000	48	VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.WaitTime	.00000	[Insuf]	.00000	.00000	53
VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.TransTime	.00000	[Insuf]	.00000	.00000	48	VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.TransTime	.00000	[Insuf]	.00000	.00000	53
VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.OtherTime	.00000	[Insuf]	.00000	.00000	48	VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.OtherTime	.00000	[Insuf]	.00000	.00000	53
VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.TotalTime	3.1114	[Insuf]	2.4828	3.9288	48	VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.TotalTime	3.3828	[Insuf]	2.4528	3.9782	53
VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.VaTime	19.587	[Insuf]	18.226	21.385	6	VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.VaTime	18.386	[Insuf]	18.386	18.386	1
VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.WaTime	.00000	[Insuf]	.00000	.00000	6	VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.WaTime	.00000	[Insuf]	.00000	.00000	1
VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.WaitTime	.00000	[Insuf]	.00000	.00000	6	VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.WaitTime	.00000	[Insuf]	.00000	.00000	1
VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.TransTime	.00000	[Insuf]	.00000	.00000	6	VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.TransTime	.00000	[Insuf]	.00000	.00000	1
VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.OtherTime	.00000	[Insuf]	.00000	.00000	6	VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.OtherTime	.00000	[Insuf]	.00000	.00000	1
VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.TotalTime	19.587	[Insuf]	18.226	21.385	6	VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.TotalTime	18.386	[Insuf]	18.386	18.386	1
Summary for Replication 7 of 18				Summary for Replication 10 of 18							
Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations	Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations
VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.VaTime	3.1961	[Insuf]	2.3731	3.9867	49	VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.VaTime	3.2654	[Insuf]	2.4127	3.9896	48
VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.WaTime	.00000	[Insuf]	.00000	.00000	49	VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.WaTime	.00000	[Insuf]	.00000	.00000	48
VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.WaitTime	.00000	[Insuf]	.00000	.00000	49	VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.WaitTime	.00000	[Insuf]	.00000	.00000	48
VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.TransTime	.00000	[Insuf]	.00000	.00000	49	VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.TransTime	.00000	[Insuf]	.00000	.00000	48
VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.OtherTime	.00000	[Insuf]	.00000	.00000	49	VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.OtherTime	.00000	[Insuf]	.00000	.00000	48
VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.TotalTime	3.1961	[Insuf]	2.3731	3.9867	49	VOLQUETE CON EVENTO PREVENTIVO.TotalTime	3.2654	[Insuf]	2.4127	3.9896	48
VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.VaTime	19.893	[Insuf]	17.581	28.785	5	VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.VaTime	20.132	[Insuf]	18.372	22.513	5
VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.WaTime	.00000	[Insuf]	.00000	.00000	5	VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.WaTime	.00000	[Insuf]	.00000	.00000	5
VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.WaitTime	.00000	[Insuf]	.00000	.00000	5	VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.WaitTime	.00000	[Insuf]	.00000	.00000	5
VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.TransTime	.00000	[Insuf]	.00000	.00000	5	VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.TransTime	.00000	[Insuf]	.00000	.00000	5
VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.OtherTime	.00000	[Insuf]	.00000	.00000	5	VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.OtherTime	.00000	[Insuf]	.00000	.00000	5
VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.TotalTime	19.893	[Insuf]	17.581	28.785	5	VOLQUETE CON EVENTO CORRECTIVO.TotalTime	20.132	[Insuf]	18.372	22.513	5

Nota: Elaboración propia.

Anexo 16*Costo de traslado de volquete de apoyo por intervención correctiva*

Ordinal	Consumo (Galones / Equipo)	Horas de traslado a obra (Horas / Equipo)	Costo consumo petróleo Ida- Vuelta	Costo operador	Viáticos	Total
1	6	10	2160 Soles	400 Soles	220 Soles	2780 Soles
2	6	12	2592 Soles	480 Soles	220 Soles	3292 Soles
3	7	11	2772 Soles	440 Soles	220 Soles	3432 Soles
4	6	11	2376 Soles	440 Soles	220 Soles	3036 Soles
5	7	11	2772 Soles	440 Soles	220 Soles	3432 Soles
6	6	12	2592 Soles	480 Soles	220 Soles	3292 Soles
7	6	10	2160 Soles	400 Soles	220 Soles	2780 Soles
8	7	10	2520 Soles	400 Soles	220 Soles	3140 Soles
9	7	11	2772 Soles	440 Soles	220 Soles	3432 Soles
10	7	10	2520 Soles	400 Soles	220 Soles	3140 Soles
11	6	10	2160 Soles	400 Soles	220 Soles	2780 Soles
12	7	12	3024 Soles	480 Soles	220 Soles	3724 Soles
13	7	10	2520 Soles	400 Soles	220 Soles	3140 Soles
14	6	10	2160 Soles	400 Soles	220 Soles	2780 Soles
15	7	10	2520 Soles	400 Soles	220 Soles	3140 Soles
16	7	11	2772 Soles	440 Soles	220 Soles	3432 Soles
17	7	11	2772 Soles	440 Soles	220 Soles	3432 Soles
18	6	12	2592 Soles	480 Soles	220 Soles	3292 Soles
19	6	10	2160 Soles	400 Soles	220 Soles	2780 Soles
20	7	11	2772 Soles	440 Soles	220 Soles	3432 Soles
21	6	10	2160 Soles	400 Soles	220 Soles	2780 Soles
22	7	10	2520 Soles	400 Soles	220 Soles	3140 Soles
23	6	10	2160 Soles	400 Soles	220 Soles	2780 Soles
24	6	10	2160 Soles	400 Soles	220 Soles	2780 Soles
25	6	10	2160 Soles	400 Soles	220 Soles	2780 Soles
26	7	11	2772 Soles	440 Soles	220 Soles	3432 Soles
27	7	12	3024 Soles	480 Soles	220 Soles	3724 Soles
28	6	12	2592 Soles	480 Soles	220 Soles	3292 Soles
29	7	10	2520 Soles	400 Soles	220 Soles	3140 Soles
30	6	11	2376 Soles	440 Soles	220 Soles	3036 Soles
31	7	11	2772 Soles	440 Soles	220 Soles	3432 Soles
32	6	12	2592 Soles	480 Soles	220 Soles	3292 Soles
33	7	11	2772 Soles	440 Soles	220 Soles	3432 Soles
34	7	11	2772 Soles	440 Soles	220 Soles	3432 Soles
35	6	12	2592 Soles	480 Soles	220 Soles	3292 Soles
36	6	12	2592 Soles	480 Soles	220 Soles	3292 Soles
37	6	11	2376 Soles	440 Soles	220 Soles	3036 Soles
38	7	10	2520 Soles	400 Soles	220 Soles	3140 Soles
39	6	12	2592 Soles	480 Soles	220 Soles	3292 Soles
40	7	11	2772 Soles	440 Soles	220 Soles	3432 Soles
41	6	12	2592 Soles	480 Soles	220 Soles	3292 Soles
42	6	12	2592 Soles	480 Soles	220 Soles	3292 Soles
43	7	11	2772 Soles	440 Soles	220 Soles	3432 Soles

44	6	12	2592 Soles	480 Soles	220 Soles	3292 Soles
45	7	12	3024 Soles	480 Soles	220 Soles	3724 Soles
46	6	12	2592 Soles	480 Soles	220 Soles	3292 Soles
47	6	10	2160 Soles	400 Soles	220 Soles	2780 Soles
48	7	12	3024 Soles	480 Soles	220 Soles	3724 Soles
49	7	10	2520 Soles	400 Soles	220 Soles	3140 Soles
50	7	10	2520 Soles	400 Soles	220 Soles	3140 Soles
51	7	10	2520 Soles	400 Soles	220 Soles	3140 Soles
52	6	11	2376 Soles	440 Soles	220 Soles	3036 Soles
53	6	11	2376 Soles	440 Soles	220 Soles	3036 Soles
Costo Promedio de traslado de volquete de apoyo						3206.87Soles

Nota: Elaboración propia.

Anexo 17

Matriz de puntuación de la probabilidad de ocurrencia de escenarios

Escala de puntuación					
Escala verbal					Escala numérica
Fuertemente menos favorable que el otro elemento					1
Menos favorable que el otro elemento					3
Ligeramente menos favorable que el otro elemento					5
Igualmente favorable que el otro elemento					7
Comparación por pares criterios: número de fallas					
Número de fallas	Escenario Optimista	Escenario Normal	Escenario Pesimista	Total	Prioridad
Escenario optimista	7.00	1.40	2.33	0.79	0.26
Escenario normal	5.00	7.00	1.40	0.99	0.33
Escenario pesimista	3.00	5.00	7.00	1.23	0.41
Total	15.00	13.40	10.73	3.00	1.00
Comparación por pares criterios: aceleración de fallas					
Aceleración de fallas	Escenario Optimista	Escenario Normal	Escenario Pesimista	Total	Prioridad
Escenario optimista	7.00	1.00	1.00	0.99	0.33
Escenario normal	1.00	7.00	0.33	0.79	0.26
Escenario pesimista	1.00	3.00	7.00	1.22	0.41
Total	9.00	11.00	8.33	3.00	1.00
Evaluación de probabilidad de ocurrencia de escenarios					
Escenario optimista					30.47%
Escenario normal					28.72%
Escenario pesimista					40.81%
Total					100.00%

Nota: Elaboración propia.