

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Industrial

Tesis

**Optimización del plan de mantenimiento para reducir
los cortes de neumáticos en equipos operados a
control remoto en compañía minera Condestable S. A.,
2021**

Moises Eduardo Sanchez Castillo
Julio Cesar Larico Machaca

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Industrial

Lima, 2025

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A : Decano de la Facultad de Ingeniería
DE : Jersoon Jesus Lazo Huaynalaya
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 4 de Abril de 2025

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

Título:

Optimización del plan de mantenimiento para reducir los cortes de neumáticos en equipos operados a control remoto en Compañía Minera Condestable S.A. 2021

Autores:

1. Moises Eduardo Sanchez Castillo – EAP. Ingeniería Industrial
2. Julio Cesar Larico Machaca – EAP. Ingeniería Industrial

Se procedió con la carga del documento a la plataforma “Turnitin” y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 19 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores SI NO
Nº de palabras excluidas (10):
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI NO

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

La firma del asesor obra en el archivo original

(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)

DEDICATORIA

A mis padres, hermanas, mi esposa e hijo, quienes con su amor, esfuerzo, sacrificio y ejemplo han sido los pilares en mi vida, que me permitieron ser un hombre de bien y con muchos valores. A mi hermano Moshe y a mis tíos James, Marleni y Serafín por su gran apoyo, afecto, comprensión y ejemplo de superación que inculcaron en mí, sé que en donde se encuentren celebran conmigo este gran logro y crecimiento profesional, un abrazo cálido hasta el cielo y a la distancia.

Moises Eduardo

A mis padres, hermanos, y en especial, a mi esposa e hijas que, gracias a su amor y cariño, fueron mi mayor fortaleza.

A mi madre Ninfa, quien siempre me aconsejó y apoyó, fue quien estuvo presente en todo mi proceso de estudios. A mi padre Florencio, quien me enseñó a nunca rendirme y ser constante hasta lograr mis metas, objetivos y poder realizarme profesionalmente.

Julio Cesar

AGRADECIMIENTOS

A Dios y al señor de Cachuy, por iluminar mis pasos día a día, por cuidarme de las adversidades y permitirme llegar a este momento tan importante de mi vida.

A mis padres y hermanas, quienes han sido el pilar esencial en mi vida, que a través de su amor y valores han marcado mi camino en cada decisión que he tomado.

A mi esposa e hijo, cuyo amor, apoyo y comprensión han sido el motor de este logro, ya que me han dado la fortaleza necesaria para seguir adelante en este arduo camino.

Al Mag. Jersoon Jesus Lazo Huaynalaya, mi asesor de tesis, por su invaluable orientación durante el desarrollo de este trabajo.

Moises Eduardo

A mi familia, por darme todo su apoyo y quererme por sobre todas las cosas.

A mis padres y hermanos, por sus enseñanzas, que fueron mi fortaleza en momentos difíciles,

A mi esposa e hijas, que con su apoyo incondicional estuvieron junto a mí en todo momento.

Sin ustedes todo esto no habría sido posible su amor y sacrificio fueron mi luz que me guio a través de este viaje académico.

Al Mag. Jersoon Jesus Lazo Huaynalaya, su experiencia y guía fueron factores fundamentales para poder alcanzar este logro académico.

Julio Cesar

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Dedicatoria	iv
Agradecimientos.....	v
Índice de contenidos.....	vi
Lista de tablas.....	viii
Lista de figuras.....	x
Resumen.....	xi
Abstract.....	xii
Introducción	xiii
Capítulo I.....	14
Planteamiento del estudio.....	14
1.1. Planteamiento y formulación del problema	14
1.2. Formulación del problema	26
1.2.1. Problema general	26
1.2.2. Problemas específicos.....	26
1.3. Objetivos	26
1.3.1. Objetivo general.....	26
1.3.2. Objetivos específicos	26
1.4. Justificación e importancia.....	27
1.4.1. Seguridad	27
1.4.2. Medio ambiente	27
1.5. Hipótesis y descripción de variables	27
1.5.1. Hipótesis general.....	27
1.5.2. Hipótesis específicas.....	28
1.5.3. Operacionalización de variables	29
Capítulo II	30
Marco teórico	30
2.1. Antecedentes de la investigación	30
2.2. Bases teóricas	36
2.2.1. Mantenimiento.....	36
2.2.2. Plan de mantenimiento.....	36
2.2.2.1. La caracterización de equipos	37
2.2.2.2. Clasificación del mantenimiento.....	37
2.2.2.3. Sistemas o estrategias de mantenimiento	38
2.2.2.4. Dimensiones del plan de mantenimiento	39
2.2.3. Neumáticos	40

2.2.3.1. Empleo de neumáticos	40
2.2.3.2. Funciones de los neumáticos.....	40
2.2.3.3. Componentes fundamentales de los neumáticos.....	41
2.2.3.4. Los cortes en los neumáticos.....	42
Capítulo III.....	43
Metodología	43
3.1. Método, tipo o alcance de la investigación	43
3.1.1. Método.....	43
3.1.2. Alcance de la investigación	44
3.1.3. Tipo de investigación.....	44
3.1.4. Diseño de investigación	45
3.2. Población y muestra	45
3.2.1. Población	45
3.2.2. Muestra	45
3.3. Materiales y métodos	45
Capítulo IV	47
Resultados y discusión	47
4.1. Estado actual del plan de mantenimiento.....	47
4.1.1. Confiabilidad de los neumáticos de los equipos	49
4.1.2. Análisis del indicador de MTBF antes de la implementación	50
4.1.3. Análisis del indicador de MTTR antes de la implementación	57
4.1.4. Análisis del indicador de disponibilidad antes de la implementación	63
4.1.5. Resumen de indicadores de mantenimiento.....	66
4.1.6. Resultados del cuestionario.....	68
4.2. Plan de mantenimiento propuesto	70
4.3. Impacto en los indicadores de disponibilidad del plan de mantenimiento.....	73
4.4. Discusión de resultados.....	81
Conclusiones	83
Referencias	85
Anexos.....	91

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Disponibilidad mecánica 2020.....	17
Tabla 2. Meta hora set – oct 2020.....	18
Tabla 3. Frecuencia de paradas de equipos.....	18
Tabla 4. Disponibilidad de equipos por flota.....	19
Tabla 5. Clasificación de fallas por sistemas	21
Tabla 6. Afectación a la disponibilidad	22
Tabla 7. Causas de cortes de neumáticos.....	23
Tabla 8. Operacionalización de variables	29
Tabla 9. Datos de los Equipos Bajo Perfil	45
Tabla 10. Listado de equipos	47
Tabla 11. Factores de ponderación para el análisis de criticidad.....	47
Tabla 12. Causas y ponderación de factores de criticidad	48
Tabla 13. Cálculo de confiabilidad	49
Tabla 14. Análisis de la confiabilidad de los equipos – 2020.....	50
Tabla 15. Reporte de operación del Scoop-C606 durante el 2020.....	50
Tabla 16. Resumen del indicador MTBF del Scoop-C606 durante el 2020	51
Tabla 17. Reporte de operación del Scoop-C609 durante el 2020.....	51
Tabla 18. Resumen del indicador MTBF del Scoop-C609 durante el 2020	52
Tabla 19. Reporte de operación del Scoop-C624 durante el 2020.....	52
Tabla 20. Resumen del indicador MTBF del Scoop-C624 durante el 2020	52
Tabla 21. Reporte de operación del Scoop-C625 durante el 2020.....	53
Tabla 22. Resumen del indicador MTBF del Scoop-C625 durante el 2020	53
Tabla 23. Reporte de operación del Scoop-C626 durante el 2020.....	54
Tabla 24. Resumen del indicador MTBF del Scoop-C626 durante el 2020	54
Tabla 25. Reporte de operación del Scoop-C627 durante el 2020.....	54
Tabla 26. Resumen del indicador MTBF del Scoop-C27 durante el 2020	55
Tabla 27. Reporte de operación del Scoop-C629 durante el 2020.....	55
Tabla 28. Resumen del indicador MTBF del Scoop-C629 durante el 2020	56
Tabla 29. Reporte de operación del Scoop-C630 durante el 2020.....	56
Tabla 30. Resumen del indicador MTBF del Scoop-C630 durante el 2020	56
Tabla 31. Reporte de fallas del Scoop-C606 durante el 2020.....	57
Tabla 32. Resumen del indicador MTTR del Scoop-C606 durante el 2020.....	57
Tabla 33. Reporte de fallas del Scoop-C609 durante el 2020.....	58
Tabla 34. Resumen del indicador MTTR del Scoop-C609 durante el 2020.....	58
Tabla 35. Reporte de fallas del Scoop-C624 durante el 2020.....	58

Tabla 36. Resumen del indicador MTTR del Scoop-C624 durante el 2020.....	59
Tabla 37. Reporte de fallas del Scoop-C625 durante el 2020.....	59
Tabla 38. Resumen del indicador MTTR del Scoop-C25 durante el 2020.....	60
Tabla 39. Reporte de fallas del Scoop-C626 durante el 2020.....	60
Tabla 40. Resumen del indicador MTTR del Scoop-C626 durante el 2020.....	60
Tabla 41. Reporte de fallas del Scoop-C627 durante el 2020.....	61
Tabla 42. Resumen del indicador MTTR del Scoop-C627 durante el 2020.....	61
Tabla 43. Reporte de fallas del Scoop-C629 durante el 2020.....	62
Tabla 44. Resumen del indicador MTTR del Scoop-C629 durante el 2020.....	62
Tabla 45. Reporte de fallas del Scoop-C630 durante el 2020.....	62
Tabla 46. Resumen del indicador MTTR del Scoop-C630 durante el 2020.....	63
Tabla 47. Disponibilidad del Scoop-C606 durante el 2020	63
Tabla 48. Disponibilidad del Scoop-C609 durante el 2020	64
Tabla 49. Disponibilidad del Scoop-C624 durante el 2020	64
Tabla 50. Disponibilidad del Scoop-C625 durante el 2020	64
Tabla 51. Disponibilidad del Scoop-C626 durante el 2020	65
Tabla 52. Disponibilidad del Scoop-C627 durante el 2020	65
Tabla 53. Disponibilidad del Scoop-C629 durante el 2020	66
Tabla 54. Disponibilidad del Scoop-C630 durante el 2020	66
Tabla 55. Resumen de indicadores de mantenimiento de equipos durante el 2020.....	66
Tabla 56. Resumen de las preguntas formuladas a los trabajadores	68
Tabla 57. Plan de mantenimiento.....	71
Tabla 58. Resumen de indicadores de mantenimiento de equipos durante el 2021	73
Tabla 59. Consumo de accesorios por equipos	75
Tabla 60. Consumo de accesorios (link y argollas) por cadenas	75
Tabla 61. Consumo de accesorios por equipos	76
Tabla 62. Relación de costos y rendimiento de las cadenas operativos.....	76
Tabla 63. Comparativa de rendimiento de las cadenas en los neumáticos de los equipos C-627 y C-609	77
Tabla 64. Consumo de combustible por equipo 2020-2021	78
Tabla 65. Consumo promedio anual de combustible 2020-2021.....	79
Tabla 66. Prueba de normalidad de datos	80
Tabla 67. Estadística descriptiva de la disponibilidad (antes y después).....	80
Tabla 68. Prueba Wilcoxon para muestras emparejadas de la disponibilidad (antes y después)	80

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Disponibilidad mecánica 2020	17
Figura 2. Meta hora 2020.....	18
Figura 3. Frecuencia de paradas 2020.....	19
Figura 4. Disponibilidad por flota de scoop.....	20
Figura 5. Diagrama de Pareto de paradas-fallas	21
Figura 6. Diagrama de Pareto de paradas-fallas	22
Figura 7. Diagrama causa-efecto	23
Figura 8. Control de neumático	24
Figura 9. Partes del neumático.....	25
Figura 10. Gastos de neumáticos	25
Figura 11. Función de soporte de un neumático	40
Figura 12. Función de amortiguación de un neumático	41
Figura 13. Función dirección de un neumático	41
Figura 14. Función de transmisión de un neumático	41
Figura 15. Corte de un neumático en banda de rodado.....	42
Figura 16. Ubicación y acceso de mina Condestable.....	43
Figura 17. Matriz de criticidad.....	49
Figura 18. Curva de distribución Weibull para neumáticos.....	50
Figura 19. Gráfico de MTBF (promedio) de los equipos - 2020	67
Figura 20. Gráfico de MTTR (promedio) de los equipos - 2020	67
Figura 21. Gráfico de disponibilidad (promedio) de los equipos - 2020	68
Figura 22. Plan de mantenimiento de los equipos - 2021	72
Figura 23. Solución de cadenas protectoras en los neumáticos delanteros de los equipos	73
Figura 24. Gráfico de MTBF (promedio) de los equipos - 2021	74
Figura 25. Gráfico de MTTR (promedio) de los equipos - 2021	74
Figura 26. Gráfico de disponibilidad (promedio) de los equipos - 2021	74
Figura 27. Consumo de accesorios – cadenas operativas.....	76
Figura 28. Costo/hora de cadenas de operación.....	77
Figura 29. Consumo de combustible 2020-2021	78
Figura 30. Comparativa de galones en horas 2020 y 2021	79

RESUMEN

El objetivo principal de este trabajo comprendió la optimización del plan de mantenimiento para reducir los cortes de neumáticos en equipos operados a control remoto en la compañía minera Condestable S. A. durante el 2021, cuya incidencia era del 4 % en relación al 17 % del total de causas, lo que ocasionaba una disponibilidad inferior a la métrica esperada del 85 % en los equipos.

En relación con su estructura metodológica, se recurrió al empleo de métodos cuantitativos, involucrando un alcance explicativo y un tipo de estudio aplicado, con base en el análisis experimental para poder diseñar el plan de mantenimiento sobre una muestra representativa de ocho equipos *Scoop* de bajo perfil R1600G/R1600H.

Durante las fases de desarrollo, se llevó a cabo el diagnóstico situacional del plan de mantenimiento y se diseñó un nuevo plan que incorporó enfoques preventivos, predictivos y correctivos. Se introdujeron tecnologías de monitoreo avanzadas, programas de capacitación para operadores y se gestionó adecuadamente el inventario de repuestos y accesorios, incluyendo cadenas protectoras para neumáticos.

Los resultados reflejaron un aumento significativo en la disponibilidad de los equipos, pasando de un 83 % a un 87,3 %. Esto se tradujo en una reducción drástica de los cortes de neumáticos y una mejora general en la eficiencia operativa de la compañía minera. Además, se logró un ahorro sustancial en costos de mantenimiento y una mayor seguridad para los operadores.

En conclusión, la implementación exitosa del plan de mantenimiento optimizado demostró ser una estrategia efectiva para abordar el problema de los cortes de neumáticos en equipos operados a control remoto en la industria minera. Este enfoque integral ha proporcionado beneficios significativos en términos de disponibilidad, eficiencia y seguridad, contribuyendo al éxito de la compañía minera Condestable S. A.

Palabra claves: cortes de neumáticos, disponibilidad, plan de mantenimiento, *Scooptram*

ABSTRACT

The main objective of this work included the optimization of the maintenance plan to reduce tire cuts in remotely operated equipment at Condestable S. A. mining company during 2021, whose incidence was 4 % in relation to 17 % of the total causes, which caused a lower availability than the expected metric of 85 % in the equipment.

In relation to its methodological structure, quantitative methods were used, involving an explanatory scope and a type of applied study, based on experimental analysis in order to design the maintenance plan on a representative sample of eight scoop low profile R1600G/R1600H equipment.

During the development phases, a situational diagnosis of the maintenance plan was carried out and a new plan was designed incorporating preventive, predictive and corrective approaches. Advanced monitoring technologies and operator training programs were introduced, and the inventory of spare parts and accessories, including tire protection chains, was properly managed.

The results reflected a significant increase in equipment availability, from 85 % to 87,3 %. This resulted in a drastic reduction in tire outages and an overall improvement in the mining company's operational efficiency. In addition, substantial savings in maintenance costs and increased safety for the operators were achieved.

In conclusion, the successful implementation of the optimized maintenance plan proved to be an effective strategy to address the problem of tire cuts on remotely operated equipment in the mining industry. This comprehensive approach has provided significant benefits in terms of availability, efficiency and safety, contributing to the success of Condestable S. A. mining company.

Keyword: availability, maintenance plan, Scooptram, tire cuts

INTRODUCCIÓN

La industria minera desempeña un papel fundamental en la economía global, suministrando recursos esenciales para diversas industrias. La eficiencia operativa y la gestión efectiva de los equipos son factores críticos para el éxito y la sostenibilidad de las operaciones mineras. En este contexto, la presente tesis titulada «Optimización del plan de mantenimiento para reducir los cortes de neumáticos en equipos operados a control remoto en la compañía minera Condestable S. A. 2021» se adentra en un desafío específico que afecta a la operación minera: los cortes de neumáticos en equipos operados a control remoto.

La investigación se desarrolla en el marco de la compañía minera Condestable S. A., una empresa líder en la industria minera que busca constantemente mejorar su eficiencia y seguridad operativa. El problema de los cortes de neumáticos en los *Scooptrams*, equipos críticos para la operación subterránea, ha sido identificado como un desafío que requiere una solución efectiva.

Actualmente, en la compañía minera, el Área de Mantenimiento y Servicios de Mina es la encargada de atender y mantener los equipos de bajo perfil. Estos equipos, operados a control remoto desde zonas seguras a distancias de hasta 100 metros, han estado experimentando un uso excesivo de neumáticos debido a cortes prematuros, especialmente en los neumáticos delanteros. La operación remota de estos equipos implica desafíos significativos, como la limitada iluminación, la presencia de polvo y vapores, lo que reduce considerablemente la visibilidad a dichas distancias. Esta baja visibilidad afecta la capacidad del operador para maniobrar adecuadamente el equipo en el frente de carguío de mineral, resultando en patinaje de los neumáticos delanteros.

El objetivo principal fue implementar un plan de mantenimiento integral que no solo reduzca la frecuencia de cortes de neumáticos, sino que también mejore la disponibilidad de los equipos y garantice la seguridad de los operadores. Para lograr este objetivo, se llevó a cabo un análisis exhaustivo del estado actual del plan de mantenimiento, se diseñó un nuevo plan que incorpore enfoques preventivos y predictivos, y se evaluó el impacto de esta estrategia en los indicadores clave de rendimiento.

Esta investigación es esencial no solo para la compañía minera Condestable S. A., sino también para la industria minera en su conjunto, ya que proporciona conocimientos y enfoques prácticos para abordar problemas similares. La tesis se estructura en torno a la introducción, el marco teórico, la metodología, los resultados y las conclusiones, con el propósito de ofrecer una visión completa y rigurosa de la optimización del plan de mantenimiento en la industria minera.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

El sector minero es un pilar crucial en el crecimiento económico de las naciones y una fuente clave de prosperidad, impulsando de manera significativa la sostenibilidad de las comunidades locales. Esta industria se distingue por el manejo de grandes cantidades de materiales, lo que exige el uso de maquinaria robusta y confiable, diseñada para operar de manera ininterrumpida a lo largo de su vida útil y capaz de manejar estas tareas exigentes. Para alcanzar los objetivos de producción establecidos, estas máquinas a menudo enfrentan condiciones extremas debido a los intensos esfuerzos y el trabajo continuo, lo que puede llevar a un desgaste acelerado de varios componentes (1).

En los Estados Unidos, la industria minera es responsable de la creación de aproximadamente un millón de empleos, incluyendo 370 000 empleos directos con algunos de los salarios más altos en el sector privado, además de alrededor de 590 000 empleos indirectos. Además, los minerales producidos por la industria minera estadounidense contribuyen significativamente a la economía del país, aportando más de 3 billones de dólares a las industrias que los utilizan, representando un 14 % del PIB. A nivel global, la minería constituye cerca del 10 % de la actividad económica mundial, medida por los ingresos generados por la minería de productos básicos, las canteras y la industria petrolera (2).

Las empresas mineras líderes en el mercado enfatizan fuertemente en una planificación meticulosa y detallada de sus recursos, lo cual es crucial para optimizar la gestión del mantenimiento de su maquinaria y equipos. Esta estrategia incluye la integración de prácticas

efectivas alineadas con políticas claras y específicas en sus operaciones. El mantenimiento, siendo un conjunto integral de procedimientos, juega un papel vital en prolongar la vida útil de las instalaciones y equipos. Este enfoque no solo mejora la eficiencia y la operatividad de los activos, sino que también maximiza su rentabilidad a lo largo del tiempo. Al asegurar que las máquinas funcionen de manera óptima por períodos más largos, las compañías pueden obtener mayores ganancias y rendimientos de sus inversiones (3).

Las principales razones para discontinuar el uso de maquinaria minera son las fallas técnicas y la reducción continua de la producción el índice de productividad total del equipamiento minero cae entre el 44 % y el 51 % al 6.º año de explotación, lo que implica un empeoramiento de su régimen de trabajo al ser forzados a operar bajo condiciones extremas, poniendo de manifiesto la necesidad de adquirir maquinaria nueva. Las fallas técnicas, que se manifiestan como daños físicos en el equipo, obstaculizan la realización eficiente de las tareas para las que fueron diseñados. Por otro lado, los altos costos operativos reducen la competitividad de la maquinaria. Con el tiempo, la eficiencia económica del equipo disminuye debido a la necesidad de mantenimiento frecuente y al aumento en el consumo de energía. Este proceso, conocido como envejecimiento, se caracteriza por una inversión creciente que resulta en una menor disponibilidad y productividad. Además, la obsolescencia, impulsada por los cambios socioeconómicos y los avances tecnológicos en el sector, también impacta negativamente en la viabilidad de los equipos (4).

En Latinoamérica, se espera un aumento en la demanda de metales y minerales impulsado por la transición energética hacia una economía global de bajo carbono. Elementos como el cobre, el litio, el manganeso, el plomo y el zinc son esenciales para tecnologías de descarbonización, incluyendo vehículos eléctricos, paneles solares, turbinas eólicas y sistemas eléctricos inteligentes. Se proyecta que para 2026, la demanda de minerales clave para esta transición energética superará en más del doble a la registrada en 2015. Esto podría traer beneficios económicos significativos para la región, incluyendo un aumento en la recaudación fiscal, estimada en 50 mil millones de dólares anuales para el 2050 (5).

En el contexto colombiano, según lo expuesto por Ballesteros et al. (6), la creación de un plan de mantenimiento emerge como una herramienta esencial para la gestión empresarial. Este plan ofrece una plataforma para evaluar cómo el departamento de mantenimiento influye en las diversas operaciones de la empresa. Dicha evaluación facilita la mejora en la calidad de los procesos y del producto final. Además, asegura una mayor disponibilidad de activos, preservando su vida útil. Implementar un plan de mantenimiento efectivo también ayuda a

minimizar las interrupciones inesperadas en la producción, reduce la posibilidad de accidentes y fortalece la seguridad del equipo y de la maquinaria.

La minería constituye un pilar fundamental en la estructura económica del Perú, contribuyendo significativamente con aproximadamente el 11 % al Producto Bruto Interno (PBI) del país. Esta industria es también una fuente primordial de ingresos por exportaciones, representando el 65 % del total de las exportaciones peruanas. En el periodo comprendido entre enero y julio de 2023, el sector de la minería metálica experimentó un crecimiento notable del 12.11 %, un factor clave que ayudó a mitigar la disminución en la producción nacional, la cual registró una caída del -0.58 %. A pesar de este avance positivo, la minería en Perú continúa enfrentando una serie de desafíos y opera a un nivel que aún no alcanza su máximo potencial. La necesidad de superar obstáculos regulatorios, ambientales y sociales, junto con la implementación de tecnologías avanzadas y prácticas sostenibles, son aspectos cruciales para que este sector pueda expandirse y contribuir aún más al crecimiento económico y al desarrollo sostenible del país (7).

Actualmente, en la compañía minera Condestable S. A., el Área de Mantenimiento y Servicios de Mina es la encargada de atender y mantener los equipos de bajo perfil. Estos equipos, operados a control remoto desde zonas seguras a distancias de hasta 100 metros, han estado experimentando un uso excesivo de neumáticos debido a cortes prematuros, especialmente en los neumáticos delanteros. La operación remota de estos equipos implica desafíos significativos, como la limitada iluminación, la presencia de polvo y vapores, lo que reduce considerablemente la visibilidad a dichas distancias. Esta baja visibilidad afecta la capacidad del operador para maniobrar adecuadamente el equipo en el frente de carguío de mineral, resultando en patinaje de los neumáticos delanteros. Este patinaje conlleva a cortes en la banda de rodadura o en los flancos laterales de los neumáticos, daños que en muchas ocasiones imposibilitan su reparación o reutilización para el reencauche.

En la tabla 1 se muestra la disponibilidad mecánica de los equipos R1600G durante el 2020, donde se aprecia mes a mes el comportamiento de la operatividad de los equipos de línea amarilla, en donde no alcanza en ninguno de los meses la meta de 85 % requerida por la compañía, siendo enero el mes más baja en disponibilidad mecánica.

Tabla 1. Disponibilidad mecánica 2020

Meses	Scoop 6YD - DM.	Scoop 6YD – Meta DM.
Ene-20	78 %	85 %
Feb-20	83 %	85 %
Mar-20	84 %	85 %
Abr-20	84 %	85 %
May-20	85 %	85 %
Jun-20	81 %	85 %
Jul-20	86 %	85 %
Ago-20	83 %	85 %
Set-20	84 %	85 %
Oct-20	82 %	85 %
Nov-20	81 %	85 %
Dic-20	84 %	85 %
Total	83 %	85 %

Fuente: Departamento de Mantenimiento – Cía. minera Condestable S. A.

En la figura 1 se aprecian los picos de la disponibilidad mecánica de los equipos, en donde se da a notar que los meses de inicio y fin de años son los más críticos, puesto que a estos meses los componentes de los equipos llegan con excesivo desgaste y fatiga del uso continuo de los equipos en las operaciones en interior mina.

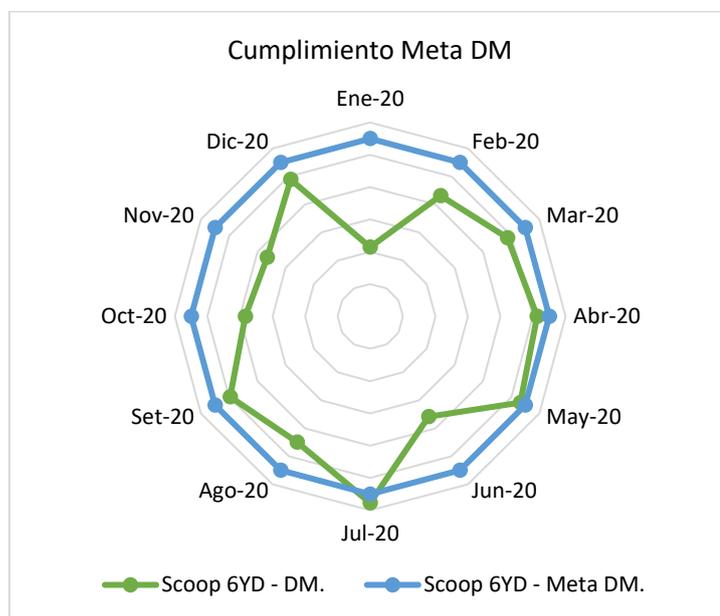


Figura 1. Disponibilidad mecánica 2020

Fuente: Departamento de Mantenimiento - Cía. minera Condestable S. A. C.

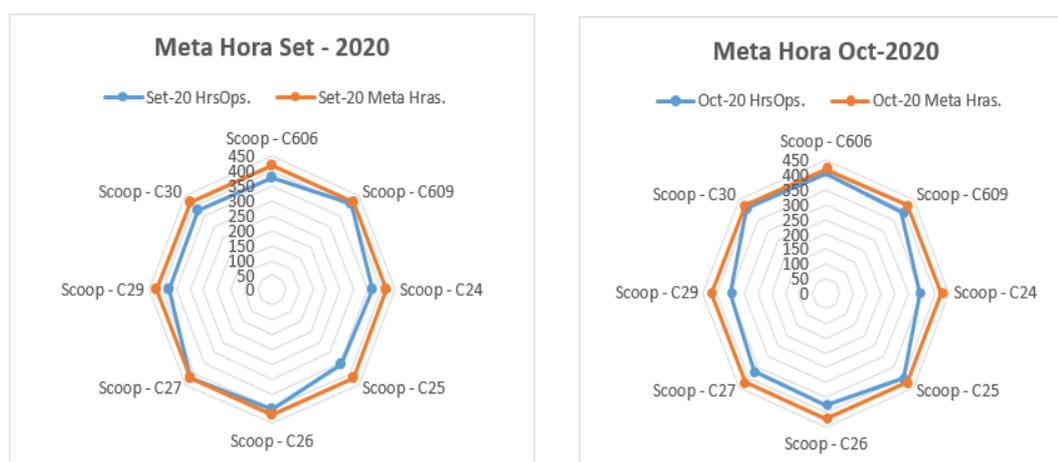
En la tabla 2, se aprecia la Meta Hora de los equipos de setiembre y octubre del 2020, en donde se puede observar que no se logra cumplir la meta dispuesta de 420 horas estando en la gran mayoría de los meses por debajo de la meta propuesta y solo alcanzando en algunos casos como en agosto.

Tabla 2. Meta hora set – oct 2020

Etiquetas de fila	Set-20 h ops.	Meta h	Oct-20 h ops.	Meta h
Scoop – C606	280	420	269	420
Scoop – C609	282	420	266	420
Scoop – C624	277	420	259	420
Scoop – C625	269	420	275	420
Scoop – C626	274	420	261	420
Scoop – C627	288	420	257	420
Scoop – C629	279	420	255	420
Scoop – C630	276	420	278	420
Total				

Fuente: Departamento de Mantenimiento - Cía. minera Condestable S. A. C.

En la figura 2 se puede apreciar la inestabilidad de la disponibilidad de los equipos en los meses de septiembre y octubre del 2020, llegando a picos críticos de hasta 358 y rara vez llegando a la meta trazada.

**Figura 2. Meta hora 2020**

Fuente: Departamento de Mantenimiento - Cía. minera Condestable S. A. C.

En la tabla 3 se ve la Frecuencia de Paradas de los equipos de los meses del 2020, en donde se puede apreciar que el MTBF tiempo medio entre fallas es menor a 30Hrs y el MTTR Tiempo medio para reparar no es menor a 4.8 horas, no cumpliendo los estándares de medición de los indicadores de mantenimiento.

Tabla 3. Frecuencia de paradas de equipos

Meses	Cant. fallas	Horas de falla	Horas oper.	MTTR	MTBF
Ene-20	81	551.0	2011	6.8	24.8
Feb-20	76	393.0	1981	5.2	26.1
Mar-20	62	370.9	1917	6.0	30.9
Abr-20	78	392.4	2100	5.0	26.9

May-20	70	420.0	2309	6.0	33.0
Jun-20	72	457.7	1981	6.4	27.5
Jul-20	61	371.2	2245	6.1	36.8
Ago-20	78	397.3	2009	5.1	25.8
Set-20	71	435.0	2225	6.1	31.3
Oct-20	80	458.9	2121	5.7	26.5
Nov-20	76	480.1	2053	6.3	27.0
Dic-20	79	415.4	2118	5.3	26.8

Fuente: Departamento de Mantenimiento - Cía. minera Condestable S. A. C.

En la figura 3, se observa cómo va decayendo la tendencia del MTBF en donde solo en marzo, mayo, julio y agosto logra alcanzar la propuesta de las 30Hrs de la gestión de mantenimiento

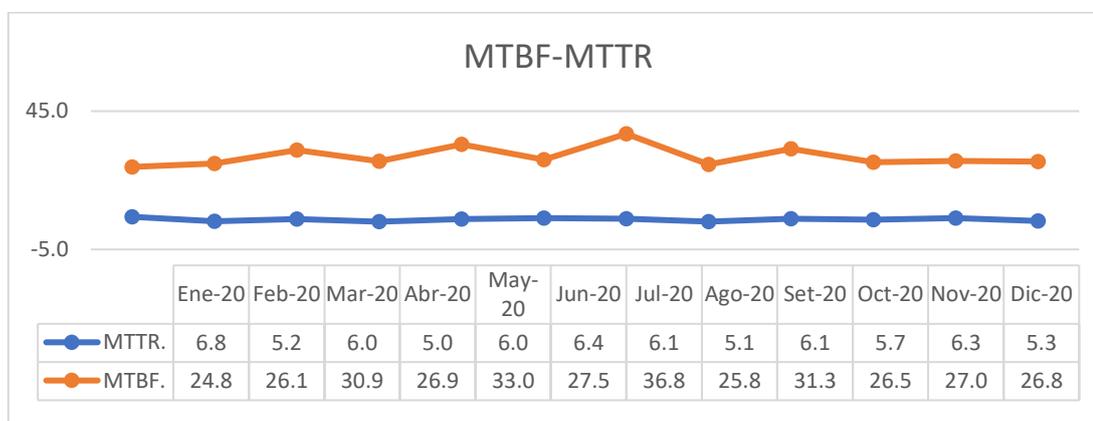


Figura 3. Frecuencia de paradas 2020

Fuente: Departamento de Mantenimiento - Cía. minera Condestable S. A. C.

En la tabla 4, se puede apreciar la caída de la disponibilidad operacional de los equipos de línea amarilla en los meses del 2020, la cual es crítica pues solo en Julio se alcanza llegar a la meta de la disponibilidad operacional de los equipos de carguío y acarreo, la cual es preocupante, ya que la meta es mantener un 85 %, motivo por el cual se realizara una investigación rigurosa con el objetivo de aumentar la disponibilidad, aplicando herramientas como la metodología RCM para poder identificar y determinar las posibles causas que estén afectando en las operaciones diarias.

Tabla 4. Disponibilidad de equipos por flota

Meses	Scoop 2YD - DM.	Scoop 2YD - Meta DM.	Scoop 4YD - DM.	Scoop 4YD - Meta DM.	Scoop 6YD - DM.	Scoop 6YD - Meta DM.
Ene-20	89 %	85 %	85 %	85 %	78 %	85 %
Feb-20	90 %	85 %	87 %	85 %	83 %	85 %
Mar-20	89 %	85 %	86 %	85 %	84 %	85 %
Abr-20	90 %	85 %	89 %	85 %	84 %	85 %

May-20	92 %	85 %	85 %	85 %	85 %	85 %
Jun-20	91 %	85 %	88 %	85 %	81 %	85 %
Jul-20	92 %	85 %	89 %	85 %	86 %	85 %
Ago-20	91 %	85 %	89 %	85 %	83 %	85 %
Set-20	90 %	85 %	88 %	85 %	84 %	85 %
Oct-20	83 %	85 %	85 %	85 %	82 %	85 %
Nov-20	91 %	85 %	86 %	85 %	81 %	85 %
Dic-20	92 %	85 %	87 %	85 %	84 %	85 %
Total	90 %	85 %	87 %	85 %	83 %	85 %

Fuente: Departamento de Mantenimiento - Cía. minera Condestable S. A. C.

En la figura 4, se puede apreciar la disponibilidad de toda la flota de *Scooptrams* de la compañía minera Condestable en donde los equipos de 2YD y 4YD logran alcanzar la meta propuesta del 85 % en todos los meses, algo que no se puede decir de los equipos *Scooptrams* de 6YD lo cual solo se logra alcanzar la meta en el mes de Julio.

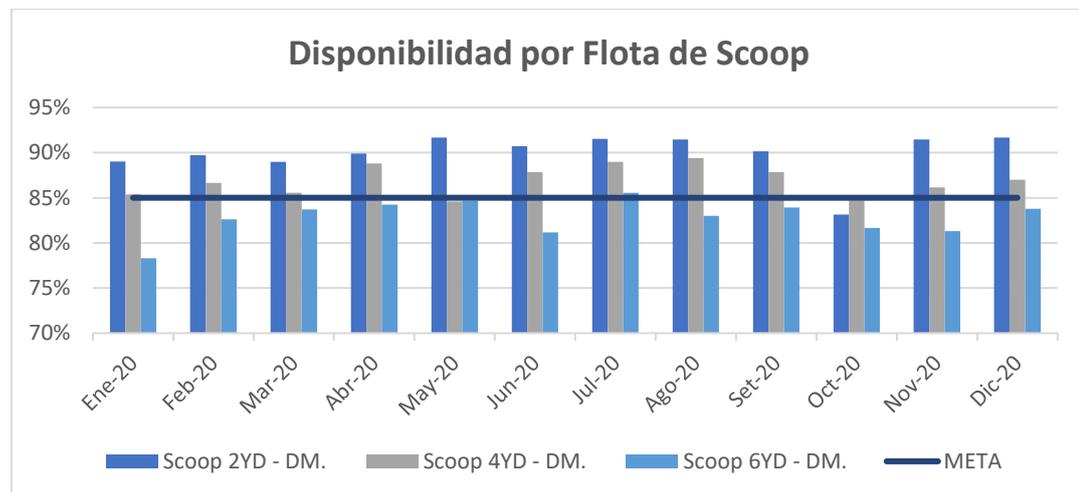


Figura 4. Disponibilidad por flota de scoop

Para poder identificar los problemas que están afectando la disponibilidad de 17 % de los equipos R1600G en las operaciones, se realizó un análisis de las fallas más recurrente clasificados por sistemas, para poder evaluarlo y darle mayor atención del caso y de este modo minimizar su impacto.

Para este análisis se realizó el diagrama de Pareto del 80-20 para identificar cuáles son esos 20 % de las causas de fallas que implican en la consecuencia del 80 % de las paradas de los equipos R1600G que afectan significativamente la disponibilidad.

En la tabla 5 se aprecia la distribución de las fallas clasificadas por sistemas, la cual se ordenó en forma descendente según su criticidad tomando como referencia las horas de paradas de los equipos R1600G.

Tabla 5. Clasificación de fallas por sistemas

Sistema	Componente	Horas paradas	Acumulada	%	Horas paradas acum.
Transmisión	Corona Posterior	81.50	81.5	26.43 %	26.43 %
Transmisión	Neumáticos	73.10	154.6	23.71 %	50.14 %
Transmisión	Diferencial Posterior	51.50	206.1	16.70 %	66.84 %
Motor	Inyectores	39.00	245.1	12.65 %	79.49 %
Sistema hidráulico	Mangueras Hidráulicas	21.24	266.3	6.89 %	86.38 %
Motor Diesel	Bomba de Agua	17.17	283.5	5.57 %	91.95 %
Sistema hidráulico	Cilindro Dir. Izq.	13.99	297.5	4.54 %	96.49 %
Sistema eléctrico	Arrancador	10.83	308.3	3.51 %	100.00 %

Fuente: Departamento de Mantenimiento - Cía. minera Condestable S. A. C.

En la figura 5 se puede apreciar que cuatro de las fallas como corona posterior, neumáticos, diferencial posterior e inyectores representan el 80 % de todas las paradas de los equipos, a su vez se puede apreciar de que estas fallas pertenecen a los sistemas de Transmisión y motor.

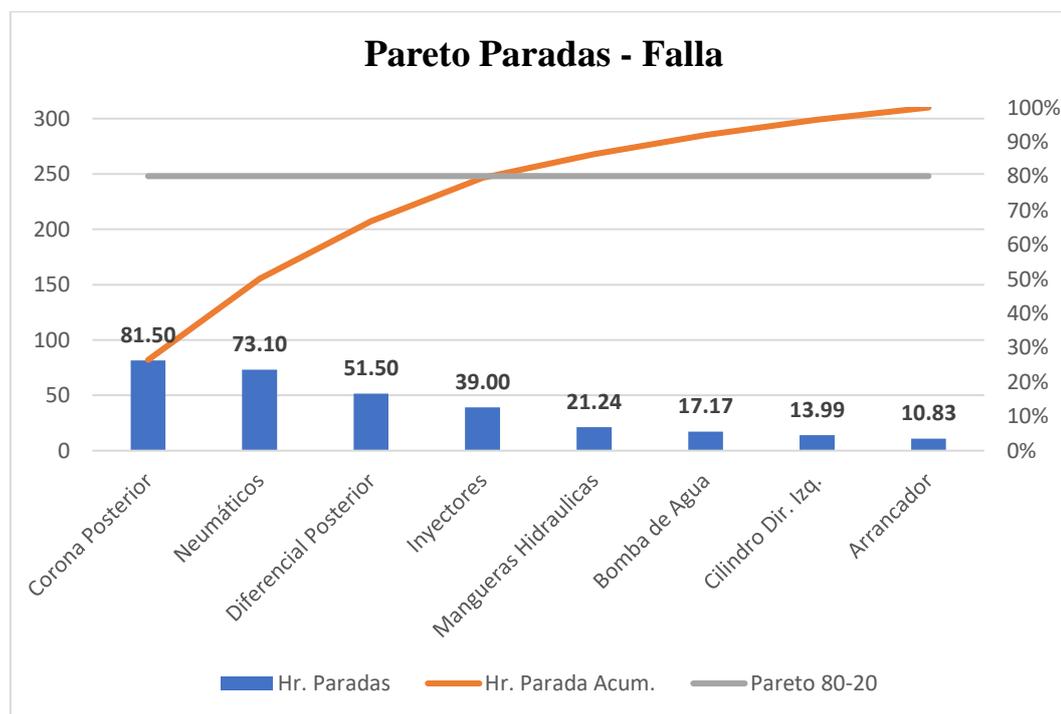


Figura 5. Diagrama de Pareto de paradas-fallas

Fuente: Departamento de Mantenimiento - Cía. minera Condestable S. A. C.

Una vez identificadas las fallas más relevantes, el enfoque está en el problema del Sistema de Transmisión, esto debido a que los tres problemas principales (corona posterior, neumáticos y diferencial posterior) se encuentran contenidos dentro de este sistema, netamente

en los neumáticos lo cual representa un 23 % del total de las horas de paradas de todos los equipos R1600G.

Tabla 6. Afectación a la disponibilidad

Sistema	Componente	Horas paradas	Afectación de disponibilidad
Transmisión	Corona posterior	81.50	4.49 %
Transmisión	Neumáticos	73.10	4.03 %
Transmisión	Diferencial posterior	51.50	2.84 %
Motor	Inyectores	39.00	2.15 %
Sistema hidráulico	Mangueras hidráulicas	21.24	1.17 %
Motor Diesel	Bomba de agua	17.17	0.95 %
Sistema hidráulico	Cilindro dir. izq.	13.99	0.77 %
Sistema eléctrico	Arrancador	10.83	0.60 %
		308.33	17.00 %

La tabla 6 revela que las interrupciones atribuibles a problemas con los neumáticos representan un 4 % del 17 % total que compromete la disponibilidad de los equipos de bajo perfil. Esta proporción subraya la importancia de los inconvenientes relacionados con los neumáticos como uno de los factores más significativos detrás de las averías de los equipos, contribuyendo directamente a que no se logre alcanzar el objetivo de disponibilidad fijado en un 85 %. En su lugar, se ha alcanzado únicamente un 83 % de disponibilidad, cifra que, aunque cercana al objetivo, resulta subóptima para el rendimiento eficiente de las operaciones. Este hallazgo enfatiza la necesidad de abordar y mitigar los problemas específicos con los neumáticos para mejorar la disponibilidad general de los equipos y, por ende, optimizar la productividad de las operaciones.

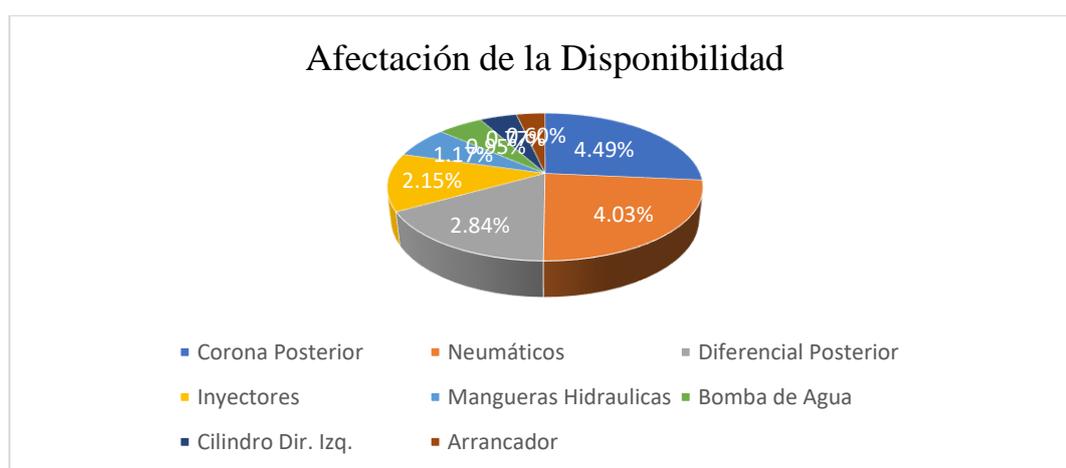


Figura 6. Diagrama de Pareto de paradas-fallas

En la figura 6, se aprecia el porcentaje de los componentes que causan las paradas más significativas que afectan la disponibilidad operativa de los equipos.

En la figura 7 se muestra el diagrama de Ishikawa lo cual identifican las causas más relevantes que afectan el corte de los neumáticos 18.00 R25 que provocan las paradas de los equipos de bajo perfil de 6YD R1600G, afectando de este modo la disponibilidad.

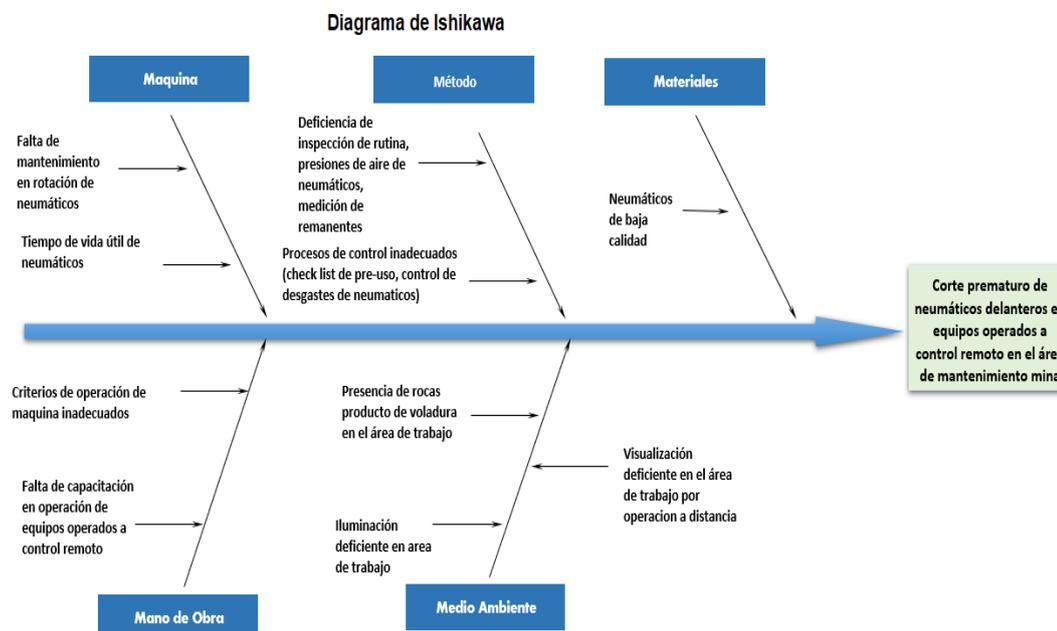


Figura 7. Diagrama causa-efecto

Estos cortes son ocasionados por las condiciones de las labores las cuales son reducidas, accidentadas e inestables, que a su vez demanda mucho tiempo y recursos para trasladarse al punto donde se encuentra el equipo, repararlo y volverlo a dejar operativo, afectando así la disponibilidad operativa.

Tabla 7. Causas de cortes de neumáticos

Categoría	Causa	%
Maquina	Rotación de neumático	10
Maquina	Tiempo de vida útil del neumático	5
Método	Deficiencia de Inspección (presión de aire, remanente)	5
Método	Deficiencia de <i>Check List</i> (desgaste)	5
Materiales	Neumático de baja calidad	5
Mano de obra	Operación inadecuada	10
Mano de obra	Falta de experiencia en operación a control remoto	10
Medio ambiente	Presencia de rocas filosas	30
Medio ambiente	Iluminación deficiente	10
Medio ambiente	Visualización deficiente	10

Por esta razón la tesis consiste en realizar la implementación de cadenas en los neumáticos delanteros de los equipos de bajo perfil R1600G CAT operados a control remoto para protegerlos de las rocas filosas producto de las voladuras y poder reducir los cortes de

estos y así tengan un mayor tiempo de vida útil, todo esto acompañado de un plan de control de mantenimiento con el objetivo de maximizar la disponibilidad y el valor económico de los activos desde su adquisición.

En la figura 8, se muestra el control del neumático, para realizar la proyección de uso desde que se coloca el neumático y entra a operaciones hasta que sale, con el propósito de poder darle seguimiento a las desviaciones que se presenten.

EVALUACIÓN DE NEUMATICOS SEMANA 33 - 2020																				
Equipo	Pos	Codigo	Tipo de vida	Marca	Medida	Remanente			VIDA UTIL (%)	DF. HOMB.	DIFERENCIA NIVEL %			PRESION DE AIRE			HORAS		COEF. DESGAS	HORAS RODADAS
						Rem. Orig.	EXT	INT			EXT-INT	MISMO EJE	ENTRE EJES	SUGERIDA	ACTUAL	DIF. PSI	Acumulado	Proyectado		
SCOOP																				
C206 CAT R14000	1	2052	Operaciones	MAXAM	18.0x25	90	77	76	100%	78%	1.0	0.0%	100	101	✓	1	58.0	877		
	2	2054	Operaciones	MAXAM	18.0x25	90	76	77	100%	78%	1.0	0.0%	100	100	✓	2	58.0	877		
	3	2064	Operaciones	MAXAM	18.0x25	90	66	69	0%	62%	2.0	0.0%	90	90	✓	3	17.8	491		
	4	2071	Operaciones	MAXAM	18.0x25	90	71	73	0%	71%	2.0	0.0%	90	92	✓	4	22.3	491		
C225 CAT R14000	1	2068	Operaciones	MAXAM	18.0x25	90	70	70	100%	74%	8.0	0.0%	100	100	✓	1	30.8	478		
	2	2059	Operaciones	MAXAM	18.0x25	90	72	77	100%	74%	5.0	0.0%	100	100	✓	2	30.8	478		
	3	2066	Operaciones	MAXAM	18.0x25	90	64	76	0%	67%	12.0	0.4%	90	100	✓	3	24.7	485		
	4	2067	Operaciones	MAXAM	18.0x25	90	60	73	0%	61%	13.0	0.4%	90	96	✓	4	21.0	485		
C226 CAT R14000	1	2060	Operaciones	MAXAM	18.0x25	90	68	76	100%	70%	8.0	0.4%	100	105	✓	1	24.4	428		
	2	2062	Operaciones	MAXAM	18.0x25	90	67	71	100%	65%	4.0	1.4%	100	100	✓	2	20.9	438		
	3	2072	Operaciones	MAXAM	18.0x25	90	81	83	0%	87%	2.0	0.1%	90	100	✓	3	16.6	133		
	4	2070	Operaciones	MAXAM	18.0x25	90	80	83	0%	86%	2.0	0.1%	90	98	✓	4	15.7	133		
C227 CAT R14000	1	2055	Operaciones	MAXAM	18.0x25	90	54	56	100%	42%	2.0	0.9%	100	106	✓	1	20.8	750		
	2	2061	Operaciones	MAXAM	18.0x25	90	57	67	50%	53%	10.0	2.9%	100	103	✓	2	20.2	565		
	3	2077	Operaciones	MAXAM	18.0x25	90	80	82	0%	82%	2.0	0.2%	90	98	✓	3	13.4	120		
	4	2076	Operaciones	MAXAM	18.0x25	90	82	83	0%	88%	1.0	0.2%	90	96	✓	4	16.0	120		
C228 CAT R14000	1	2043	Operaciones	MAXAM	18.0x25	90	84	84	100%	90%	0.0	0.0%	100	100	✓	1	58.0	606		
	2	2046	Operaciones	MAXAM	18.0x25	90	84	84	100%	92%	0.0	1.6%	100	100	✓	2	58.0	606		
	3	2079	Operaciones	MAXAM	18.0x25	90	84	84	100%	90%	0.0	3.1%	90	91	✓	3	4.1	25		
	4	2063	Operaciones	MAXAM	18.0x25	90	57	60	0%	48%	3.0	0.0%	90	94	✓	4	16.5	519		
C230 CAT R14000	1	2073	Operaciones	MAXAM	18.0x25	90	86	86	100%	97%	0.0	1.5%	100	100	✓	1	58.0	251		
	2	2050	Operaciones	MAXAM	18.0x25	90	75	72	100%	77%	3.0	4.0%	100	100	✓	2	58.0	1084		
	3	2051	Operaciones	MAXAM	18.0x25	90	48	55	0%	36%	7.0	0.8%	90	90	✓	3	18.2	753		
	4	2045	Operaciones	MAXAM	18.0x25	90	40	50	0%	32%	10.0	0.8%	90	91	✓	4	32.7	1472		
C415 CAT R13000	1	1829R	Operaciones	ENOVA - MAXAM	17.5x25	65	65	62	100%	96%	3.0	0.1%	90	98	✓	1	206.7	318.0		
	2	2065	Operaciones	MAXAM	17.5x25	65	60	65	100%	92%	3.0	1.2%	90	96	✓	2	201.7	504.3		
	3	2047	Operaciones	TECHKING	17.5x25	75	71	74	0%	84%	1.0	0.3%	85	90	✓	3	253.1	632.8		
	4	2048	Operaciones	TECHKING	17.5x25	75	70	71	0%	90%	2.0	0.3%	85	91	✓	4	140.6	632.8		
C420 CAT R13000	1	2075	Operaciones	MAXAM	17.5x25	65	62	62	100%	51%	0.0	1.2%	90	97	✓	1	10.5	32		
	2	2074	Operaciones	TECHKING	17.5x25	75	70	70	100%	8%	0.0	3.9%	90	95	✓	2	62.7	313		
	3	2058	Operaciones	MAXAM	17.5x25	65	33	38	0%	18%	5.0	0.9%	85	90	✓	3	38.6	1189		
	4	2059	Operaciones	MAXAM	17.5x25	65	40	43	0%	48%	3.0	0.9%	85	94	✓	4	48.7	1189		
C431 CAT R13000	1	2027	Operaciones	TECHKING	17.5x25	75	63	70	100%	61%	7.0	0.2%	90	99	✓	1	62.0	687.2		
	2	2030	Operaciones	TECHKING	17.5x25	65	64	66	100%	100%	2.0	4.5%	90	96	✓	2	62.0	687.2		
	3	2016	Operaciones	MAXAM	17.5x25	65	28	35	0%	4%	7.0	0.9%	85	90	✓	3	62.0	1142.1		
	4	2013	Operaciones	MAXAM	17.5x25	65	35	40	0%	21%	5.0	0.9%	85	90	✓	4	24.0	1142.1		
ST14 EPROOC	1	2078	Operaciones	MAXAM	26.5x25	95	92	89	100%	96%	1.0	1.0%	100	102	✓	1	62.0	168.9		
	2	2038	Operaciones	MAXAM	26.5x25	95	71	73	100%	63%	2.0	4.1%	100	105	✓	2	62.0	613.6		
	3	2039	Operaciones	MICHELIN	26.5x25	81	53	58	0%	42%	5.0	1.8%	70	100	✓	3	62.0	2322.4		
	4	2040	Operaciones	MICHELIN	26.5x25	91	40	43	0%	19%	3.0	1.8%	70	100	✓	4	24.0	2378.5		

Figura 8. Control de neumático
Fuente: Departamento de Mantenimiento - Cía. minera Condestable S. A. C.

Consecuencias de problema identificado:

- Disminución en la disponibilidad de maquinaria.
- Demoras en la extracción del mineral.
- Aumento en el uso de neumáticos.
- Elevación de los costos de mantenimiento, valorados en términos del desgaste de neumáticos por equipo y del caucho residual no aprovechado en neumáticos dañados o defectuosos.
- Mayor uso de recursos, tanto en términos de horas de trabajo como de materiales.

Descripción de neumáticos

- Llantas 18.0 x 25
- Costo llanta nueva: \$ 2540.00
- Remanente útil: 60 mm
- Costo/remanente: 42,33 \$/mm

En la figura 9 se muestran las principales partes del neumático



Figura 9. Partes del neumático

En la figura 10 se muestran las incidencias de los gastos de los neumáticos de 18.00 x 25 de los cargadores de bajo perfil R1600G, en donde se muestran que los equipos C630, C623 y C624 tienen remanentes perdidos.

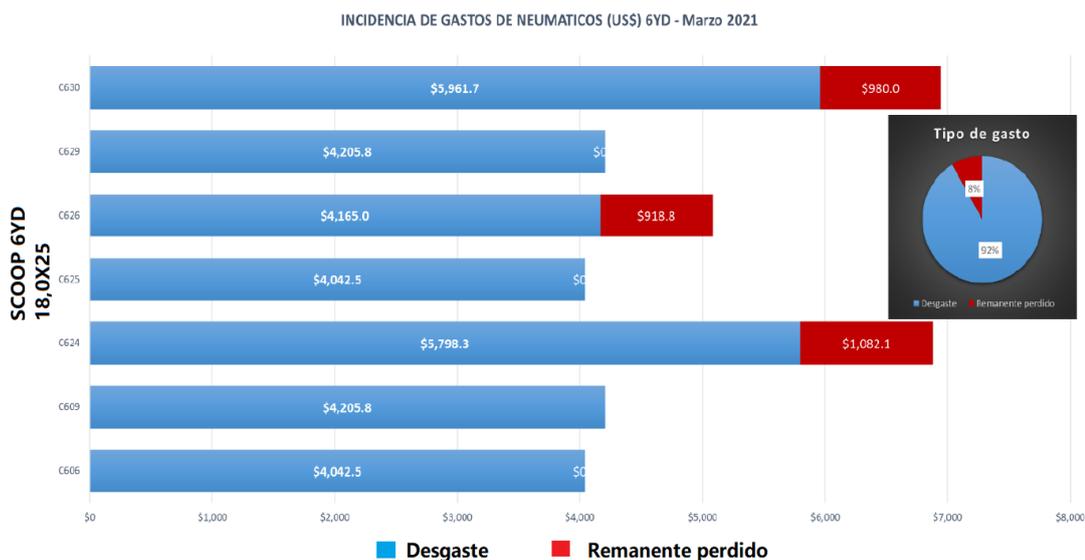


Figura 10. Gastos de neumáticos

Fuente: Departamento de Mantenimiento Mina – Cía. minera Condestable S. A. C.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿En qué medida el plan de mantenimiento optimizado podría reducir los cortes de neumáticos en equipos operados a control remoto en la compañía minera Condestable S. A. 2021?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es el diagnóstico situacional del plan de mantenimiento en relación con los daños a los neumáticos en los equipos operados por control remoto en la compañía minera Condestable S. A. 2021?
- ¿Cómo sería el diseño de la propuesta de optimización del plan de mantenimiento para los equipos operados por control remoto en la compañía minera Condestable S. A. 2021?
- ¿Cuál es el impacto en los indicadores de disponibilidad del plan de mantenimiento optimizado en relación con los cortes de neumáticos en equipos operados a control remoto en la compañía minera Condestable S. A. 2021?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Realizar la optimización del plan de mantenimiento para reducir los cortes de neumáticos en equipos operados a control remoto en la compañía minera Condestable S. A. 2021.

1.3.2. Objetivos específicos

- Elaborar el diagnóstico situacional del plan de mantenimiento en relación con los daños a los neumáticos en los equipos operados por control remoto en la compañía minera Condestable S. A. 2021.
- Diseñar la propuesta de optimización del plan de mantenimiento para los equipos operados por control remoto en la compañía minera Condestable S. A. 2021.
- Validar el impacto en los indicadores de disponibilidad del plan de mantenimiento optimizado en relación con los cortes de neumáticos en equipos operados a control remoto en la compañía minera Condestable S. A. 2021.

1.4. Justificación e importancia

Esta investigación es de gran relevancia para el sector minero, ya que representa un paso adelante en la gestión y mantenimiento de equipos a control remoto. Al disminuir los cortes de neumáticos, se logra una reducción considerable en los costos asociados con el reemplazo de estos y las interrupciones inesperadas en las operaciones. Esto, a su vez, se traduce en una mejora en la productividad, ya que equipos más disponibles y eficientes incrementan el rendimiento general de las operaciones. Además, los hallazgos y prácticas resultantes de esta investigación pueden servir como modelo para otras empresas del sector, impulsando así innovaciones y mejoras en toda la industria minera.

1.4.1. Seguridad

La optimización del mantenimiento de neumáticos en equipos de control remoto lleva implícita una mejora sustancial en la seguridad dentro de la compañía minera Condestable S. A. Al enfocarse en reducir los cortes de neumáticos, esta investigación aborda directamente los riesgos de accidentes que pueden surgir debido a fallos en estos componentes esenciales. Un neumático dañado no solo compromete la operatividad del equipo, sino que también pone en peligro la seguridad de los operadores y demás personal en la mina. Implementar un plan de mantenimiento efectivo asegura una intervención preventiva, donde los neumáticos son inspeccionados y reemplazados antes de que representen un riesgo, manteniendo así un ambiente de trabajo más seguro y controlado.

1.4.2. Medio ambiente

Desde el punto de vista ambiental, la optimización del plan de mantenimiento tiene un impacto positivo significativo. Al prolongar la vida útil de los neumáticos, se reduce la cantidad de residuos de caucho, un material que suele ser difícil de reciclar y que, por lo tanto, puede representar un problema ambiental. Además, equipos con neumáticos en buen estado operan de manera más eficiente, lo que puede traducirse en un consumo más bajo de combustible y, por ende, en una disminución de las emisiones contaminantes. Esta investigación, por lo tanto, contribuye no solo a la sostenibilidad operativa de la mina, sino también a la protección del medio ambiente.

1.5. Hipótesis y descripción de variables

1.5.1. Hipótesis general

La optimización del plan de mantenimiento podrá reducir los cortes de neumáticos en equipos operados a control remoto en la compañía minera Condestable S. A. 2021.

1.5.2. Hipótesis específicas

- El estado actual del plan de mantenimiento de reducción de corte de neumáticos en equipos operados a control remoto en la compañía minera Condestable S. A. 2021 es inadecuado debido a la falta de protocolos adecuados y planes efectivos.
- La propuesta de optimización del plan de mantenimiento para los equipos operados por control remoto en la compañía minera Condestable S. A. tiene como propósito generar los procedimientos y medidas preventivas para reducir los cortes en los neumáticos.
- La implementación del plan de mantenimiento de reducción de cortes de neumáticos para equipos operados a control remoto en Compañía minera Condestable S. A. tendrá un impacto positivo en los indicadores de disponibilidad de los equipos.

1.5.3. Operacionalización de variables

Tabla 8. Operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores
Plan de mantenimiento	Es un programa sistemático y organizado de acciones que se realizan para mantener o mejorar la fiabilidad, seguridad y eficiencia de equipos, maquinaria, sistemas o infraestructuras. Este plan es crucial en cualquier industria o sector donde los equipos desempeñan un papel fundamental (4).	La variable se medirá de forma cuantitativa y se dividirá en las dimensiones cadenas de neumáticos y gestión de mantenimiento.	Cadenas de neumáticos Gestión de mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> • % de uso de neumáticos = horas utilizadas/horas de vida útil • $P. U(\\$ / hr) = \frac{\text{costo de cadena} + \text{costo de accesorios}}{\text{horas trabajadas}}$ • Porcentaje de cumplimiento de la gestión: total de acciones realizadas/total de acciones planificadas
Cortes de neumáticos	Se refiere a daños en la superficie o estructura de un neumático que son causados por objetos afilados o condiciones adversas del terreno. Este tipo de daño es particularmente relevante en contextos como la industria minera, donde los vehículos y equipos pesados operan en terrenos irregulares y a menudo están expuestos a materiales cortantes o abrasivos (6).	La variable se medirá de forma cuantitativa y se dividirá en la dimensión disponibilidad física.	Disponibilidad física	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de disponibilidad física • Tiempo medio entre fallas (MTBF) (horas) • Tiempo medio para reparar (horas)

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Laiton y Moreno (8) en Colombia, desarrollaron una investigación que se empeñó para formular un plan de mantenimiento enfocado en confiabilidad para el sistema de neumáticos. Se trató de una aplicación y se diseñó un plan de mantenimiento preventivo para los neumáticos de una flota de 45 tractocamiones, logrando un incremento pronosticado en el rendimiento kilométrico de entre el 7 % y el 16 %. Este plan también resultó en una mejora sustancial del tiempo medio entre fallos (MTBF), que se extendió de 202 horas a 1400 horas, optimizando significativamente la durabilidad y reduciendo la frecuencia de intervenciones por fallos en los neumáticos. Como cierre, la implementación del plan de mantenimiento preventivo ha sido efectiva y beneficiosa para la flota de tractocamiones. El aumento en el rendimiento kilométrico y la significativa extensión del tiempo medio entre fallos (MTBF) indican que los neumáticos están alcanzando y superando las expectativas de durabilidad y eficiencia operativa. Esto no solo mejora la confiabilidad del equipo, sino que también contribuye a una reducción de costos y tiempo de inactividad, lo cual es crucial para optimizar las operaciones y la logística de la flota.

Javadnejad et al. (9) en Irán, buscaron optimizar la disponibilidad y minimizar los costos de mantenimiento en la industria minera, centrándose en la optimización del mantenimiento para palas mecánicas. Adoptando un método aplicado y a su vez tratándose de uno preexperimental. Realizaron un análisis de beneficios de mantenimiento para seleccionar actividades óptimas de mantenimiento en intervalos adecuados. Se identificaron siete subsistemas: sistema de cable, cubeta, palanca, tren de rodaje, motor y caja de cambios, sistema neumático y eléctrico, se determinaron los tiempos óptimos para cada uno, siendo el sistema

eléctrico el que requiere mantenimiento más frecuente con un intervalo de 39 horas. Asimismo, el sistema de cable, cubeta, motores y transmisión de potencia necesitan reemplazo cada 273, 39 y 78 horas, respectivamente y el sistema neumático requería reparación cada 78 horas. Se logró demostrar la fiabilidad de cada subsistema considerando la programación de mantenimiento en intervalos óptimos. Concluyeron que, optimizar los intervalos de mantenimiento es crucial para reducir costos y aumentar la disponibilidad de equipos, y que el modelo propuesto y el algoritmo SOS aplicado a la pala de cable de Chadormalu demostraron ser efectivos.

Chávez (10) en Ecuador, se centró en el desarrollo de un plan para el mantenimiento preventivo mediante el método de la confiabilidad para la maquinaria pesada de una constructora. Empleó una metodología que incluyó el análisis del proceso actual de gestión de mantenimiento y la caracterización de sistemas principales de estos equipos, utilizando un formato de evaluación tipo *Check List*. Evaluó un total de 40 equipos. Desarrolló una encuesta de efectividad, revelando que la gestión de mantenimiento de la empresa estaba en un nivel aceptable, con particular necesidad de mejora en el área de planificación. Se obtuvo que el 62 % de esta maquinaria se encontraban en buen estado, el 35 % en estado regular y un 3 % en mal estado. En el análisis específico de los tractores de oruga, mostró un 77 % de eficiencia, categorizándose como regular y requiriendo intervención para mejorar su estado técnico. Se establecieron tareas específicas para diferentes grupos de maquinaria, incluyendo 379 tareas para cargadoras sobre ruedas, 58 para neumáticos, 73 para tractores de oruga entre otros. Logró concluir que, un mantenimiento preventivo bien planificado es relevante para mejorar la eficiencia y estado técnico de la maquinaria pesada en el sector de la construcción.

Ballesteros et al. (6) en Colombia, buscaron diseñar un plan con el fin de optimizar el proceso de mantenimiento preventivo para mejorar el control y la disponibilidad en los equipos de trituración en una mina. Mediante una investigación aplicada y preexperimental desarrollaron un diagnóstico exhaustivo. Obtuvieron porcentajes variados en diferentes áreas, con un 60 % en el área de planeación y programación, 17 % en medidas de desempeño, 55 % en equipos de mejoramiento, 30 % en análisis de confiabilidad y 80 % en análisis de procesos. Además, evidenciaron que la mayoría de las actividades de mantenimiento se basaban en acciones correctivas y no existía un sistema informático para registrar los trabajos de mantenimiento. Determinaron que la gestión de mantenimiento en la mina tenía un 44 % de eficiencia, lo que indicaba una necesidad significativa de mejoras en esta área. Por tanto, se propuso un plan de mantenimiento preventivo para incrementar la disponibilidad operacional de los equipos y mejorar la organización de la información relacionada con las acciones de mantenimiento. Concluyeron la implementación de este plan sería una herramienta valiosa para

fortalecer la gestión de mantenimiento y contribuir al mejor funcionamiento de los equipos en la mina.

Morales (11) en Chile, abordó estrategias para implementar en la Minera Centinela, con el propósito de aumentar la vida útil de los neumáticos de su flota de transporte. Considerando que los objetivos relacionados a la vida útil que fueron establecidos para los neumáticos en 2018 no se cumplieron en ninguna de las familias de neumáticos de sus diversas flotas de camiones. Diseñó un análisis de rendimiento de los neumáticos y se dividieron las áreas problemáticas en cuatro pilares: caminos, prácticas operacionales, operación de neumáticos y modelo de negocio. De acuerdo a sus hallazgos, se observó una disminución en la cantidad de neumáticos retirados debido a problemas operativos, que fue representada la principal causa. Además, se logró un aumento del 1 % en la vida útil de los neumáticos KOM 930 y del 6.5 % en la flota CAT 793, aunque se registró una disminución del 3 % en la vida útil de los CAT 797. En total, se logró un ahorro de \$ 6,242 hasta el segundo trimestre de 2019. Logró concluir que. A pesar de los avances, se recomienda seguir trabajando en la reducción de las bajas térmicas para disminuir las bajas operacionales en todas las flotas.

Gutiérrez (12) en Guatemala, presentó un estudio con el fin de elaborar un plan de mantenimiento preventivo aplicado a los neumáticos. Se basó en un estudio aplicado. Se desarrolló un plan de mantenimiento preventivo para neumáticos destinado a una flota de 45 tractocamiones de 300 kW, con el objetivo de optimizar su rendimiento kilométrico. Este plan anticipa un aumento en el rendimiento del 7 % al 16 %. Como resultado, se logra el máximo aprovechamiento de la vida útil de los neumáticos y se mejora el tiempo medio entre fallas, variando entre 202 y 1400 horas. Los resultados alcanzados sugieren que la nueva metodología de mantenimiento ha sido beneficiosa para la empresa. Como cierre, se observaron avances en la estandarización de las variables de control y en la documentación gracias al diseño del plan de mantenimiento preventivo aplicado a los neumáticos de tractocamiones, lo que maximizó su rendimiento kilométrico con un aumento previsto del 16 %.

Leyva et al. (13) en Cuba, analizaron tanto el consumo de combustible como el desgaste de neumáticos en camiones y retroexcavadoras, considerándolos como indicadores cruciales que influyen directamente en la eficiencia y productividad de dichos equipos. Mediante un estudio que adoptó una metodología aplicada. Abarcó el 70 % de estos equipos en operación, siguiendo un proceso meticuloso que incluyó la medición de la capacidad del tanque, el control de combustible al inicio y final de cada turno, y análisis adicionales sobre la longitud del recorrido y horas de trabajo. Los hallazgos mostraron un consumo de combustible de 31,73 litros por hora (l/h) en camiones y 47,6 l/h en retroexcavadoras, superando las cifras promedio

de referencia del fabricante. Asimismo, se detectó un índice de desgaste de neumáticos en camiones de 163 horas por milímetro (h/mm), lo que se consideró bajo. Este análisis detallado reveló la necesidad de ajustes para reducir los costos operativos de manera eficaz. Concluyeron que, existen oportunidades significativas para optimizar el uso de combustible y la gestión del desgaste de neumáticos en los equipos mineros, lo cual puede tener un impacto directo en la eficiencia operativa y los costos de la empresa.

En relación con estudios vinculados desarrollados en el ámbito nacional, Valdivia (14) en Arequipa, presentó una investigación enfocada en diseñar un programa de gestión de mantenimiento para optimizar el rendimiento de neumáticos. Se trató de un estudio aplicado. Tras la implementación de mejoras, se observó un aumento significativo en la capacidad de atención tanto para reparaciones como para mantenimiento. De un total de 280 unidades que ingresan, ahora 273 pueden pasar por mantenimiento, y de 560 unidades que requieren mantenimiento correctivo, 555 pueden ser atendidas. Estas mejoras proyectan un incremento en el rendimiento de los neumáticos, alcanzando 52,500 km para los de 12R22.5 y 22,500 km para los de 425/65R22.5. El ratio beneficio-costo asciende a 3.94, demostrando que la metodología *Lean Maintenance* optimiza las operaciones al aplicarse adecuadamente.

Aranda y Linares (15) en Trujillo, evaluaron cómo un plan de mejora en cuanto al mantenimiento predictivo, enfocado en la confiabilidad, impacta en la disponibilidad de equipos esenciales de una unidad minera. Adoptó un diseño experimental. Analizó todos los equipos de molienda representados por 5 unidades. Se recopilaron datos clave como el tiempo medio hasta la reparación (MTTR), el tiempo medio entre fallos (MTBF) y la disponibilidad. En relación con los hallazgos, inicialmente se obtuvo que la disponibilidad de los equipos era variada, sin embargo, el molino de bolas se destacó por tener el mayor impacto de acuerdo con el diagrama de Pareto, registrando una disponibilidad del 87,9 % durante los primeros meses. Se logró evidenciar que la implementación del plan influyó positivamente en la disponibilidad de estos equipos y del área, registrando un aumento del 4,7 %. Concluyeron que, para alcanzar una notable mejora en la disponibilidad y fiabilidad de los equipos y el área, resulta esencial cumplir con los planes de acción derivados de la evaluación de los modos de fallo y sus causas fundamentales.

Chacaliza y Estela (16) en Cajamarca, se enfocaron en implementar un plan para el mantenimiento centrado en la confiabilidad para incrementar la disponibilidad en cuanto a los equipos de carga y transporte en una compañía minera. Desarrollaron un estudio de tipo aplicado. Incluyó a un total de tres equipos. Inicialmente, se evaluó la disponibilidad mecánica de estos equipos, encontrándose un 84 %. A partir de esto, se creó el plan enfocado en mejorar

esta disponibilidad, logrando elevarla al 94 %, representando un incremento del 10 %. Además, se llevó a cabo un análisis económico del sistema implementado, revelando un beneficio neto anual de S/. 74,473.17, una TIR del 66.9 %, y un rendimiento de S/. 2.04 por cada sol invertido, lo que significó un aumento notable en la rentabilidad de la empresa. Concluyeron que, la implementación de un plan centrado en la confiabilidad no solo ayuda a obtener mejoras en la disponibilidad y eficiencia de los equipos, sino que también es una estrategia beneficiosa que puede mejorar significativamente la rentabilidad de una empresa.

Lazarte (17) en Huancayo, se propuso mejorar la gestión de mantenimiento para elevar la disponibilidad promedio de los equipos de chancado. Se trató de una investigación aplicada que se enfocó en el análisis de reportes de fallas semanales de mayo a diciembre de 2018, identificando las averías más comunes y los tiempos de intervención en reparaciones, con la colaboración de operarios mecánicos especializados. Incluyó a 4 equipos críticos de un total de 42, seleccionados por su importancia en el proceso de chancado. Los hallazgos revelaron que la disponibilidad promedio de los equipos de chancado era del 89,2 % con una capacidad diaria de chancado de 2500 toneladas, la cual enfrentaba desafíos debido a paradas no programadas que afectaban la producción. Posterior a la aplicación del plan se obtuvo un aumento notable en la disponibilidad y utilización de los equipos, alcanzando un 92,8 %, gracias a la mejora en los tiempos de confiabilidad y mantenibilidad. Además, se logró aumentar MTBF y reducir el MTTR. Concluyó que la evaluación y gestión adecuada de los equipos críticos, junto con una planificación detallada de actividades de mantenimiento, son clave para optimizar la productividad y eficiencia en procesos mineros.

Livias (18) en Trujillo, presentó una investigación centrada en mejorar la duración y eficacia de los neumáticos 53/80R63 Michelin para camiones Komatsu 930E. Se basó en una investigación aplicada. Se aplicó el método de mantenimiento basado en el Análisis de Modo y Efecto de Fallas (AMEF), el Índice de Severidad de Prioridad (PRI) y la Programación para evaluar el desempeño de los neumáticos 53/80R63 en camiones Komatsu 930E en la empresa minera Las Bambas. Se encontró que estos neumáticos presentan tiempos de reparación reducidos y tiempos de operación prolongados, logrando una disponibilidad del 99.32 % y una confiabilidad del 99.9 %. Esto se traduce en un tiempo promedio entre fallas de 43,907.5 horas y un tiempo para reparar de 459 horas, con un tiempo total de operación de 66 779 horas para todas las unidades móviles de la mina. El análisis económico reveló que implementar mejoras en la eficiencia de vida útil de estos neumáticos generaría un beneficio por ahorro/fallas de \$ 192 487.61, con costos de mantenimiento predictivo de \$36,924.00 y mantenimiento preventivo de \$ 36 720.00. Después de considerar una inversión inicial de \$ 71 080.00 en activos fijos, repuestos, accesorios y materiales, se calculó un beneficio útil neto de

\$ 118 843.00 por año. Esto resulta en un Retorno Operacional de Inversión (ROI) positivo en un período de 7.188 meses, lo que indica una viabilidad financiera favorable para la empresa.

Nina y López (19) en Ayacucho, se centraron en la implementación de un modelo de gestión de mantenimiento basado en los principios del RCM (*Reliability Centered Maintenance*) para aumentar la disponibilidad de equipos subterráneos en una compañía de mediana minería. Se trató de un estudio aplicado que incluyó un diagnóstico objetivo mediante el diagrama de Pareto y el diagrama causa-efecto. La muestra se centró en la flota de *Scoop*, que registraba una disponibilidad del 77 % y un costo anual de mantenimiento de \$ 1 236 239.00. Los hallazgos revelaron que los problemas principales eran interrupciones frecuentes en el suministro de energía, afectaciones a la potencia y movilidad de las ruedas, y condiciones tanto internas como externas de los equipos. Posterior a la aplicación se obtuvo un aumento en la disponibilidad de los equipos del 77 % al 83 %. Además, el tiempo medio entre fallas (MTTF) mejoró de 56 a 83 horas, mientras que el tiempo medio para la reparación (MTTR) se redujo de 13 horas por avería a 9 horas. Esto resultó en un incremento en la extracción de mineral de 12 630.62 toneladas. Lograron concluir que la metodología RCM propuesta demostró ser una solución efectiva para mejorar la eficiencia operativa y la disponibilidad de los equipos.

Chacón (20) en Huancayo, se propuso la instauración de un plan preventivo para el mantenimiento que estuvo orientado a potenciar la productividad, evaluando el impacto de dicho plan en la eficiencia operativa de los equipos de chancado secundario en una unidad minera. Adoptó una metodología de carácter científico y aplicado, con un diseño cuasi experimental. Se recopilaron datos detallados sobre horas de operación, tiempos de parada, y número de fallos durante 24 semanas. Los resultados revelaron un aumento significativo en la productividad, de un 82,98 % a un 87,54 %, lo que equivale a un incremento del 4,57 % o 2078,82 toneladas por semana. Además, se observó una mejora en la eficacia del proceso, alcanzando un 91.58 %, y en la eficiencia de las horas máquina, que subió de un 93,01 % a un 95,56 %, un incremento del 2,55 %. Logró concluir que, a implementación del plan logra optimizar significativamente la productividad y eficiencia operativa, reduciendo las paradas no planificadas, el tiempo de reparación y las fallas de equipo.

Barrera (21) en Lima, evidenció una investigación que buscó llevar a cabo un plan de mantenimiento de neumáticos para la flota de equipos pesados. Se basó en una aplicación. El proceso se enfocó en tres servicios clave; primero, el servicio de asistencia técnica para el mantenimiento de neumáticos, donde se especifican los mantenimientos preventivos, correctivos y predictivos; segundo, el servicio de reparación de neumáticos, que permite

recuperar neumáticos dañados para evitar retiradas prematuras y asegurar que alcancen la vida útil esperada por la mina; y tercero, el servicio de control y gestión del rendimiento de los neumáticos, dirigido a optimizar el desempeño operacional, reduciendo costos y mejorando la eficiencia. Finalmente, al crear un cuadro comparativo con años previos, se evidencia que la implementación del plan de gestión de mantenimiento por *Soltrak* resultó en un aumento en la durabilidad de los neumáticos, lo cual llevó a una reducción del costo en un 47.39 % entre el 2014 y el 2015. Se proponen recomendaciones para garantizar su uso adecuado y prolongar su vida útil.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Mantenimiento

Se trata de un proceso que abarca las actividades y operaciones que se implementan para mantener y asegurar la operatividad continua y eficiente de un sistema o infraestructura. En este contexto, el mantenimiento no solo incluye la reparación de fallas y averías, sino también se encarga de la optimización de procesos, así como de sistemas para prevenir problemas futuros y aumentar la eficiencia operativa (22)

Asimismo, se define como el conjunto integral de acciones y técnicas aplicadas sistemáticamente para garantizar el funcionamiento adecuado y la fiabilidad de equipos, maquinarias o sistemas. Estas acciones incluyen la inspección, detección y corrección de fallos, ya sea antes de que estos ocurran o después de que se haya dado una falla operativa (23).

Además, busca no solo mantener equipos y sistemas en condiciones de trabajo óptimas, sino también considerar el cometido de estos activos en lo que corresponde a su ciclo de vida completo. Esto comprende una programación estratégica de las actividades de mantenimiento, la evaluación de costos a lo largo del tiempo, y los criterios para la toma de decisiones basadas en análisis de riesgos y rendimiento, con el objetivo de maximizar la eficiencia así como también la rentabilidad de los activos de una organización (24).

2.2.2. Plan de mantenimiento

Consiste en una estrategia preventiva, organizada y sistemática diseñada para garantizar la eficiencia, confiabilidad y vida útil de activos, equipos, maquinaria o sistemas en una empresa o entorno. Este enfoque estratégico no solo se enfoca en abordar las necesidades actuales de mantenimiento, sino que también se anticipa a posibles problemas y desafíos futuros. Al emplear un plan de mantenimiento efectivo, se busca minimizar el tiempo de inactividad no planificado, reducir los costos de reparación y reemplazo, y garantizar un

funcionamiento óptimo de los activos, lo que, en última instancia, contribuye al éxito y la competitividad de la organización (25).

La implementación de un plan de mantenimiento se puede llevar a cabo de diversas maneras, y los tres enfoques principales son (26):

- **Recomendaciones de los fabricantes:** Se basa en seguir las pautas y sugerencias proporcionadas por los fabricantes de equipos y maquinaria. Estas recomendaciones son específicas para cada tipo de equipo y se centran en las necesidades particulares de mantenimiento para mantener el rendimiento óptimo y la durabilidad.
- **Protocolos genéricos:** Son conjuntos de procedimientos estándar que se aplican de manera uniforme a una variedad de equipos y sistemas. Estos protocolos son versátiles y se utilizan cuando no existen recomendaciones específicas, son útiles para garantizar un mantenimiento básico y prevenir problemas comunes en diferentes tipos de equipos.
- **Análisis de fallos potenciales:** Este enfoque implica la identificación proactiva de posibles fallos y problemas en los equipos. Se basa en la experiencia, el historial de mantenimiento y el conocimiento técnico para anticipar y abordar problemas antes de que ocurran.

2.2.2.1. La caracterización de equipos

De acuerdo con la norma ISO 14224-2016, representa un valioso recurso al permitir la recopilación precisa de información y datos relacionados con los activos. Esta recopilación de datos conlleva beneficios significativos, ya que abre la puerta a la optimización de los tiempos de reparación e inspección de los equipos, mejora la calidad de los procedimientos de mantenimiento y facilita la toma de decisiones informadas (27).

2.2.2.2. Clasificación del mantenimiento

El mantenimiento se divide en varias categorías según sus enfoques y objetivos (28):

- **Mantenimiento correctivo:** Se centra en reparar equipos o sistemas después de que han experimentado una falla o avería. Implica tomar medidas correctivas para restaurar el funcionamiento normal y solucionar problemas identificados. En resumen, se trata de responder a situaciones de emergencia para restaurar la funcionalidad (29).

- **Mantenimiento preventivo:** Se realiza de manera programada y regular antes de que ocurran problemas. Consiste en inspecciones, ajustes y reemplazos planificados de componentes para evitar fallas y maximizar la confiabilidad a lo largo del tiempo. Su objetivo principal es prevenir averías y reducir el tiempo de inactividad no planificado (30).
- **Mantenimiento según condición y predictivo:** Estos comprenden la evaluación de las condiciones y el monitoreo continuo de equipos. El mantenimiento según condición implica el seguimiento de parámetros específicos para determinar cuándo es necesario intervenir. El mantenimiento predictivo utiliza datos y tecnología avanzada para predecir cuándo se requerirán acciones de mantenimiento con base en el análisis de tendencias y patrones de desgaste (31).
- **Mantenimiento *Hard Time* o cero horas:** Este enfoque implica realizar tareas de mantenimiento en un momento específico predefinido, generalmente después de cierto número de horas de funcionamiento. A menudo se aplica en la aviación y la industria aeroespacial, donde se desmonta y revisa un componente antes de alcanzar un número predeterminado de horas de operación, sin importar su estado aparente (29).
- **Mantenimiento en uso:** También conocido como «mantenimiento en servicio» o «mantenimiento en operación,» se lleva a cabo mientras los equipos o sistemas aún están en funcionamiento. Se trata de realizar inspecciones y mantenimiento de rutina sin interrumpir la producción o las operaciones. El objetivo es mantener la continuidad operativa sin detener la maquinaria (31).

2.2.2.3. Sistemas o estrategias de mantenimiento

A. Metodología de RCM

Consiste en un enfoque sistemático utilizado para desarrollar estrategias de sostenimiento efectivas y eficientes para equipos y sistemas. Implica la selección del equipo o sistema a estudiar y la formación de un equipo interdisciplinario para llevar a cabo el análisis. Este equipo identifica las funciones críticas y los posibles modos de falla, evaluando su probabilidad y consecuencias. Con base en esta evaluación, se seleccionan estrategias de mantenimiento, que pueden incluir el mantenimiento preventivo, predictivo y reactivo. Asimismo, promueve la mejora continua a lo largo del ciclo de vida del equipo o sistema, lo que garantiza la confiabilidad y disponibilidad, al tiempo que se optimizan los costos operativos y se garantiza un funcionamiento seguro y eficiente (32).

B. Metodología FMECA

Busca identificar modos de falla de alto riesgo en un proceso. Se divide en dos etapas: una cualitativa, donde se descompone el proceso en sus partes y se evalúan los modos de falla, incluyendo sus efectos potenciales; y una cuantitativa, en la que se asignan valores numéricos a índices de severidad, ocurrencia y detección. Asimismo, se procede al cálculo del Índice de Prioridad de Riesgo (IPR) para determinar qué elementos o modos de falla representan un mayor riesgo en el proceso. Este enfoque es esencial para la gestión de riesgos y la toma de decisiones preventivas en la industria (33).

2.2.2.4. Dimensiones del plan de mantenimiento

En relación con sus indicadores de mayor utilidad para evaluar el rendimiento de los activos se tienen (25):

- **Disponibilidad:** se calcula mediante la proporción de horas en las que un equipo ha estado disponible para operar con respecto al total de horas en un período determinado. Además, la disponibilidad instantánea, una función clave, caracteriza la capacidad de un sistema complejo de operación continua para funcionar en momentos específicos.

$$\text{Disponibilidad} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100$$

Donde:

MTBF = Tiempo medio entre fallas

$$MTBF = \frac{\text{Horas de trabajo}}{\text{Número de averías}}$$

MTTR = Tiempo promedio para reparación

$$MTTR = \frac{\text{Horas de trabajo en mantenimiento}}{\text{Número de averías}}$$

- **Costos de mantenimiento:** Son parámetros que se manejan constantemente en el mantenimiento, ya que proporcionan información crítica. También se destacan los costos de materiales de mantenimiento, que pueden subdividirse según sea necesario, como mecánicos, eléctricos y repuestos genéricos, contribuyendo a optimizar la productividad y la confiabilidad.

- **Costos de mano de obra:** representan la suma de los salarios devengados por el personal de mantenimiento y son fundamentales para evaluar el costo humano en esta área. Estos indicadores son esenciales en un contexto en el que el mantenimiento avanza hacia la tercera generación, incorporando tecnologías avanzadas y sistemas de información basados en ordenadores que facilitan la toma de decisiones y el diagnóstico de averías, contribuyendo al rendimiento y la eficiencia de los activos.

2.2.3. Neumáticos

Se trata de una pieza fabricada a partir de una composición de caucho y otros materiales que se instala en la rueda de un vehículo con el propósito principal de brindar adherencia, estabilidad y confort durante la conducción. Es esencial destacar que el neumático representa el único punto de contacto entre el vehículo y la superficie del camino. Por lo tanto, el comportamiento dinámico y la seguridad del vehículo están intrínsecamente vinculados a la calidad y el estado de esta componente esencial (21).

2.2.3.1. Empleo de neumáticos

En la industria minera es sometido a tensiones significativas debido a las cargas pesadas que soportan. Por lo tanto, la resistencia y la calidad de los neumáticos son esenciales para mantener la operación continua. Para lograr un uso eficiente de los neumáticos, es crucial seleccionarlos adecuadamente según las condiciones y los vehículos de destino. Además, es fundamental montar, utilizar y mantener los neumáticos de manera adecuada. Siguiendo estas pautas, se pueden minimizar los daños a los neumáticos, prolongar su vida útil, prevenir accidentes, reducir los costos de mantenimiento y minimizar los tiempos de inactividad en la minería (34).

2.2.3.2. Funciones de los neumáticos

- **Soportar la carga:** El conjunto montado comprende el neumático, el aro y sus componentes, así como el aire comprimido que permite sostener la carga (35).

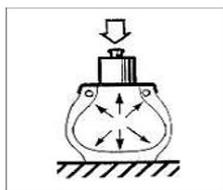


Figura 11. Función de soporte de un neumático (36)

- **Absorber impactos durante el transporte:** Los neumáticos protegen tanto el vehículo como su conductor de las perturbaciones y las consecuencias de las irregularidades en el camino. Además, proporcionan comodidad al conductor (34).

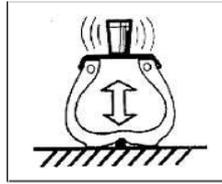


Figura 12. Función de amortiguación de un neumático (36)

- **Controlar y mantener la dirección en las curvas:** Los neumáticos generan fuerzas transversales que guían el vehículo al tomar curvas (36).

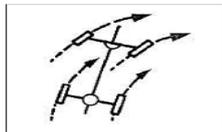


Figura 13. Función dirección de un neumático (36)

- **Transferir tracción y fuerza de frenado:** Los neumáticos son responsables de transmitir todos los esfuerzos del vehículo a la superficie de la carretera, incluida la potencia del motor a través del par motor/frenos al aro (34).

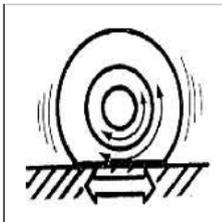


Figura 14. Función de transmisión de un neumático (36)

2.2.3.3. Componentes fundamentales de los neumáticos

Comprenden diversos elementos, entre ellos (37):

- **Flanco:** Esta sección está fabricada con goma flexible que se adapta a las deformaciones del neumático durante la rodadura. Su función principal es proteger el neumático contra impactos laterales. En esta zona, se encuentra una capa extra gruesa de goma que se extiende desde el talón hasta la banda de rodadura, brindando estabilidad lateral. Además, es el lugar donde se encuentran los datos del fabricante del neumático.

- **Hombro:** En esta área la goma tiene mayor grosor, esto se debe a que frecuentemente es considerada como la que tiene mayor exposición a bordes y otros tipos de impactos. Además de su función protectora, esta área facilita la dispersión del calor generado por el neumático durante su desplazamiento sobre la carretera.
- **Lonas de carcasa:** Estas son fibras textiles dispuestas en arcos en ángulos rectos y adheridas al caucho de la cubierta del neumático. Las lonas de carcasa proporcionan la resistencia necesaria para que el neumático pueda soportar la presión y mantener su forma.
- **Lonas de cima:** Se trata de cables de acero que se caracterizan por ser muy finos y resistentes y a su vez se cruzan oblicuamente y se adhieren entre sí formando triángulos que no son deformables. Esto garantiza la robustez y también la flexibilidad del neumático al mismo tiempo.
- **Talón:** Comprende la parte interna que se ajusta a la llanta. Este se encuentra conformado por alambres de acero que son de alta tecnología y se encuentran dispuestos en un cable con forma de trenzado y a su vez circular. Esto facilita el ajuste del neumático en la llanta y evita el deslizamiento.
- **Revestimiento de goma interna:** Esta es la capa de goma más interna y su función principal es retener el aire en el interior, garantizando la estanqueidad.
- **Banda de rodadura:** Proporciona la amortiguación y agarre al neumático, juega un papel fundamental en la definición de las características de rendimiento clave de este componente.

2.2.3.4. Los cortes en los neumáticos

La mayoría de las perforaciones y cortes en los neumáticos tienden a ocurrir en la zona de la banda de rodadura, que es la parte en contacto directo con la superficie de la carretera. Sin embargo, es importante destacar que un porcentaje significativo de estos cortes también se produce en otras áreas, como el flanco y el hombro del neumático. Estas áreas son igualmente vulnerables a impactos y objetos afilados en la carretera (11).

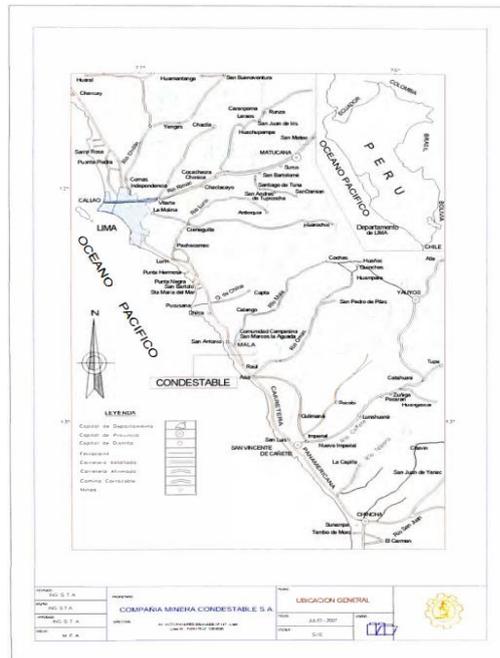


Figura 15. Corte de un neumático en banda de rodado (11)

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

Ubicación:

La compañía minera Condestable se ubica en Bujama Alta s/n km 90 Antigua Panamericana Sur en el distrito de Mala, provincia de Cañete en el departamento de Lima.



*Figura 16. Ubicación y acceso de mina Condestable
Fuente: Departamento de Planeamiento de la Cía. minera Condestable S. A.*

3.1. Método, tipo o alcance de la investigación

3.1.1. Método

El enfoque fue cuantitativo, dado que este es una metodología que se utiliza para recopilar y analizar datos numéricos y estadísticas con el propósito de describir, explicar o

predecir fenómenos, así como para probar hipótesis y relaciones entre variables. Este enfoque se caracteriza por su énfasis en la medición objetiva y la cuantificación de datos, lo que permite la aplicación de técnicas estadísticas para el análisis de los mismos (38).

Atribuyéndole este concepto al trabajo actual, se adoptó este enfoque para poder tratar con información numérica que provenía de los reportes de operación de los camiones *Scoop* de bajo perfil, donde se recopiló información acerca de sus horas de operación, tiempos de paradas y otras métricas que permitieron el análisis descriptivo.

3.1.2. Alcance de la investigación

Por otro lado, la investigación explicativa se centra en el análisis de las relaciones causa-efecto entre diversas variables o fenómenos. Su objetivo principal es proporcionar una comprensión más profunda de por qué se producen eventos o fenómenos específicos, identificando las relaciones subyacentes que los desencadenan. Este tipo de investigación busca profundizar en la comprensión de los factores que contribuyen a un resultado particular (39).

En términos de este alcance, se buscó detallar los efectos que manifestaba la optimización del plan de mantenimiento de neumáticos a través de acciones correctivas y preventivas, a fin de reducir costos operativos, incrementar las horas de operación y elevar las métricas asociadas a la disponibilidad por encima del 85 % en la empresa.

3.1.3. Tipo de investigación

La investigación aplicada se caracteriza por su enfoque en la solución de problemas o la generación de conocimiento práctico y aplicable en situaciones del mundo real. Su principal objetivo radica en la creación de soluciones, productos o servicios que puedan tener un impacto beneficioso en la sociedad, la industria o el contexto en el que se desarrolla la investigación (39).

Considerando el concepto anterior, el estudio se basó en la aplicación de conocimientos técnicos y científicos estructurados para respetar el marco de aplicación del mantenimiento en cuanto a las normas técnicas del sector minero y garantizar la replicabilidad de estos resultados para otras investigaciones, considerando que los aportes tienen sustento en evidencias comprobables por medio de los indicadores de mantenimiento, permitiendo de esta manera proporcionar una solución a uno de los problemas más representativos de la compañía minera Condestable S. A.

3.1.4. Diseño de investigación

El diseño experimental se centra en alterar deliberadamente ciertas variables para estudiar cómo afectan a otras, asegurándose de que otros factores no interfieran en los resultados. Es un método clave para determinar la causalidad en la ciencia (40).

Finalmente, se adjudicó el diseño experimental a la solución relacionada a la optimización del plan de mantenimiento por la necesidad de modificar las actividades, procesos y acciones actuales en la compañía con el propósito de generar un cambio en la variable dependiente, en este caso, la incidencia de los cortes en los neumáticos y la afectación del indicador de disponibilidad en los equipos operados a control remoto.

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población

Es un compendio de elementos de estudio sobre el que se lleva a cabo el estudio. En tal sentido, puede estar constituida por personas o cosas (41). Para este caso, estuvo compuesta por 8 equipos de bajo perfil R1600G/R1600H en total. En la lista se detalla la fuente de información necesaria para el estudio; esta contiene descripciones como la marca del fabricante, el modelo del equipo, código interno, potencia, y la capacidad de carga del cucharón.

Tabla 9. Datos de los Equipos Bajo Perfil

Ítem	Equipo	Marca	Modelo	Código	Potencia	Cap. cucharón
1	Scoop	Caterpillar	R1600G	C606	268 HP	6.2 yd ³
2	Scoop	Caterpillar	R1600G	C609	268 HP	6.2 yd ³
3	Scoop	Caterpillar	R1600G	C624	268 HP	6.2 yd ³
4	Scoop	Caterpillar	R1600G	C625	268 HP	6.2 yd ³
5	Scoop	Caterpillar	R1600G	C626	268 HP	6.2 yd ³
6	Scoop	Caterpillar	R1600G	C627	268 HP	6.2 yd ³
7	Scoop	Caterpillar	R1600H	C629	278.9 HP	6.2 yd ³
8	Scoop	Caterpillar	R1600H	C630	278.9 HP	6.2 yd ³

3.2.2. Muestra

La muestra se define como el grupo que forma parte de la población completa, de donde se extraen los datos para evaluar los parámetros de las variables planteadas en el estudio (42). En este caso se hizo uso de un muestreo censal, que es aquel que toma en cuenta la población en su totalidad. Por lo tanto, la muestra serán los 8 equipos de bajo perfil R1600G/R1600H.

3.3. Materiales y métodos

Primeramente, se definieron los objetivos de la investigación, esto para tener claro el alcance del estudio y definir la metodología apropiada. Asimismo, para la recolección de datos como técnicas se utilizó la encuesta, que están diseñadas para obtener información específica

de un grupo representativo de personas. Son especialmente útiles para comprender actitudes, opiniones, comportamientos o características demográficas (39).

Del mismo modo, se hizo uso de la observación directa se basa en el monitoreo y registro de comportamientos o eventos tal como ocurren en su entorno natural. Este enfoque permite a los investigadores ver cómo las personas se comportan en situaciones reales, lo que puede ser particularmente valioso cuando los sujetos podrían no ser conscientes de sus propios comportamientos o podrían no estar dispuestos o ser capaces de proporcionar respuestas precisas en una encuesta (39).

Como instrumentos se utilizó el cuestionario, este instrumento consiste en una serie de preguntas preparadas con antelación, destinadas a recabar información de los encuestados. Los cuestionarios están diseñados para ser claros y concisos, asegurando que las preguntas sean comprendidas de manera uniforme por todos los participantes (38). Esta estuvo compuesta por 10 preguntas y estuvo dirigida a los operarios de los equipos, es de escala nominal y ayudará a conocer el estado actual de la empresa.

Por otro lado, la ficha de observación es un instrumento utilizado principalmente para registrar datos de manera sistemática durante la observación directa de fenómenos, comportamientos o eventos. Esta herramienta permite al investigador anotar observaciones específicas de manera estructurada, garantizando que se recolecte la información relevante de manera consistente (38). En este caso se utilizaron fichas para recoger datos como reportes del operados, inspecciones de los neumáticos, *check list* de equipo cargadores de bajo perfil y ficha de disponibilidad. Los formatos utilizados para los reportes fueron aprobados por la misma gerencia de equipos de la empresa y validada por tres personas de diferentes áreas de la empresa, especialistas en la administración de equipos.

Luego de recabar la información necesaria se procedió a plantear un plan de acción con la añadidura de cadenas para aumentar la durabilidad de los cauchos y se procede a analizar de nuevo los indicadores de disponibilidad para conocer si hay un cambio estadísticamente significativo. Esto apoyará o refutará la hipótesis planteada permitiendo emitir una conclusión.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Estado actual del plan de mantenimiento

La empresa minera maneja equipos cargadores de bajo perfil R1600G/H en su área de mantenimiento en mina, por lo que se presenta, inicialmente, el listado de estos equipos, a continuación:

Tabla 10. Listado de equipos

Ítem	Equipo	Marca	Modelo	Código
1	<i>Scoop</i>	Caterpillar	R1600G	C606
2	<i>Scoop</i>	Caterpillar	R1600G	C609
3	<i>Scoop</i>	Caterpillar	R1600G	C624
4	<i>Scoop</i>	Caterpillar	R1600G	C625
5	<i>Scoop</i>	Caterpillar	R1600G	C626
6	<i>Scoop</i>	Caterpillar	R1600G	C627
7	<i>Scoop</i>	Caterpillar	R1600H	C629
8	<i>Scoop</i>	Caterpillar	R1600H	C630

De ahora en adelante, se referirá hacia los camiones por su código, partiendo del análisis de criticidad, para cuyo propósito se han establecido los siguientes factores de ponderación:

Tabla 11. Factores de ponderación para el análisis de criticidad

Calificación	Frecuencia de fallas (FF) Descripción	Puntaje
Malo	Entre 61 y 100 fallas / año	5
Regular	Entre 31 y 60 fallas / año	3
Bueno	Entre 0 y 30 fallas / año	1
	Impacto operacional (IO)	
	Parada definitiva	10
	Parada momentánea	8
	No requiere parada	6
	Flexibilidad operacional (FO)	

No existe equipo de reemplazo	4
Existe un equipo auxiliar	2
Existen más de dos equipos auxiliares	1
Costo de mantenimiento (CM)	
Mayor a \$50 000 / mes	4
Menor a \$50 000 / mes	2
Impacto en seguridad, higiene y medio ambiente (SHA)	
Alto	8
Medio	6
Mínimo	3
Ninguno	1

Con el propósito de evaluar la criticidad, se ha desglosan las siguientes fórmulas:

$$CTR = FF \times C$$

Donde:

CTR: Criticidad total por riesgo

FF: Frecuencia de fallas (fallos / año)

C: Consecuencia de los eventos de falla.

El valor de la consecuencia se obtiene a partir de la siguiente expresión

$$C = (IO \times FO) + CM + SHA$$

Donde:

IO: factor de impacto en la producción

FO: factor de flexibilidad operacional

CM: factor de costos de mantenimiento

SHA: factor de impacto en seguridad, higiene y medio ambiente

Reemplazando las expresiones anteriormente descritas, se tendría la fórmula final de:

$$CTR = FF \times [(IO \times FO) + CM + SHA]$$

Tabla 12. Causas y ponderación de factores de criticidad

Causas	FF	IO	FO	CM	SHA	C	Criticidad
Rotación de neumático	5	10	4	4	8	52	260
Tiempo de vida útil del neumático	5	10	4	4	3	47	235
Deficiencia en las inspecciones	3	10	4	4	1	45	135
Deficiencia de <i>check list</i>	1	10	4	4	1	45	45
Neumático de baja calidad	5	8	2	2	3	21	105
Operación inadecuada	3	8	2	2	1	19	57
Falta de experiencia en operación	3	6	1	2	3	11	33
Presencia de rocas filosas	1	6	1	2	1	9	9

Iluminación deficiente	1	6	1	2	1	9	9
Visualización deficiente	1	6	1	2	3	11	11

FF

5	50	100	150	200	250
4	40	80	120	160	200
3	30	60	90	120	150
2	20	40	60	80	100
1	10	20	30	40	50
	10	20	30	40	50

C

Figura 17. Matriz de criticidad

Con base en el análisis realizado, las actividades asociadas a la rotación de los neumáticos, el tiempo de vida útil, la deficiencia en las inspecciones y empleo de *check list*, así como la utilización de neumáticos de baja calidad como aquellos factores que motivan a las paradas inmediatas de los camiones.

4.1.1. Confiabilidad de los neumáticos de los equipos

A continuación, se presenta el cálculo de la confiabilidad (RM) y desconfiabilidad (F) del funcionamiento de los neumáticos, en función de sus horas de operación empleando la distribución Weibull:

Tabla 13. Cálculo de confiabilidad

i	Edad (h)	RM	x = Ln t	y = ln(-ln R)	F
1	2011,00	0,45833333	7,60638739	-0,489219929	0,54166667
2	1981,00	0,54166667	7,59135705	-0,248258101	0,45833333
3	1917,00	0,62500000	7,55851674	-0,019356889	0,37500000
4	2100,00	0,70833333	7,64969262	0,208755483	0,29166667
5	2309,00	0,79166667	7,74456981	0,45019365	0,20833333
6	1981,00	0,87500000	7,59135705	0,732099368	0,12500000
7	2245,00	0,95833333	7,7164608	1,156269006	0,04166667
8	2009,00	1,04166667	7,60539236	0	-0,04166667
9	2225,00	1,12500000	7,70751219	0	-0,12500000
10	2121,00	1,20833333	7,65964295	0	-0,20833333
11	2053,00	1,29166667	7,62705742	0	-0,29166667
12	2118,00	1,37500000	7,65822753	0	-0,37500000

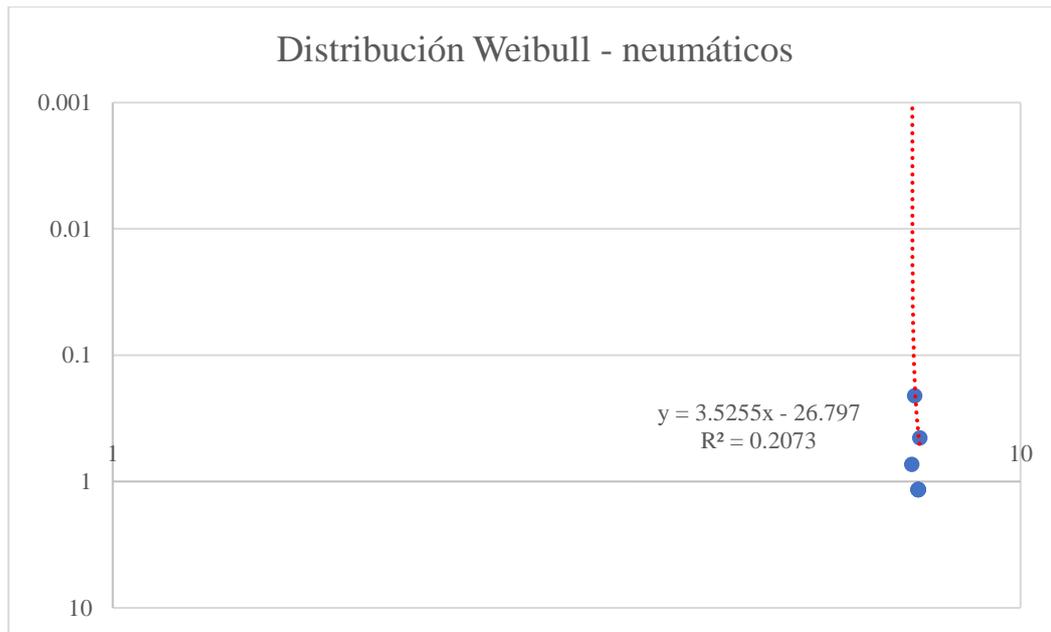


Figura 18. Curva de distribución Weibull para neumáticos

En relación con la ecuación obtenida $y = 3,5255x - 26,797$, se toman los elementos de β y η para analizar el grado de confiabilidad de los componentes (neumáticos) de estos equipos:

Tabla 14. Análisis de la confiabilidad de los equipos – 2020

Componente	β	η	Decisión
Neumáticos de los equipos	3,5255	26,797	$\beta > 1$, las fallas son más probables debido a la naturaleza típica de desgaste o fatiga del material. Requiere mantenimiento proactivo.

Los indicadores de mantenimiento que se analizan, a continuación, proceden de los registros del 2020 de los 8 equipos, los cuales corresponden a los resultados antes de la implementación:

4.1.2. Análisis del indicador de MTBF antes de la implementación

a) Scoop-C606

Tabla 15. Reporte de operación del Scoop-C606 durante el 2020

N.º	Equipo	Mes	Operación (h)	Cantidad de paradas	Tiempo de operación 2020
1	Scoop-C606	Enero	47	2	1270
2		Febrero	0	0	
3		Marzo	0	0	
4		Abril	0	0	
5		Mayo	0	0	

6	Junio	0	0
7	Julio	0	0
8	Agosto	0	0
9	Setiembre	280	9
10	Octubre	269	8
11	Noviembre	330	11
12	Diciembre	344	12

Tabla 16. Resumen del indicador MTBF del Scoop-C606 durante el 2020

N.º	Mes	MTBF
1	Enero	23,5
2	Febrero	-
3	Marzo	-
4	Abril	-
5	Mayo	-
6	Junio	-
7	Julio	-
8	Agosto	-
9	Setiembre	31,1
10	Octubre	33,6
11	Noviembre	30,0
12	Diciembre	28,7

Analizando el indicador de MTBF en el equipo *Scoop-C606*, se pudo apreciar el menor tiempo entre fallas durante el mes de enero (47 h), así como en octubre donde se registró el periodo de operación más largo antes de la ocurrencia de una falla (33,6 h), quedando fuera de operación el resto del año.

b) *Scoop-C609*

Tabla 17. Reporte de operación del Scoop-C609 durante el 2020

N.º	Equipo	Mes	Operación (h)	Cantidad de paradas	Tiempo de operación 2020
1		Enero	0	0	
2		Febrero	0	0	
3		Marzo	0	0	
4		Abril	330	14	
5		Mayo	398	12	
6	<i>Scoop-C609</i>	Junio	331	10	2993
7		Julio	340	9	
8		Agosto	334	11	
9		Setiembre	282	10	
10		Octubre	266	8	
11		Noviembre	346	12	
12		Diciembre	366	13	

Tabla 18. Resumen del indicador MTBF del Scoop-C609 durante el 2020

N.º	Mes	MTBF
1	Enero	-
2	Febrero	-
3	Marzo	-
4	Abril	23,6
5	Mayo	33,2
6	Junio	33,1
7	Julio	37,8
8	Agosto	30,4
9	Setiembre	28,2
10	Octubre	33,3
11	Noviembre	28,8
12	Diciembre	28,2

En el caso del equipo *Scoop-C609*, este también se encontró en operación a partir de abril, debido a que el equipo salió por reparaciones mayores. Su MTBF promedio fue de 30,2 h.

c) *Scoop-C624*

Tabla 19. Reporte de operación del Scoop-C624 durante el 2020

N.º	Equipo	Mes	Operación (h)	Cantidad de paradas	Tiempo de operación 2020
1	<i>Scoop-C24</i>	Enero	324	12	3272
2		Febrero	333	12	
3		Marzo	326	10	
4		Abril	356	13	
5		Mayo	370	11	
6		Junio	328	12	
7		Julio	358	10	
8		Agosto	341	16	
9		Setiembre	277	11	
10		Octubre	259	13	
11		Noviembre	0	0	
12		Diciembre	0	0	

Tabla 20. Resumen del indicador MTBF del Scoop-C624 durante el 2020

N.º	Mes	MTBF
1	Enero	27,0
2	Febrero	27,8
3	Marzo	32,6
4	Abril	27,4
5	Mayo	33,6
6	Junio	27,3
7	Julio	35,8
8	Agosto	21,3

9	Setiembre	25,2
10	Octubre	19,9
11	Noviembre	-
12	Diciembre	-

En relación con el *Scoop-C624*, el máximo tiempo de operación fue de 35,8 h durante el mes de julio, y su MTBF promedio fue de 27,3 h.

d) *Scoop-C625*

Tabla 21. Reporte de operación del *Scoop-C625* durante el 2020

N.º	Equipo	Mes	Operación (h)	Cantidad de paradas	Tiempo de operación 2020
1	<i>Scoop-C25</i>	Enero	315	13	2909
2		Febrero	312	11	
3		Marzo	322	11	
4		Abril	0	0	
5		Mayo	0	0	
6		Junio	0	0	
7		Julio	384	9	
8		Agosto	335	14	
9		Setiembre	269	8	
10		Octubre	275	9	
11		Noviembre	337	15	
12		Diciembre	360	15	

Tabla 22. Resumen del indicador MTBF del *Scoop-C625* durante el 2020

N.º	Mes	MTBF
1	Enero	24,2
2	Febrero	28,4
3	Marzo	29,3
4	Abril	-
5	Mayo	-
6	Junio	-
7	Julio	42,7
8	Agosto	23,9
9	Setiembre	33,6
10	Octubre	30,6
11	Noviembre	22,5
12	Diciembre	24,0

Posteriormente, en el caso del *Scoop-C625*, el mayor tiempo fue en julio con 384 h de operación previo a la ocurrencia de averías, mientras que el menor tiempo ocurrió durante noviembre (22,5 h). Su MTBF promedio fue de 27,7 h.

e) *Scoop-C626*

Tabla 23. Reporte de operación del *Scoop-C626* durante el 2020

N.º	Equipo	Mes	Operación (h)	Cantidad de paradas	Tiempo de operación 2020
1	<i>Scoop-C26</i>	Enero	328	14	4009
2		Febrero	340	15	
3		Marzo	328	11	
4		Abril	359	12	
5		Mayo	398	12	
6		Junio	329	11	
7		Julio	378	11	
8		Agosto	324	13	
9		Setiembre	274	8	
10		Octubre	261	10	
11		Noviembre	343	15	
12		Diciembre	347	13	

Tabla 24. Resumen del indicador MTBF del *Scoop-C626* durante el 2020

N.º	Mes	MTBF
1	Enero	23,4
2	Febrero	22,7
3	Marzo	29,8
4	Abril	29,9
5	Mayo	33,2
6	Junio	29,9
7	Julio	34,4
8	Agosto	24,9
9	Setiembre	34,3
10	Octubre	26,1
11	Noviembre	22,9
12	Diciembre	26,7

Analizando el equipo *Scoop-C26*, el mayor tiempo de operación fue en el mes de mayo con 398 h, mientras que el menor tiempo ocurrió en febrero (22,7 h). Su MTBF promedio fue de 27,6 h.

f) *Scoop-C627*

Tabla 25. Reporte de operación del *Scoop-C627* durante el 2020

N.º	Equipo	Mes	Operación (h)	Cantidad de paradas	Tiempo de operación 2020
1	<i>Scoop-C27</i>	Enero	336	15	3291
2		Febrero	327	12	
3		Marzo	317	10	
4		Abril	356	14	

5	Mayo	387	12
6	Junio	333	12
7	Julio	0	0
8	Agosto	0	0
9	Setiembre	288	9
10	Octubre	257	11
11	Noviembre	351	13
12	Diciembre	339	16

Tabla 26. Resumen del indicador MTBF del Scoop-C27 durante el 2020

N.º	Mes	MTBF
1	Enero	22,4
2	Febrero	27,3
3	Marzo	31,7
4	Abril	25,4
5	Mayo	32,3
6	Junio	27,8
7	Julio	-
8	Agosto	-
9	Setiembre	32,0
10	Octubre	23,4
11	Noviembre	27,0
12	Diciembre	21,2

Asimismo, el equipo *Scoop-C627* en el mes de mayo tuvo un total de 387 h de operación y en diciembre se reportó el menor tiempo antes de su avería (21,2 h). Su MTBF promedio fue de 26,5 h.

g) Scoop-C629

Tabla 27. Reporte de operación del Scoop-C629 durante el 2020

N.º	Equipo	Mes	Operación (h)	Cantidad de paradas	Tiempo de operación 2020
1		Enero	342	14	
2		Febrero	337	14	
3		Marzo	315	10	
4		Abril	347	13	
5		Mayo	391	12	
6	<i>Scoop-C629</i>	Junio	334	14	4031
7		Julio	388	11	
8		Agosto	335	12	
9		Setiembre	279	8	
10		Octubre	255	12	
11		Noviembre	346	10	
12		Diciembre	362	10	

Tabla 28. Resumen del indicador MTBF del Scoop-C629 durante el 2020

N.º	Mes	MTBF
1	Enero	24,4
2	Febrero	24,1
3	Marzo	31,5
4	Abril	26,7
5	Mayo	32,6
6	Junio	23,9
7	Julio	35,3
8	Agosto	27,9
9	Setiembre	34,9
10	Octubre	21,3
11	Noviembre	34,6
12	Diciembre	36,2

En relación con el *Scoop-C629*, el máximo tiempo de operación transcurrió durante el mes de mayo (391 h), mientras que el menor tiempo antes de la ocurrencia de una avería ocurrió en octubre (21,3 h). Su MTBF promedio fue de 28,8 h.

h) *Scoop-C630*

Tabla 29. Reporte de operación del Scoop-C630 durante el 2020

N.º	Equipo	Mes	Operación (h)	Cantidad de paradas	Tiempo de operación 2020
1	<i>Scoop-C30</i>	Enero	319	11	3294
2		Febrero	332	12	
3		Marzo	309	10	
4		Abril	352	12	
5		Mayo	365	11	
6		Junio	326	13	
7		Julio	397	11	
8		Agosto	340	12	
9		Setiembre	276	8	
10		Octubre	278	9	
11		Noviembre	0	0	
12		Diciembre	0	0	

Tabla 30. Resumen del indicador MTBF del Scoop-C630 durante el 2020

N.º	Mes	MTBF
1	Enero	29,0
2	Febrero	27,7
3	Marzo	30,9
4	Abril	29,3
5	Mayo	33,2

6	Junio	25,1
7	Julio	36,1
8	Agosto	28,3
9	Setiembre	34,5
10	Octubre	30,9
11	Noviembre	-
12	Diciembre	29,0

Finalmente, se analiza que el *Scoop-C630* obtuvo su mayor mes de operación en julio con 397 h. Por otro lado, el menor tiempo transcurrido antes de una avería fue en junio con 25,1 h. Su MTBF promedio fue de 30,2 h.

4.1.3. Análisis del indicador de MTTR antes de la implementación

a) *Scoop-C606*

Tabla 31. Reporte de fallas del *Scoop-C606* durante el 2020

N.º	Equipo	Mes	Tiempo de parada (h)	# de paradas	Tiempo total de parada (h)
1	<i>Scoop-C606</i>	Enero	10,30	2	5,2
2		Febrero	0,00	0	-
3		Marzo	0,00	0	-
4		Abril	0,00	0	-
5		Mayo	0,00	0	-
6		Junio	0,00	0	-
7		Julio	0,00	0	-
8		Agosto	0,00	0	-
9		Setiembre	49,00	9	5,4
10		Octubre	56,00	8	7,0
11		Noviembre	85,00	11	7,7
12		Diciembre	74,00	12	6,2

Tabla 32. Resumen del indicador MTTR del *Scoop-C606* durante el 2020

N.º	Mes	MTTR
1	Enero	5,2
2	Febrero	-
3	Marzo	-
4	Abril	-
5	Mayo	-
6	Junio	-
7	Julio	-
8	Agosto	-
9	Setiembre	5,4
10	Octubre	7,0
11	Noviembre	7,7
12	Diciembre	6,2

Con base en el registro de datos del *Scoop-C606*, el tiempo promedio de paradas durante el 2020 fue de 6,3 h y su MTTR promedio fue de 6,5 h.

b) *Scoop-C609*

Tabla 33. Reporte de fallas del *Scoop-C609* durante el 2020

N.º	Equipo	Mes	Tiempo de parada (h)	# de paradas	Tiempo total de parada (h)
1		Enero	0	0	-
2		Febrero	0	0	-
3		Marzo	0	0	-
4		Abril	45	14	3,2
5		Mayo	70	12	5,8
6	<i>Scoop-C609</i>	Junio	75,58	10	7,6
7		Julio	60	9	6,7
8		Agosto	57	11	5,2
9		Setiembre	61	10	6,1
10		Octubre	51	8	6,4
11		Noviembre	74	12	6,2
12		Diciembre	59	13	4,5

Tabla 34. Resumen del indicador MTTR del *Scoop-C609* durante el 2020

N.º	Mes	MTTR
1	Enero	-
2	Febrero	-
3	Marzo	-
4	Abril	3,2
5	Mayo	5,8
6	Junio	7,6
7	Julio	6,7
8	Agosto	5,2
9	Setiembre	6,1
10	Octubre	6,4
11	Noviembre	6,2
12	Diciembre	4,5

Para el caso del *Scoop-C609*, se pudo constatar un tiempo total promedio de paradas de 5,7 h y un MTTR promedio de 5,6 h.

c) *Scoop-C24*

Tabla 35. Reporte de fallas del *Scoop-C624* durante el 2020

N.º	Equipo	Mes	Tiempo de parada (h)	# de paradas	Tiempo total de parada (h)
1		Enero	91	12	7,6
2	<i>Scoop-C624</i>	Febrero	63	12	5,3
3		Marzo	65	10	6,5

4	Abril	67	13	5,2
5	Mayo	63	11	5,7
6	Junio	82	12	6,8
7	Julio	56	10	5,6
8	Agosto	66	16	4,1
9	Setiembre	61	11	5,5
10	Octubre	57	13	4,4
11	Noviembre	0	0	-
12	Diciembre	0	0	-

Tabla 36. Resumen del indicador MTTR del Scoop-C624 durante el 2020

N.º	Mes	MTTR
1	Enero	7,6
2	Febrero	5,3
3	Marzo	6,5
4	Abril	5,2
5	Mayo	5,7
6	Junio	6,8
7	Julio	5,6
8	Agosto	4,1
9	Setiembre	5,5
10	Octubre	4,4
11	Noviembre	-
12	Diciembre	-

Así también, en el *Scoop-C624* se reportó un promedio total de parada de 5,7 h y un MTTR promedio de 5,5 h.

d) Scoop-C625

Tabla 37. Reporte de fallas del Scoop-C625 durante el 2020

N.º	Equipo	Mes	Tiempo de parada (h)	# de Paradas	Tiempo total de parada (h)
1	<i>Scoop-C625</i>	Enero	85	13	6,5
2		Febrero	58	11	5,3
3		Marzo	64	11	5,8
4		Abril	0	0	-
5		Mayo	0	0	-
6		Junio	0	0	-
7		Julio	60	9	6,7
8		Agosto	57	14	4,1
9		Setiembre	53	8	6,6
10		Octubre	59	9	6,6
11		Noviembre	89	15	5,9
12		Diciembre	72	15	4,8

Tabla 38. Resumen del indicador MTTR del Scoop-C25 durante el 2020

N.º	Mes	MTTR
1	Enero	6,5
2	Febrero	5,3
3	Marzo	5,8
4	Abril	-
5	Mayo	-
6	Junio	-
7	Julio	6,7
8	Agosto	4,1
9	Setiembre	6,6
10	Octubre	6,6
11	Noviembre	5,9
12	Diciembre	4,8

Consecuentemente, en el caso del *Scoop-C25*, se reportó el tiempo total promedio de 5,8 h y un MTTR promedio de 5,7 h.

e) Scoop-C626

Tabla 39. Reporte de fallas del Scoop-C626 durante el 2020

N.º	Equipo	Mes	Tiempo de parada (h)	# de paradas	Tiempo total de parada (h)
1	<i>Scoop-C626</i>	Enero	95	14	6,8
2		Febrero	69	15	4,6
3		Marzo	59	11	5,4
4		Abril	69	12	5,8
5		Mayo	68	12	5,7
6		Junio	71	11	6,5
7		Julio	60	11	5,5
8		Agosto	87	13	6,7
9		Setiembre	50	8	6,3
10		Octubre	57	10	5,7
11		Noviembre	84	15	5,6
12		Diciembre	69	13	5,3

Tabla 40. Resumen del indicador MTTR del Scoop-C626 durante el 2020

N.º	Mes	MTTR
1	Enero	6,8
2	Febrero	4,6
3	Marzo	5,4
4	Abril	5,8
5	Mayo	5,7
6	Junio	6,5
7	Julio	5,5
8	Agosto	6,7
9	Setiembre	6,3

10	Octubre	5,7
11	Noviembre	5,6
12	Diciembre	5,3

Para el *Scoop-C626* el tiempo total promedio de parada fue de 5,8 h y un MTTR promedio de 5,8 h.

f) *Scoop-C627*

Tabla 41. Reporte de fallas del *Scoop-C627* durante el 2020

N.º	Equipo	Mes	Tiempo de parada (h)	# de Paradas	Tiempo total de parada (h)
1	<i>Scoop-C627</i>	Enero	97	15	6,5
2		Febrero	62	12	5,2
3		Marzo	65	10	6,5
4		Abril	69	14	4,9
5		Mayo	78	12	6,5
6		Junio	79	12	6,6
7		Julio	0	0	-
8		Agosto	0	0	-
9		Setiembre	52	9	5,8
10		Octubre	61	11	5,5
11		Noviembre	73	13	5,6
12		Diciembre	76	16	4,8

Tabla 42. Resumen del indicador MTTR del *Scoop-C627* durante el 2020

N.º	Mes	MTTR
1	Enero	6,5
2	Febrero	5,2
3	Marzo	6,5
4	Abril	4,9
5	Mayo	6,5
6	Junio	6,6
7	Julio	-
8	Agosto	-
9	Setiembre	5,8
10	Octubre	5,5
11	Noviembre	5,6
12	Diciembre	4,8

Para el caso de *Scoop-C627*, el tiempo total promedio fue de 5,8 h, con un MTTR promedio de 5,7 h.

g) Scoop-C629

Tabla 43. Reporte de fallas del Scoop-C629 durante el 2020

N.º	Equipo	Mes	Tiempo de parada (h)	# de Paradas	Tiempo total de parada (h)
1	Scoop-C629	Enero	93	14	6,6
2		Febrero	73	14	5,2
3		Marzo	59	10	5,9
4		Abril	71	13	5,5
5		Mayo	77	12	6,4
6		Junio	72	14	5,2
7		Julio	68	11	6,2
8		Agosto	58	12	4,8
9		Setiembre	59	8	7,4
10		Octubre	59	12	4,9
11		Noviembre	75	10	7,5
12		Diciembre	65	10	6,5

Tabla 44. Resumen del indicador MTTR del Scoop-C629 durante el 2020

N.º	Mes	MTTR
1	Enero	6,6
2	Febrero	5,2
3	Marzo	5,9
4	Abril	5,5
5	Mayo	6,4
6	Junio	5,2
7	Julio	6,2
8	Agosto	4,8
9	Setiembre	7,4
10	Octubre	4,9
11	Noviembre	7,5
12	Diciembre	6,5

Tomando de referencia lo anterior, para el *Scoop-C629* el tiempo total promedio fue de 6 h, con un MTTR de 5,9 h.

h) Scoop-C630

Tabla 45. Reporte de fallas del Scoop-C630 durante el 2020

N.º	Equipo	Mes	Tiempo de parada (h)	# de Paradas	Tiempo total de parada (h)
1	Scoop-C30	Enero	80,00	11	7,3
2		Febrero	68,00	12	5,7
3		Marzo	58,00	10	5,8
4		Abril	71,00	12	5,9
5		Mayo	64,00	11	5,8
6		Junio	77,00	13	5,9
7		Julio	67,00	11	6,1

8	Agosto	72,00	12	6,0
9	Setiembre	50,00	8	6,3
10	Octubre	58,00	9	6,4
11	Noviembre	0,00	0	-
12	Diciembre	0,00	0	-

Tabla 46. Resumen del indicador MTTR del Scoop-C630 durante el 2020

N.º	Mes	MTTR
1	Enero	7,3
2	Febrero	5,7
3	Marzo	5,8
4	Abril	5,9
5	Mayo	5,8
6	Junio	5,9
7	Julio	6,1
8	Agosto	6,0
9	Setiembre	6,3
10	Octubre	6,4
11	Noviembre	-
12	Diciembre	-

Finalmente, para el *Scoop-C630* el tiempo total promedio ascendió a 6,1 h, con un MTTR promedio de 6,1 h.

4.1.4. Análisis del indicador de disponibilidad antes de la implementación

a) *Scoop-C606*

Tabla 47. Disponibilidad del Scoop-C606 durante el 2020

N.º	Mes	D
1	Enero	82 %
2	Febrero	-
3	Marzo	-
4	Abril	-
5	Mayo	-
6	Junio	-
7	Julio	-
8	Agosto	-
9	Setiembre	85 %
10	Octubre	83 %
11	Noviembre	80 %
12	Diciembre	82 %

El indicador de disponibilidad del *Scoop-C606* fue de 82 % durante el 2020

b) Scoop-C609**Tabla 48. Disponibilidad del Scoop-C609 durante el 2020**

N.º	Mes	D
1	Enero	-
2	Febrero	-
3	Marzo	-
4	Abril	88 %
5	Mayo	85 %
6	Junio	81 %
7	Julio	85 %
8	Agosto	85 %
9	Setiembre	82 %
10	Octubre	84 %
11	Noviembre	82 %
12	Diciembre	86 %

Tomando de referencia la disponibilidad para el *Scoop-C609*, esta fue de 84 %

c) Scoop-C624**Tabla 49. Disponibilidad del Scoop-C624 durante el 2020**

N.º	Mes	D
1	Enero	78 %
2	Febrero	84 %
3	Marzo	83 %
4	Abril	84 %
5	Mayo	85 %
6	Junio	80 %
7	Julio	86 %
8	Agosto	84 %
9	Setiembre	82 %
10	Octubre	82 %
11	Noviembre	-
12	Diciembre	-

La disponibilidad, en el caso del *Scoop-C624*, fue de 83 %

d) Scoop-C625**Tabla 50. Disponibilidad del Scoop-C625 durante el 2020**

N.º	Mes	D
1	Enero	79 %
2	Febrero	84 %
3	Marzo	83 %
4	Abril	-
5	Mayo	-

6	Junio	-
7	Julio	86 %
8	Agosto	85 %
9	Setiembre	84 %
10	Octubre	82 %
11	Noviembre	79 %
12	Diciembre	83 %

En el caso del *Scoop-C625*, la disponibilidad que se reportó fue de un promedio de 83 %

e) *Scoop-C626*

Tabla 51. Disponibilidad del *Scoop-C626* durante el 2020

N.º	Mes	D
1	Enero	78 %
2	Febrero	83 %
3	Marzo	85 %
4	Abril	84 %
5	Mayo	85 %
6	Junio	82 %
7	Julio	86 %
8	Agosto	79 %
9	Setiembre	85 %
10	Octubre	82 %
11	Noviembre	80 %
12	Diciembre	83 %

Conforme a lo anterior, el *Scoop-C626* reportó una disponibilidad promedio de 83 %

f) *Scoop-C627*

Tabla 52. Disponibilidad del *Scoop-C627* durante el 2020

N.º	Mes	D
1	Enero	78 %
2	Febrero	84 %
3	Marzo	83 %
4	Abril	84 %
5	Mayo	83 %
6	Junio	81 %
7	Julio	-
8	Agosto	-
9	Setiembre	85 %
10	Octubre	81 %
11	Noviembre	83 %
12	Diciembre	82 %

Asimismo, el *Scoop-C627* manejó una disponibilidad promedio de 82 %

g) Scoop-C629

Tabla 53. Disponibilidad del Scoop-C629 durante el 2020

N.º	Mes	D
1	Enero	78,6 %
2	Febrero	82,2 %
3	Marzo	84,2 %
4	Abril	83,0 %
5	Mayo	83,5 %
6	Junio	82,2 %
7	Julio	85,1 %
8	Agosto	85,2 %
9	Setiembre	82,5 %
10	Octubre	81,2 %
11	Noviembre	82,2 %
12	Diciembre	84,8 %

En comparativa, el *Scoop-C629* manejó una disponibilidad promedio de 82,9 %

h) Scoop-C630

Tabla 54. Disponibilidad del Scoop-C630 durante el 2020

N.º	Mes	D
1	Enero	79,9 %
2	Febrero	83,0 %
3	Marzo	84,2 %
4	Abril	83,2 %
5	Mayo	85,1 %
6	Junio	80,9 %
7	Julio	85,6 %
8	Agosto	82,5 %
9	Setiembre	84,7 %
10	Octubre	82,7 %
11	Noviembre	-
12	Diciembre	-

Finalmente, el *Scoop-C630* obtuvo una disponibilidad promedio de 83,2 %

4.1.5. Resumen de indicadores de mantenimiento

Tabla 55. Resumen de indicadores de mantenimiento de equipos durante el 2020

Mes	MTBF	Mes	MTTR	Mes	Disponibilidad
Enero	24,8	Enero	6,8	Enero	78,5 %
Febrero	26,1	Febrero	5,2	Febrero	83,4 %
Marzo	30,9	Marzo	6,0	Marzo	83,8 %

Abril	26,9	Abril	5,0	Abril	84,3 %
Mayo	33,0	Mayo	6,0	Mayo	84,6 %
Junio	27,5	Junio	6,3	Junio	81,3 %
Julio	36,8	Julio	6,1	Julio	85,8 %
Agosto	25,8	Agosto	5,1	Agosto	83,5 %
Setiembre	31,3	Setiembre	6,1	Setiembre	83,6 %
Octubre	26,5	Octubre	5,7	Octubre	82,2 %
Noviembre	27,0	Noviembre	6,3	Noviembre	81,1 %
Diciembre	26,8	Diciembre	5,3	Diciembre	83,6 %

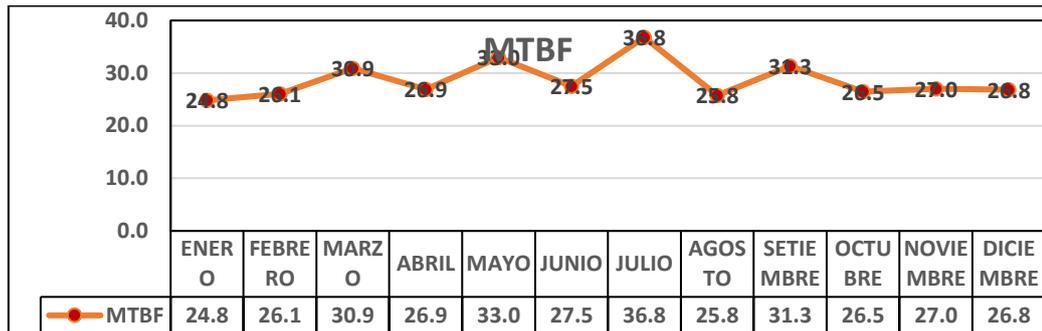


Figura 19. Gráfico de MTBF (promedio) de los equipos - 2020

Con base en el análisis del indicador MTBF, el promedio de los equipos obtuvo periodos cíclicos de altos y bajos durante todo el 2020, con una media de 28,6 horas entre averías.

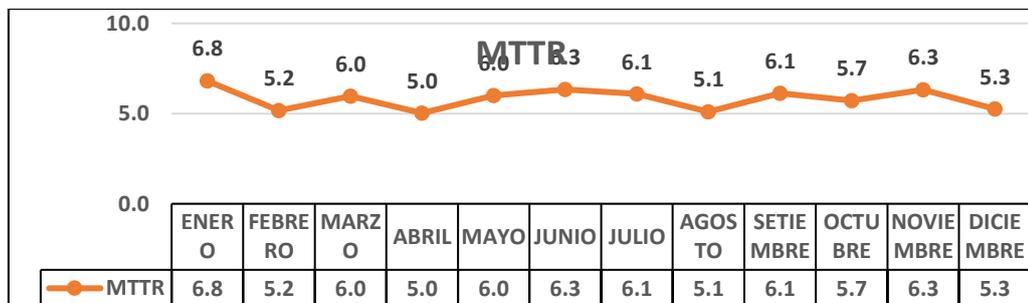


Figura 20. Gráfico de MTTR (promedio) de los equipos - 2020

Asimismo, en relación con el gráfico de desempeño del MTTR, se pudo constatar que este obtuvo un incremento durante el periodo 2020, sin embargo, el valor se posicionó en una media de 5,83 horas para las reparaciones.

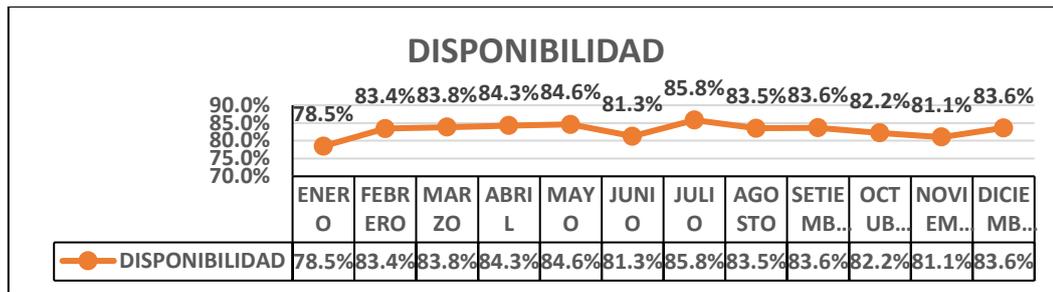


Figura 21. Gráfico de disponibilidad (promedio) de los equipos - 2020

Finalmente, el resumen de la disponibilidad tuvo un promedio de 83 % durante el 2020 antes de la implementación del plan de mantenimiento.

4.1.6. Resultados del cuestionario

Tabla 56. Resumen de las preguntas formuladas a los trabajadores

1. ¿Qué tipo de capacitación ha recibido en operación de equipos?			
Opción	f	%	% acum.
Básico	3	30,0	30,0
Intermedio	6	60,0	90,0
Avanzado	1	10,0	100,0
Total	10	100,0	
2. ¿Con qué frecuencia opera equipos a control remoto?			
Opción	f	%	% acum.
Pocas veces	2	20,0	20,0
Siempre	4	40,0	60,0
De vez en cuando	2	20,0	80,0
Varias veces	2	20,0	100,0
Total	10	100,0	
3. ¿Ha sido capacitado en operación de equipo a control remoto?			
Opción	f	%	% acum.
Nada	1	10,0	10,0
Bastante	6	60,0	70,0
Un poco	3	30,0	100,0
Total	10	100,0	
4. ¿Cuánto tiempo por turno opera equipo a control remoto?			
Opción	f	%	% acum.
De 1 - 2 horas	5	50,0	50,0
De 3 - 4 horas	3	30,0	80,0
De 5 - 6 horas	1	10,0	90,0
De 7 - 8 horas	1	10,0	100,0
Total	10	100,0	
5. ¿Qué dificultades tiene al operar equipos a control remoto?			
Opción	f	%	% acum.
Visibilidad	1	10,0	10,0
Distancia	3	30,0	40,0
Temperatura	3	30,0	70,0
Vapores	3	30,0	100,0
Total	10	100,0	
6. ¿Qué componentes se daña más al operar equipos a control remoto?			
Opción	f	%	% acum.
Motor	2	20,0	20,0
Transmisión	2	20,0	40,0
Chasis	3	30,0	70,0

Neumáticos	3	30,0	100,0
Total	10	100,0	
7. ¿Al operar equipo que factor es más determinante?			
Opción	f	%	% acum.
Capacitación y habilidad	1	10,0	10,0
Condiciones de la mina	1	10,0	20,0
Tecnología y equipamiento de los resultados	8	80,0	100,0
Total	10	100,0	
8. ¿Qué falta por mejorar en áreas de trabajo de equipos operados a control remoto?			
Opción	f	%	% acum.
Condiciones de área de trabajo	5	50,0	50,0
Seguridad de equipo	5	50,0	100,0
Total	10	100,0	
9. ¿Qué incidente es más común al operar equipos a control remoto?			
Opción	f	%	% acum.
Caída de rocas	2	20,0	20,0
Corte de neumático	8	80,0	100,0
Total	10	100,0	
10. ¿Qué tipo de protección recomendaría para el cuidado del equipo?			
Opción	f	%	% acum.
Guardias	2	20,0	20,0
Luminarias	1	10,0	30,0
Cadenas de protección de neumáticos	6	60,0	90,0
Cámaras	1	10,0	100,0
Total	10	100,0	

El análisis general de los resultados del cuestionario aplicado a operadores de equipos a control remoto en una mina revela varios puntos clave:

- 1. Capacitación en operación de equipos:** La mayoría de los encuestados (60 %) ha recibido capacitación a nivel intermedio, seguido por un 30 % con capacitación básica y un 10 % con capacitación avanzada. Esto indica que la mayoría tiene una formación adecuada pero no necesariamente avanzada en la operación de estos equipos.
- 2. Frecuencia de operación de equipos a control remoto:** Un 40 % de los encuestados opera equipos a control remoto siempre, mientras que un 20 % lo hace pocas veces y otro 20 % de vez en cuando. Esto sugiere una diversidad en la frecuencia de uso de estos equipos entre los operadores.
- 3. Capacitación en operación de equipo a control remoto:** Un 60 % de los encuestados ha sido bastante capacitado en la operación de equipos a control remoto, mientras que un 30 %

ha recibido poca capacitación y un 10 % no ha recibido ninguna. Esto señala una alta tasa de capacitación en este campo.

- 4. Tiempo por turno operando equipos a control remoto:** El 50 % de los operadores usa el equipo de 1 a 2 horas por turno, seguido por un 30 % que lo usa de 3 a 4 horas. Esto muestra que la mayoría de los operadores no utilizan los equipos a control remoto durante la totalidad de sus turnos.
- 5. Dificultades al operar equipos a control remoto:** Las principales dificultades reportadas son la distancia y la temperatura (30 % cada una), seguidas por los vapores y la visibilidad (30 % y 10 %, respectivamente). Esto indica desafíos significativos relacionados con el ambiente de trabajo.
- 6. Componentes más dañados en equipos a control remoto:** Los neumáticos y el chasis son los componentes que más se dañan (30 % cada uno), seguidos por el motor y la transmisión (20 % cada uno). Esto sugiere que los aspectos más físicos y mecánicos del equipo son los más susceptibles al daño.
- 7. Factor más determinante al operar equipos:** Un 80 % considera que la tecnología y el equipamiento son los factores más determinantes, seguido por la capacitación y habilidad y las condiciones de la mina (10 % cada uno). Esto resalta la importancia de la tecnología en estas operaciones.
- 8. Mejoras necesarias en áreas de trabajo:** Se identifica igualmente la necesidad de mejorar las condiciones del área de trabajo y la seguridad del equipo (50 % cada uno).
- 9. Incidentes comunes al operar equipos a control remoto:** El corte de neumático es el incidente más común (80 %), seguido por la caída de rocas (20 %). Esto subraya la relevancia de la integridad física de los equipos en las operaciones.
- 10. Protecciones recomendadas para el cuidado del equipo:** La mayoría (60 %) recomienda cadenas de protección de neumáticos, seguido por guardias (20 %), y en menor medida, luminarias y cámaras (10 % cada uno).

4.2. Plan de mantenimiento propuesto

Dada la importancia de los *Scooptrams* en las operaciones mineras y los desafíos identificados en cuanto a la frecuencia de daños en neumáticos y otros componentes críticos,

es esencial implementar un plan de mantenimiento robusto. Este plan no solo busca prolongar la vida útil de los equipos, sino también garantizar la seguridad de los operadores y la eficiencia operativa. Un aspecto clave será la adquisición e implementación de cadenas para los neumáticos, reduciendo así la incidencia de cortes y otros daños.

Tabla 57. Plan de mantenimiento

Actividad	Frecuencia	Descripción	Responsable
Inspección Diaria	Diaria	Chequeo de neumáticos, niveles de fluidos, filtros, conexiones eléctricas y mecánicas.	Operadores
Revisión de Neumáticos	Semanal	Inspección detallada de neumáticos para detectar cortes, desgastes y otros daños.	Técnicos de Mantenimiento
Instalación de Cadenas para Neumáticos	Mensual o según necesidad	Instalación de cadenas protectoras en los neumáticos para prevenir cortes y desgastes.	Equipo de Mantenimiento Especializado
Rotación de Neumáticos	Trimestral	Rotación de neumáticos para asegurar un desgaste uniforme.	Técnicos de Mantenimiento
Alineación y Balanceo de Neumáticos	Semestral	Alineación y balanceo para mejorar la estabilidad y eficiencia de los <i>Scooptrams</i> .	Equipo de Mantenimiento Especializado
Capacitación en Manejo y Mantenimiento	Semestral	Capacitaciones para operadores sobre prácticas óptimas en el manejo y cuidado de neumáticos.	Departamento de Capacitación
Auditoría de Mantenimiento	Anual	Evaluación del programa de mantenimiento y ajustes basados en resultados y <i>feedback</i> de operadores.	Gerencia de Mantenimiento

Medidas adicionales

- **Inventario de repuestos:** Mantener un inventario adecuado de neumáticos y cadenas para evitar tiempos de inactividad por falta de repuestos.
- **Monitorización continua:** Implementar sistemas de monitoreo en tiempo real para detectar problemas tempranamente.
- **Mejora de infraestructura:** Mejorar las condiciones de las áreas de trabajo, especialmente aquellas que puedan afectar la integridad de los neumáticos.
- **Reporte de incidentes:** Fomentar la cultura de reporte inmediato de cualquier anomalía o daño en los neumáticos y otros componentes críticos.

Flota	EQ.	Problema // solución:	Tipo	Fecha-Hora reporte	Fecha-Hora Fin	Horas
Scoop 6 Yd	C_606	Se realizo el desmontaje de la cuchara. Se realizo el desmontaje del cilindro de volteo. Se realizo el desmontaje de las mangueras de levante. Se realizo el desmontaje del enfriador de motor para su lavado. Se realizo el cambio de soportes de motor delantero. Se elimina fuga de aceite motor por bomba de combustible. Se realizo el cambio de 4 mangueras de levante. Se avanza con mantenimiento de motor, se conecta mangueras de los enfriadores.	PROGRAMADO	20/05/2021 11:00	27/05/2021 07:30	164.50
Scoop 6 Yd	C_626	Mantenimiento Programado: Desmontaje de balancín posterior, cambio de bocinas y montaje de balancín. Soporte de caja de transmisión posterior. Cambio de mangueras de levante y volteo. Desmontaje del balancín delantero. Montaje de crucetas del cardan desde el convertidor hacia la caja de transmisión, desmontaje del colector del cilindro de dirección. Montaje de Mangueras de enfriador de eje delantero, montaje de balancín delantero de eje posterior, montaje de soporte de caja de transmisión.	PROGRAMADO	13/05/2021 07:00	17/05/2021 19:00	108.00
Scoop 6 Yd	C_609	Desmontaje del pin del cilindro de levante para corrección del agujero de salida de grasa. Cambio de pernos de soporte del eje delantero. Verificación de fugas del sistema hidráulico. Verificación de funcionamiento del sistema A/C. Cambio de manguera de válvula de carga, desmontaje de pernos de cilindro de volteo.	PROGRAMADO	30/05/2021 12:00	1/06/2021 23:30	59.50
Scoop 6 Yd	C_629	Mantenimiento correctivo programado / instalación de neumáticos delanteros nuevos con cadena usada que salió del C624, también se cambia llantas posteriores, se realiza cambio de cilindro completo de dirección lado izquierdo. Cambio de vástago reparado de cilindro de dirección lado derecho. Cambio de manguera de levante, ajuste de pernos del housing de la transmisión, cambio de manguera corta de succión de la bomba, cambio de manguera hidráulica, revisión y eliminación de fugas.	PROGRAMADO	6/05/2021 03:00	7/05/2021 19:00	40.00
Scoop 6 Yd	C_626	cambio de llanta P-1 por corte en banda de rodadura, además de presentar incrustación de fragmento de roca en flanco exterior.	CORRECTIVO	28/05/2021 19:00	29/05/2021 19:00	24.00
Scoop 6 Yd	C_609	Mantenimiento Programado: MP4 1000 HRS. Cambio de cruceta delantera, Cambio de aceite de motor diésel, Cambio de aceite de la caja de transmisión, Cambios de aceite de ejes diferenciales delantero y posterior, filtro de Combustible (primario y secundario), filtro de aceite de motor, filtro de los ejes diferenciales, filtro de transmisión. Se colocó protector de cardan intermedio, cambio de llanta P1 por cortes en banda lateral. Cambio de sensor temperatura hidráulico nuevo. Queda pendiente el cambio de sensor temperatura convertidor ya que en almacén no hay el modelo. Se realiza medición de voltaje y verificación del aire acondicionado verificando en buenas condiciones el sistema eléctrico.	PROGRAMADO	11/05/2021 07:00	12/05/2021 03:00	20.00
Scoop 6 Yd	C_624	Mantenimiento programado de 1000 horas, cambio de manguera de levante y volteo. Se cambia las dos mangueras de volteo. se engrasa general. Nivelan los	PROGRAMADO	3/05/2021 07:00	4/05/2021 00:00	17.00
Scoop 6 Yd	C_630	cambio de neumáticos P-1 y P-2, por cortes excesivos en flancos de neumáticos y banda de rodadura, exposición de malla alambrada en banda de rodadura, equipo se pidió que sea trasladado a taller de llantería desde tajo de labor, además de cambiar los espárragos de rueda. se realizó reparación de guarda fangos de neumáticos delanteros, debido a la deformación por golpes producidos por fragmentos de roca	PROGRAMADO	01/05/2021 07:00	1/05/2021 23:00	16.00

Figura 22. Plan de mantenimiento de los equipos - 2021



Figura 23. Solución de cadenas protectoras en los neumáticos delanteros de los equipos

4.3. Impacto en los indicadores de disponibilidad del plan de mantenimiento

Partiendo de la metodología de evaluación de los indicadores de MTBF, MTTR y Disponibilidad para los 8 equipos, se procedió a estimar los valores y el resumen obtenido se presenta, a continuación:

Tabla 58. Resumen de indicadores de mantenimiento de equipos durante el 2021

Mes	MTBF	Mes	MTTR	Mes	Disponibilidad
Enero	26,9	Enero	4,8	Enero	84,55 %
Febrero	26,8	Febrero	5,1	Febrero	84,05 %
Marzo	25,9	Marzo	4,7	Marzo	84,02 %
Abril	29,6	Abril	5,4	Abril	84,44 %
Mayo	28,0	Mayo	4,8	Mayo	85,36 %
Junio	28,9	Junio	4,6	Junio	86,46 %
Julio	31,4	Julio	4,0	Julio	88,68 %
Agosto	33,2	Agosto	3,8	Agosto	89,75 %
Setiembre	34,6	Setiembre	3,8	Setiembre	90,02 %
Octubre	34,5	Octubre	3,6	Octubre	90,34 %
Noviembre	35,4	Noviembre	3,8	Noviembre	90,28 %
Diciembre	35,8	Diciembre	3,7	Diciembre	90,63 %

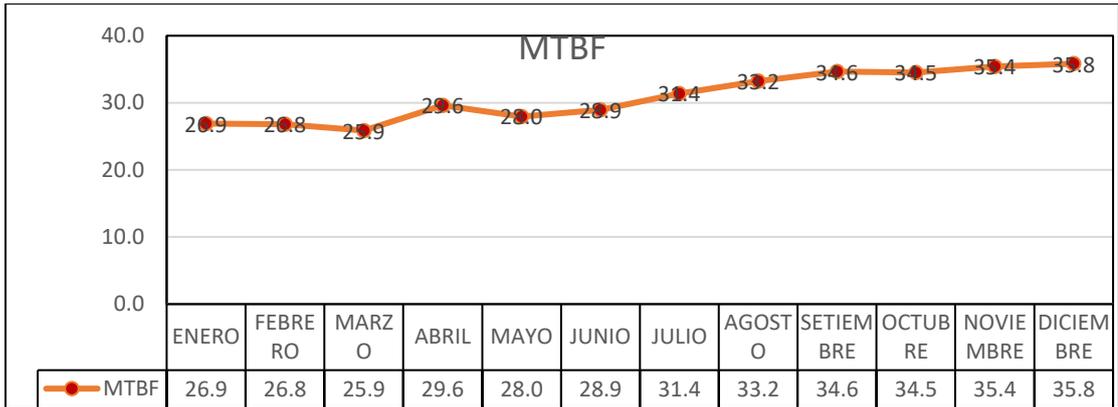


Figura 24. Gráfico de MTBF (promedio) de los equipos - 2021

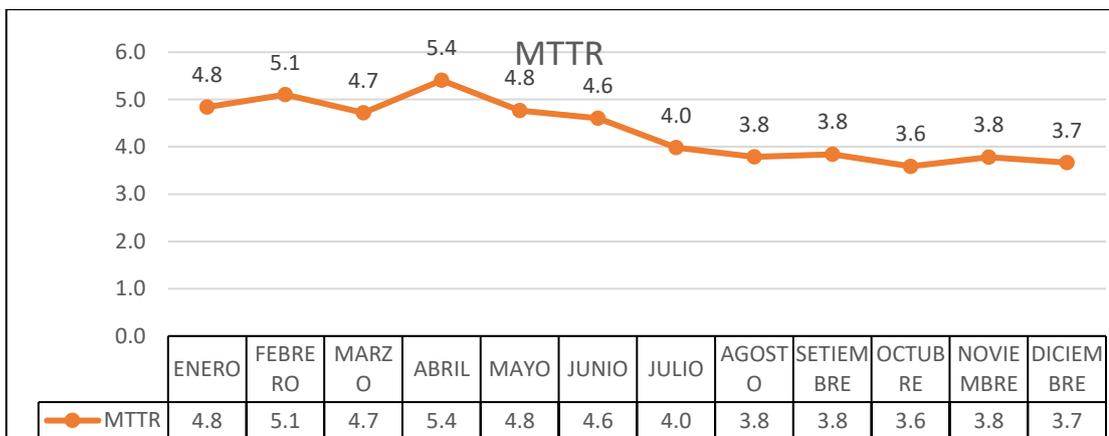


Figura 25. Gráfico de MTTR (promedio) de los equipos - 2021

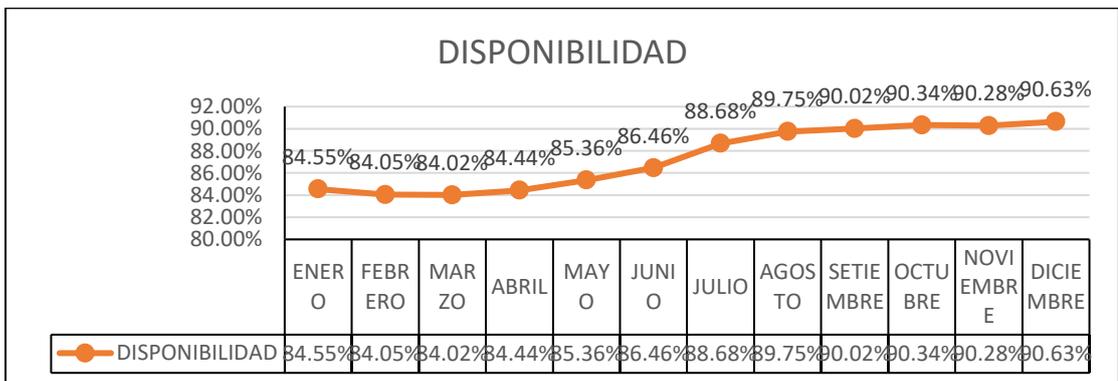


Figura 26. Gráfico de disponibilidad (promedio) de los equipos - 2021

El promedio obtenido para el MTBF fue de 30,9 h, mientras que el MTTR tuvo un promedio de 4,34 h y la disponibilidad se posicionó en un 87,38 %. Con base en el plan propuesto y su puesta en marcha, se procedió a comparar los costos derivados del consumo de accesorios por equipos, en concordancia con la siguiente tabla:

Tabla 59. Consumo de accesorios por equipos

Etiquetas de fila	Suma de cantidad	Suma de importe USD	Suma de precio unitario
C609	101	1636.45	16.20
Kit de reparación de argolla de 14 mm	49	694.82	14.18
Kit de reparación de enlace de 14 mm	52	941.63	18.11
C624	46	7368.12	160.18
Cadena llanta OTR 18.0 R25 malla 4 x 4 14 m	2	6626.37	3313.19
Kit de reparación de argolla de 14 mm	14	198.52	14.18
Kit de reparación de enlace de 14 mm	30	543.23	18.11
C625	6	108.64	18.11
Kit de reparación de enlace de 14 mm	6	108.64	18.11
C627	17	288.18	16.95
Kit de reparación de argolla de 14 mm	5	70.90	14.18
Kit de reparación de enlace de 14 mm	12	217.28	18.11
C629	44	733.90	16.68
Kit de reparación de argolla de 14 mm	16	226.88	14.18
Kit de reparación de enlace de 14 mm	28	507.02	18.11
C631	17	6864.71	403.81
Cadena llanta OTR 18.0 R25 malla 4x4 14m	2	6612.74	3306.37
Kit de reparación de argolla de 14 mm	5	70.90	14.18
Kit de reparación de enlace de 14 mm	10	181.07	18.11
LHD 6.3 YD3 -CAT C630	10	161.44	16.14
Kit de reparación de argolla de 14 mm	5	70.90	14.18
Kit de reparación de enlace de 14 mm	5	90.54	18.11
Total general	241	17161.44	71.21

Tabla 60. Consumo de accesorios (link y argollas) por cadenas

	Argolla		Link		Total cant	Total \$Real
	Cant	\$Real	Cant	\$Real		
Cod. cadena						
CAD125	36	499.09	44	780.68	80	1279.77
CAD126	37	508.61	25	448.00	62	956.61
CAD127	75	1174.40	79	1321.85	154	2496.26
CAD128	74	1160.22	80	1339.96	154	2500.18
CAD129	19	324.92	21	380.13	40	705.05
CAD130	19	324.92	21	380.13	40	705.05
CAD131	29	411.22	37	669.79	66	1081.01
CAD132	28	397.04	37	669.79	65	1066.83
CAD133	29	411.22	28	506.76	57	917.98
CAD134	27	382.86	27	488.66	54	871.52
CAD135	15	212.70	18	325.91	33	538.61
CAD136	13	184.34	19	344.02	32	528.36
Total general	401	5991.56	436	7655.67	837	13647.23

Analizando las tablas 59 y 60, se pudo apreciar un consumo promedio de accesorios de \$ 71,21 y \$ 13 647,23, respectivamente para los *Scooptram*

Tabla 61. Consumo de accesorios por equipos

Cantidad equipo	Cod. cadena	Tipo		Total general
		Argolla	Link	
C625	CAD137		8	8
C625	CAD138		8	8
C627	CAD135	15	18	33
C627	CAD136	13	19	32
C631	CAD139	4	5	9
C631	CAD140	3	5	8
Total general		35	63	98

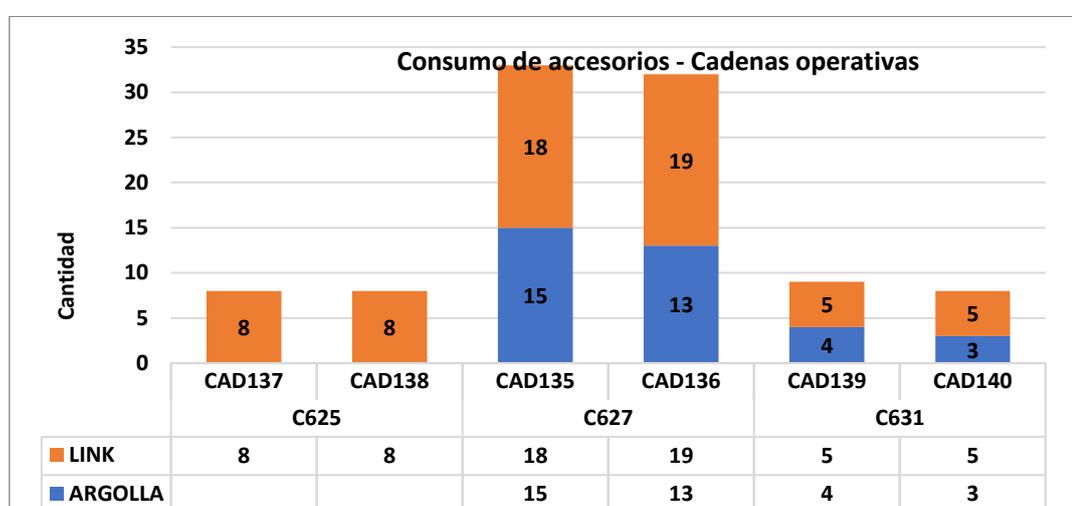


Figura 27. Consumo de accesorios – cadenas operativas

Como se aprecia en la figura 27, los accesorios que más se consumen son los Link y argolla en los CAD135 y C136 pertenecientes al modelo C627.

Tabla 62. Relación de costos y rendimiento de las cadenas operativas

Eq.	Cod. cadena	Marca	Costo cadena	Cant argollas	Cant. links	Costos accesorios	Costo total (US\$)	% costos accesorios	h acum.	Costo (\$/h)	Prom. h	P. U. promedio (\$/h)
C627	CAD135	Turcas	3300	15	18	539	3839	14	1810	2.12		
	CAD136	Turcas	3300	13	19	528	3828	14	1810	2.12		
C625	CAD137	Turcas	3168	0	8	142	3310	0	962	3.44		
	CAD138	Turcas	3168	0	8	142	3310	0	962	3.44		
C631	CAD139	Turcas	3168	4	5	144	3312	0	821	4.03		
	CAD140	Turcas	3168	3	5	130	3298	0	821	4.03		
C624	CAD141	Turcas	3168			0	3168	0	572	5.79		
	CAD142	Turcas	3168			0	3168	0	572	5.79		
C609	CAD143	Turcas	3168			0	3168	0	250	13.23		
	CAD144	Turcas	3168			0	3168	0	250	13.23		

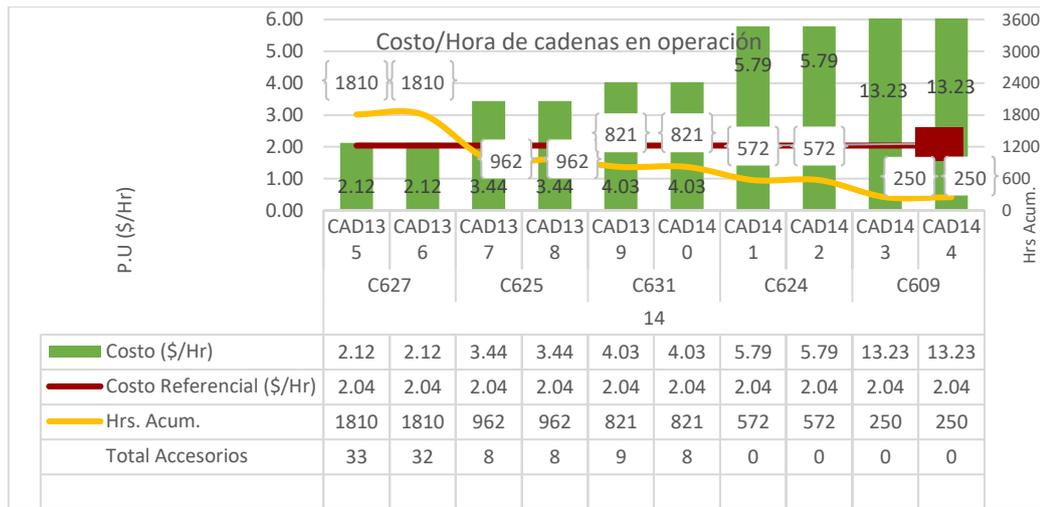


Figura 28. Costo/hora de cadenas de operación

En esta tabla se muestra el precio unitario de las cadenas, el cual es de \$ 2.04 dólares la hora, el cual se obtiene de:

$$P. U(\$ / hr) = \frac{\text{costo de cadena} + \text{costo de accesorios}}{\text{horas trabajadas}}$$

En el detalle, se observa en dos escenarios, cuando la cadena está cumpliendo su vida útil (C-627) y cuando la cadena es nueva (C-609).

Tabla 63. Comparativa de rendimiento de las cadenas en los neumáticos de los equipos C-627 y C-609

Equipo	P. U(\$ /h)	P. U(\$ /h) de cadena	Horas acumuladas	Costo de accesorios (\$)	Observación
C-627	2.04	2.12	1810	539	En este equipo, se observa que el PU se está elevando, debido a que la cadena esta con desgaste y empieza a consumir más accesorios. Adicional a esto, estas cadenas se compraron a mayor precio.
C-609	2.04	13.23	250	Sin consumo	En este escenario la evaluación está sujeta a que toda la cadena en su totalidad está en costo alto del PU por la cantidad de accesorios que se utilizaron para armarla, la cual va a disminuir conforme vaya subiendo las horas de trabajo.

Consumo de combustible

Se realizó una evaluación en cuanto al consumo del combustible de los equipos de bajo perfil partiendo desde antes de la implementación de las cadenas como sistema de protección de los neumáticos para saber cuál era el impacto que traerá consigo y que tan beneficioso será.

Tabla 64. Consumo de combustible por equipo 2020-2021

Equipos	2020			2021		
	Galones	Horas	GI/h	Galones	Horas	GI/h
Scoop C606	22 472	4638.5	4.8	25 102	4360.3	5.8
Scoop C609	22 944	4751.2	4.8	29 546	4996.7	5.9
Scoop C624	22 064	4803.9	4.6	27 030	4643.7	5.8
Scoop C625	18 287	3673.7	5.0	7031	1353.0	5.2
Scoop C626	22 631	4656.7	4.9	24 554	4206.7	5.8
Scoop C627	25 770	5098.1	5.1	20 762	3620.8	5.7
Scoop C629	22 520	4748.1	4.7	25 205	4480.4	5.6
Scoop C630	22 840	4619.1	4.9	24 702	4440.9	5.6
Total, general	179 529	36 989	4.86	183 932	32,103	5.68

Fuente: Departamento de Mantenimiento Mina – Cía. minera Condestable S. A.

En la tabla anterior se visualiza el consumo anual de combustible por galones, las horas trabajadas y el promedio de galones por horas que consumieron cada equipo durante las operaciones del periodo 2020 y 2021.

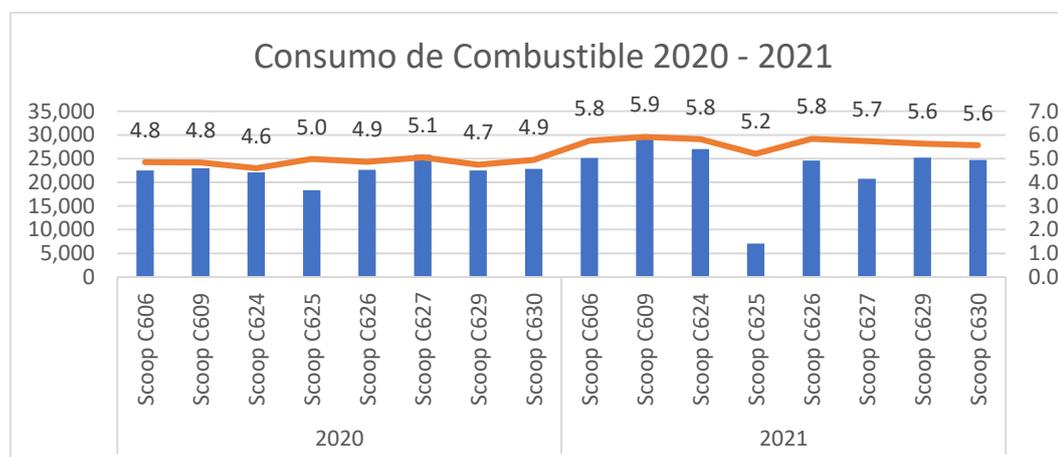


Figura 29. Consumo de combustible 2020-2021

Fuente: Departamento de Mantenimiento Mina – Cía. minera Condestable S. A.

En la figura 29 se visualiza la tendencia y variaciones del consumo del combustible por cada uno de los equipos R1600G/H durante los periodos 2020 y 2021, en donde se puede apreciar el incremento del combustible en este último año a causa de la implementación de cadenas en los neumáticos llegando a un pico máximo de 5.9 galones por horas.

Consumo de combustible promedio anual

Tabla 65. Consumo promedio anual de combustible 2020-2021

Equipos	Galones	Horas	Gl/h
2020	179 529	36 989.3	4.86
2021	183 932	32 102.5	5.68
Total general	363 461	69 092	5.27

En la tabla 65 se visualiza el consumo total de combustible, total de horas de operación y el promedio de galones por hora que consume un equipo de bajo perfil durante los periodos 2020 y 2021.

Promedio Galones/Hora 2020 - 2021

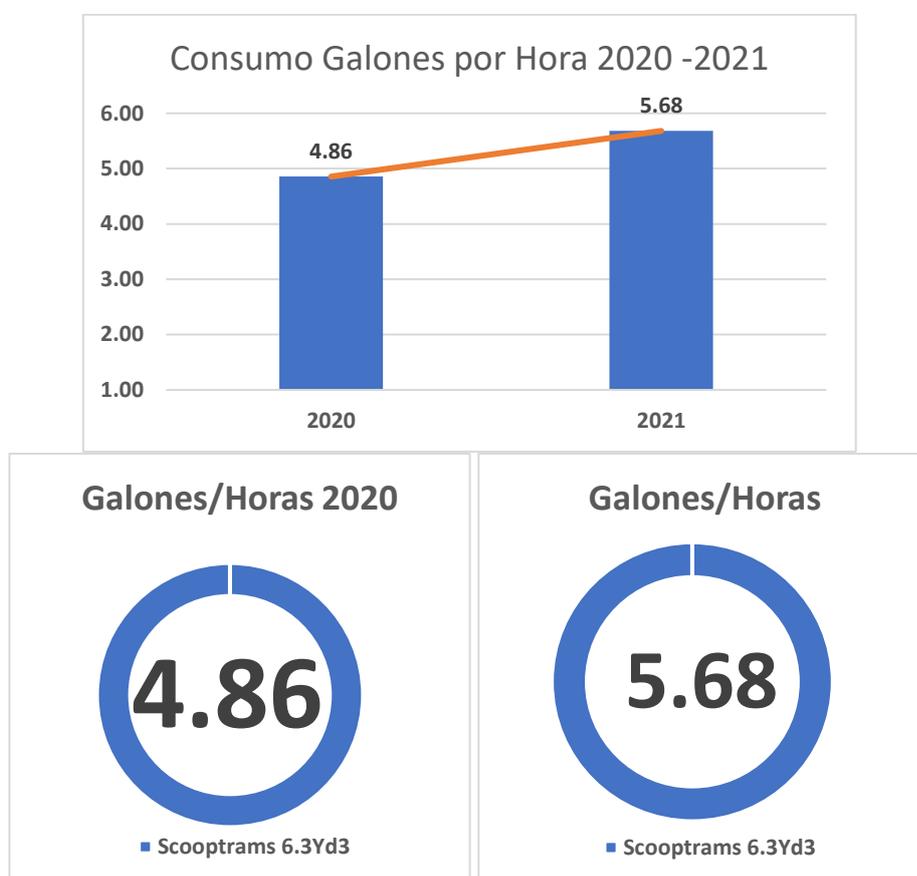


Figura 30. Comparativa de galones en horas 2020 y 2021
Fuente: Departamento de Mantenimiento Mina – Cía. minera Condestable S. A.

En la figura 30 se evidencia el incremento del consumo promedio anual del combustible de 4.86 gl/h en el 2020 a 5.68 gl/h en el 2021 a consecuencia de la implementación de las cadenas en los neumáticos delanteros como sistema de protección.

Prueba inferencial

A continuación, con el propósito de comprobar estadísticamente las mejoras en el desempeño de la disponibilidad de los *Scooptram* durante 2020 y 2021, se ha manejado las diferencias significativas de estos eventos, por lo cual se proyecta, en primer lugar, una prueba de normalidad de datos para comprobar la distribución de los valores:

Tabla 66. Prueba de normalidad de datos

	Pruebas de normalidad					
	Kolmogórov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Disponibilidad antes	,254	12	,032	,914	12	,240
Disponibilidad después	,214	12	,134	,827	12	,020

a. Corrección de significación de Lilliefors

En el estricto basamento de que los datos se han analizado con la prueba de S-W dada una muestra inferior a 50, se concluye en la aceptación de la H_1 , cuya premisa radica en que los datos no proceden de una distribución de tipo normal, motivo por el cual se optó por analizar estos datos por medio del estadígrafo de Wilcoxon.

Tabla 67. Estadística descriptiva de la disponibilidad (antes y después)

	Rangos			
		N	Rango promedio	Suma de rangos
Disponibilidad 2021 - disponibilidad 2020	Rangos negativos	0 ^a	,00	,00
	Rangos positivos	12 ^b	6,50	78,00
	Empates	0 ^c		
	Total	12		
	A. Disponibilidad 2021 < disponibilidad 2020			
	B. Disponibilidad 2021 > disponibilidad 2020			
	C. Disponibilidad 2021 = disponibilidad 2020			

Tabla 68. Prueba Wilcoxon para muestras emparejadas de la disponibilidad (antes y después)

Estadísticos de prueba ^a	
	Disponibilidad 2021 - Disponibilidad 2020
Z	-3,059 ^b
Sig. asintótica(bilateral)	,002

a. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon
b. Se basa en rangos negativos.

Luego de haber aplicado la prueba de muestras emparejadas, es posible concluir con que se acepta la H_1 , es decir, aquella que confirma que la implementación de las cadenas protectoras en los neumáticos tiene evidencias hacia el incremento de la disponibilidad los *Scooptram* al representar una opción ante los cortes en los neumáticos durante operación. Esto se confirmó por medio de la sig. 0,002, que resultó tener un parámetro de -3,059.

4.4. Discusión de resultados

En esta investigación se implementó un plan de mantenimiento cuyo objetivo principal era reducir los cortes de neumáticos en equipos operados a control remoto. La implementación de este plan resultó en una mejora significativa en los indicadores de disponibilidad, pasando de un 83 % inicial a un 87,3 % final, además de cambios en los parámetros de operación como el consumo de combustible, que aumentó de 4.86 a 5.68 galones por hora.

Este estudio encuentra paralelos y contrastes con investigaciones previas en el ámbito de mantenimiento en la industria minera y de maquinaria pesada. Javadnejad et al. (9) en Irán, enfocaron su estudio en la optimización de la disponibilidad y minimización de los costos de mantenimiento en palas mecánicas. Lograron identificar intervalos óptimos de mantenimiento para varios subsistemas, destacando el sistema eléctrico con un intervalo de mantenimiento de 39 horas. Chávez (10) en Ecuador, por su parte, se centró en el desarrollo de un plan de mantenimiento preventivo para maquinaria pesada de una constructora, encontrando que el 62 % de la maquinaria estaba en buen estado y el 35 % en estado regular.

Ballesteros et al. (6) en Colombia diseñaron un plan para optimizar el mantenimiento preventivo de equipos de trituración en una mina, identificando que la gestión de mantenimiento tenía un 44 % de eficiencia. Morales (11) en Chile, enfocado en aumentar la vida útil de neumáticos en flotas de transporte, logró ahorros significativos y mejoras en la vida útil de diferentes tipos de neumáticos. Leyva et al. (13) en Cuba, analizando el consumo de combustible y el desgaste de neumáticos, encontraron un consumo de 31,73 litros por hora en camiones y 47,6 litros por hora en retroexcavadoras.

En un contexto similar, Aranda y Linares (15) en Trujillo evaluaron la implementación de un plan de mantenimiento predictivo en una unidad minera, registrando un aumento en la disponibilidad de los equipos de 4,7 %. Chacaliza y Estela (16) en Cajamarca implementaron un plan centrado en la confiabilidad, aumentando la disponibilidad de los equipos de un 84 % a un 94 %. Lazarte (17) en Huancayo, mejorando la gestión de mantenimiento, logró aumentar la disponibilidad promedio de los equipos de chancado del 89,2 % al 92,8 %. Nina y López (19) en Ayacucho, con la implementación de un modelo de gestión de mantenimiento basado en RCM, aumentaron la disponibilidad de los equipos del 77 % al 83 %. Finalmente, Chacón (20) en Huancayo logró aumentar la productividad de equipos de chancado secundario de un 82,98 % a un 87,54 %. La comparación de estos estudios con la tesis en cuestión demuestra la efectividad de los planes de mantenimiento bien estructurados y centrados en la confiabilidad para mejorar la disponibilidad y eficiencia de los equipos en diversos contextos industriales. La mejora en los indicadores de disponibilidad y otros parámetros operativos, como se evidenció

en estos estudios, resalta la importancia de un enfoque sistemático y proactivo en el mantenimiento de equipos en la industria.

En retrospectiva, entre las posibles limitaciones que podrían abordarse posteriormente, sería con respecto al análisis crítico o la necesidad de implementar un RCM para evaluar el comportamiento de los demás componentes de los equipos que pudiesen incidir en su vida útil en operación, así como también diseñar un método de optimización para el consumo de recursos fósiles en el combustible de los equipos como consecuencia de las cadenas, lo que también podría representar un sobretrabajo para el motor de los equipos, especialmente aquellos con mayor edad. En términos de ello, la investigación presenta una alternativa de solución a uno de los problemas que evidencia la empresa, siendo los neumáticos cortados el primer factor de parada en operación, lo que se traduce en pérdidas económicas y déficit de la productividad, sin embargo, de maneja proactiva, también deben abordarse otros desafíos que puedan impedir mantener los estándares de disponibilidad al 95 % de operación.

CONCLUSIONES

1. La implementación del plan de mantenimiento demostró la reducción significativa de los cortes de neumáticos en los equipos operados a control remoto en la compañía minera Condestable S. A. Este logro se reflejó en un aumento en la disponibilidad de los equipos, pasando del 83 % al 87,3 %. La adopción de cadenas protectoras para los neumáticos delanteros de los equipos se reveló como una solución eficaz para reducir los cortes y daños en los neumáticos. El consumo promedio de accesorios asociados a las cadenas fue de \$71.21 y \$13,647.23 para los *Scooptram*, lo que justificó su implementación.
2. El estudio detallado del plan de mantenimiento existente permitió identificar áreas de mejora críticas y oportunidades de optimización. Se encontró que gran parte de las actividades de mantenimiento se basaban en enfoques correctivos, lo que contribuía a los cortes de neumáticos.
3. Se diseñó un plan de mantenimiento que incorporó enfoques preventivos y predictivos, lo que implicó la introducción de tecnologías de monitoreo avanzadas, la implementación de programas de capacitación para operadores y la adquisición de repuestos y accesorios adecuados como cadenas protectoras. Este enfoque integral mejoró la confiabilidad de los equipos y redujo la incidencia de cortes de neumáticos.
4. La implementación del nuevo plan de mantenimiento se tradujo en mejoras significativas en los indicadores de disponibilidad. La disponibilidad inicial se incrementó considerablemente. Esto refleja el éxito en la reducción de los cortes de neumáticos y la mejora general en la operatividad de los equipos.

RECOMENDACIONES

1. Continuar monitoreando el desempeño de los equipos y la efectividad del plan de mantenimiento implementado. Es fundamental mantener registros detallados de las operaciones y el consumo de combustible para realizar ajustes cuando sea necesario.
2. Considerar la posibilidad de implementar sistemas de monitoreo en tiempo real para detectar problemas tempranamente y tomar medidas preventivas antes de que ocurran fallas graves en los equipos.
3. Mantener un inventario adecuado de neumáticos y cadenas para evitar tiempos de inactividad por falta de repuestos. Esto garantizará una operación continua y eficiente de los equipos.
4. Mejorar las condiciones de las áreas de trabajo, especialmente aquellas que puedan afectar la integridad de los neumáticos. Un entorno de trabajo adecuado contribuirá a reducir el desgaste y los cortes en los neumáticos.

REFERENCIAS

1. **LANDA, Yuri.** Los recursos mineros en las cadenas globales de valor. Problemas del Desarrollo. *Revista Latinoamericana de Economía* [en línea]. 2019, N.º 199. [Fecha de consulta: 18 de diciembre de 2023]. Disponible en:
DOI 10.22201/iiec.20078951e.2019.199.68330
2. **Minería Sostenible de Galicia.** *El 45% de economía mundial está impulsada por el sector minero.* [En línea]. 2022. Disponible en: <https://minariasostible.gal/es/economia-mundial-y-el-sector-minero/>.
3. **ESTUPIÑAN, Edgar; ARCE, Oscar.** Uso de la metodología FMECA -RCM, para la optimización de la estrategia de mantenimiento en una planta de tostación de cobre. *BISTUA Revista De La Facultad De Ciencias Básicas* [en línea]. 2021, N.º 17, p. 196–204. Disponible en: <http://www.link.com>
4. **GUERRA-LÓPEZ, Esmilka; MONTES, Alexis.** Relación entre la productividad, el mantenimiento y el reemplazo del equipamiento minero en la gran minería. *Boletín de Ciencias de la Tierra* [en línea]. 2019, N.º 45, p. 14–21. Disponible en:
DOI 10.15446/rbct.n45.68711
5. **UNZUETA, A.; SUCRE, C.; NUNES, N.; WLATER, M.** *La importancia de la minería latinoamericana para la transición energética global.* [En línea]. 2022. Disponible en: <https://blogs.iadb.org/energia/es/la-importancia-de-la-mineria-latinoamericana-para-la-transicion-energetica-global/>.
6. **BALLESTEROS, S.; GÓMEZ, N.; ROBLES, W.** Diseño de un plan de mantenimiento preventivo del proceso de trituración para la industria minera. *Revista Matices Tecnológicos* [En línea]. 2020, N.º 1.
Disponible en:
<http://138.117.111.22/index.php/revistamaticestecnologicos/article/view/148/172>.
7. **CÓNDOR, Josimar.** Minería en Perú: producción, inversión y proyectos. *Gestion.pe*. 2023. Disponible en: <https://gestion.pe/economia/empresas/perumin-mineria-inversion-minera-mineria-en-peru-y-un-sondeo-en-la-produccion-inversion-y-proyectos-noticia/>
8. **LAITON, L.; MORENO, A.** *Plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para el sistema neumático de una locomotora Ge Evolution ES44AC.* Tesis (Ingeniería Industrial). Caldas: Universidad Francisco José de Caldas, 2023. Disponible en:
<https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/32788/LaitonMonroyLauraSofia2023.pdf?sequence=1>.
9. **JAVADNEJAD, Farshid; SHARIFI, Mohammad; BASIRI, Mohammad; OSTADI, Bakhtiar.** Optimization Model for Maintenance Planning of Loading Equipment in Open

- Pit Mines. *European Journal of Engineering and Technology Research* [en línea]. 2022, N.º 7, p. 94–101.. Disponible en: DOI 10.24018/ejeng.2022.7.5.2907
10. **CHÁVEZ, José.** *Desarrollo del plan de mantenimiento preventivo en base a la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad para la maquinaria pesada de la empresa Constructora Oviedo Palacios Cía. Ltda.* [en línea]. Tesis de pregrado. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2021. Disponible en:
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/15990>
 11. **MORALES, J.** *Aumento de vida útil de los neumáticos para la flota de transporte de Minera Centinela.* Tesis (Ingeniero Civil de Minas). Santiago de Chile.: Universidad de Chile, 2020. Disponible en: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/177975>.
 12. **GUTIÉRREZ, J.** *Diseño de plan de mantenimiento preventivo aplicado a los neumáticos de una flota de tractocamiones de 300 kW, para maximizar su rendimiento kilométrico.* Tesis (Magister en Artes en Ingeniería de Mantenimiento). San Carlos: Universidad de San Carlos de Guatemala, 2020. Disponible en:
<http://www.repositorio.usac.edu.gt/14995/1/Jorge%20Isaac%20Gutierrez%20Meza.pdf>.
 13. **LEYVA, Marlo; CUESTA, Armando; BELETE, Orlando; ALAYO, José.** Análisis del consumo de combustible y del índice de desgaste de los neumáticos de los equipos mineros. *Revista Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas* [en línea]. 2019, N.º 1, p. [fecha de consulta: XX de mes de 2023]. Disponible en:
<http://investigacion.utc.edu.ec/revistasutc/index.php/ciya/article/view/268/205>
 14. **VALDIVIA, L.** *Diseño de un programa de gestión de mantenimiento basado en Lean Maintenance para mejorar el rendimiento de neumáticos de la empresa Neuma Perú S. A. C. en la región de Arequipa – 2023.* Tesis (Ingeniería Mecánica Eléctrica). Arequipa: Universidad Católica de Santa María, 2023. Disponible en:
<https://repositorio.ucsm.edu.pe/server/api/core/bitstreams/78da7491-dcf0-4c78-9954-12228a2dc956/content>
 15. **ARANDA, J.; LINARES, G.** *Plan de mejora de mantenimiento para incrementar la disponibilidad en equipos críticos de unidad minera.* Tesis (Ingeniería Industrial). Lima: Universidad César Vallejo, 2022. Disponible en:
https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/112852/Rosales_CDJF-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
 16. **CHACALIAZA, Yessica; ESTELA, Eybis.** *Aplicación de la metodología RCM mantenimiento centrado en confiabilidad para mejorar la disponibilidad de equipos de carguío y acarreo en una empresa minera de Cajamarca* [en línea]. Tesis de pregrado. Universidad Privada del Norte, 2021. Disponible en:

- https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/27344/Estela%20Vasquez%20Eybis%20Michel_Chacaliaza%20Barrantes%20Yessica%20Mabel_Total.pdf?sequence=2&isAllowed=y
17. **LAZARTE, A.** *Gestión del Mantenimiento para incrementar la disponibilidad en equipos del circuito de Chancado en Unidad Minera Raura S. A.* Tesis (Ingeniero Industrial). Lima: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2021. Disponible en:
https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/8040/TESIS%20ARTURO%20LAZARTE%202022%20rev.%2001_CORREGIDA.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
 18. **LIVIAS, H.** *Diseño e implementación de un plan de mantenimiento preventivo para mejorar la eficiencia en tiempo de vida de los neumáticos 53/80r63 michelin en camiones komatsu 930e, en la empresa minera «Las Bambas».* Tesis (Ingeniería Industrial). Lima: Universidad César Vallejo, 2020. Disponible en:
https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/73658/Livias_RHR-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
 19. **NINA, D.; LÓPEZ, F.** *Modelo de gestión de mantenimiento para mejorar la disponibilidad en equipos subterráneos en una empresa de mediana minería en Ayacucho, Perú, utilizando RCM.* Tesis (Ingeniero Industrial). Lima.: Universidad Privada de Ciencias Aplicadas, 2020. Disponible en:
https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/653812/Macedo_ND.pdf?sequence=3&isAllowed=y.
 20. **CHACÓN, Henry.** *Plan de mantenimiento preventivo para incrementar la productividad de los equipos de Chancado secundario en una empresa minera [en línea].* Tesis de pregrado. Universidad Peruana los Andes, 2020. Disponible en:
https://repositorio.upla.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12848/1789/T037_46600172_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y
 21. **BARRERA, J.** *Gestión de mantenimiento para neumáticos de maquinaria pesada en la unidad minera Buenaventura-Orcopampa.* Tesis (Ingeniería Administrativa). Lima: Universidad Inca Garcilaso de la Vega, 2019. Disponible en:
http://repositorio.uigv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.11818/5246/TRSUFICIENCIA_BARRERA%20SANTOYO%20JHONATTAN%20JHON.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
 22. **SOLANO, A.** *Diseño del Modelo de Gestión de Mantenimiento para los equipos mineros de la Mina La Chilena en Holcim Costa Rica.* Tesis (Ingeniero Industrial). Cartago: Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2020. Disponible en:
https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/12299/TFG_Antonio_Solano_Alvarez.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

23. **TASÉ, Daniel; CAMELLO, Carlos; HERNÁNDEZ, Lorena.** Modelo para la gestión del mantenimiento de un sistema de fabricación híbrido con base en políticas corporativas y de producción. *Revista de Estudios Empresariales* [en línea]. 2020, N.º 1, p. 118–134. Disponible en:
https://www.researchgate.net/profile/Daniel-Tase-Velazquez/publication/343304673_MODELO_PARA_LA_GESTION_DEL_MANTENIMIENTO_DE_UN_SISTEMA_DE_FABRICACION_HIBRIDO_CON_BASE_EN_POLITICAS_CORPORATIVAS_Y_DE_PRODUCION/links/5f22413f299bf134049270bc/MODELO-PARA-LA-GESTION-DEL-MANTENIMIENTO-DE-UN-SISTEMA-DE-FABRICACION-HIBRIDO-CON-BASE-EN-POLITICAS-CORPORATIVAS-Y-DE-PRODUCCION.pdf
24. **DE LA ROSA, Carmen; TORRES, Silver.** *Diseño de un plan de gestión de mantenimiento para mejorar la disponibilidad de los equipos de bombeo en una planta minera* [en línea]. Tesis de pregrado. Universidad Privada del Norte, 2020. Disponible en:
<https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/24370/De%20la%20Rosa%20Saldaña%2c%20Carmen%20Irene%20-%20Torres%20Hidalgo%2c%20Silver%20Donal.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
25. **MONTERO, Tatiana; ALAYO, José; REYNALDO, Clara; GARCÍA, María.** Evaluación a la gestión del mantenimiento en equipos de excavación de la Unidad Básica Minera. *Ciencia & Futuro* [en línea]. 2021, N.º 11, p. 69–86. Disponible en:
<http://www.link.com>
26. **LOJA, E.; YANSAGUANTO, J.** *Propuesta de un plan de mantenimiento para la flota vehicular y la maquinaria pesada mediante el uso del programa Smprog para la prefectura de Azuay.* Tesis (Ingeniero Industrial). Cuenca.: Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, 2021. Disponible en:
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21240/1/UPS-CT009341.pdf>.
27. **SILVA, I.; RODRÍGUEZ, M.; ACOSTA, R.; GÓMEZ, P.** Diseño de plan de mantenimiento preventivo para los talleres del centro CIES SENA Regional Norte de Santander utilizando metodología AMEF. *Revista Colombiana de tecnología de avanzada* [En línea]. 2020, vol. 3. Disponible en:
<https://ojs.unipamplona.edu.co/index.php/rcta/article/view/880>.
28. **VALENZUELA, N.** *Metodología de Análisis de criticidad de activos aplicado en planta de procesos para optimizar la productividad en minería Paicavi.* Tesis (Ingeniero Civil de Minas). Curicó: Universidad de Talca, 2021. Disponible en:
<http://dspace.otalca.cl/bitstream/1950/12829/3/2021A000528.pdf>.

29. **HUAMANÍ, José; RIMAYHUAMAN, Orlando; TITO, Xiomara.** Influencia del Mantenimiento Vial y Satisfacción del Usuario. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar* [en línea]. 2022, N.º 6, p. 1876–1896.
Disponible en: DOI 10.37811/cl_rcm.v6i5.3202
30. **RAYME, M.; DIAZ, J.** Mantenimiento preventivo para incrementar la productividad en los equipos de medición. *Qantu Yachay* [En línea]. 2021, N.º 1. [Consulta: 18 diciembre 2023]. Disponible en: <https://revistas.une.edu.pe/index.php/QantuYachay/article/view/8>.
31. **BARRIOS, J.; MOLINA, S.** Análisis y diagnóstico de los tipos de mantenimiento en la pequeña y gran minería aurífera en la subregión del Bajo Cauca, Antioquia. *Metalnova* [En línea]. 2019, vol. 1. Disponible en:
<https://revistas.sena.edu.co/index.php/metalnova/article/view/2140/2439>.
32. **ANDRADE, C.; HERRERA, M.** Análisis de la situación actual del mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación* [En línea]. 2021, N.º 8. [Consulta: 18 diciembre 2023]. Disponible en: <https://journalingeniar.org/index.php/ingeniar/article/view/31> ISSN: 2737-6249.
33. **SOLANO, A.; CRUZ, B.; RAMOS, C.; SOLÍS, K.; NÚÑEZ MATA, O.; PÉREZ, A.** Metodología FMECA para un aerogenerador doblemente alimentado. *Ingeniería* [En línea]. 2021, N.º 2. [Consulta: 18 diciembre 2023]. Disponible en:
<https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/ingenieria/article/view/46100>.
34. **NIÑO, J.** *Evaluación de desgaste en Neumáticos por visión artificial.* Tesis (Ingeniero Industrial). Bucaramanga.: Universidad Autónoma de Bucaramanga, 2023. Disponible en: <https://repository.unab.edu.co/handle/20.500.12749/20328>.
35. **Bridgestone Américas Inc.** *Funciones de los neumáticos.* 2022. Disponible en: https://www.bridgestoneamericas.com/es_US/company/safety/tires-101/tire-functions.
36. **TAQUIMA, M.** *Eficiencia en el rendimiento de neumáticos de camiones gigantes mediante el sistema de administración de movimiento de tierra Michelin (M.E.M.S. Evolution 2) Mina Antapaccay.* Tesis de pregrado. S.l.: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2017. Disponible en: <https://repositorio.unsa.edu.pe/items/e74977b7-4c85-48c8-8832-4074da8c7e91>.
37. **CARRIÓN, A.** *Estudio sobre la importancia de la gestión de neumáticos en los volquetes Mercedes Benz Modelo Actros 3344K en la U.M quenuales - Contonga.* Tesis (Ingeniero Industrial). Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2021. Disponible en: https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/20555/CARRION_CADILLO_ALVARO_ESTUDIO_SOBRE_IMPORTANCIA.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
38. **ARIAS, José; COVINOS, Mitsuo.** Diseño y metodología de la investigación [en línea]. Arequipa: *Enfoques Consulting EIRL*, 2021. Disponible en:

https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w26022w/Arias_S2.pdf

39. **MEDINA, M.; ROJAS, R.; BUSTAMANTE, W.; LOAIZA, R.; MARTEL, C.; CASTILLO, R.** *Metodología de la investigación: Técnicas e instrumentos de investigación* [en línea]. Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú, 2023 [Consulta: 5 octubre 2023]. ISBN 978-612-50-6970-2. Disponible en: <https://editorial.inudi.edu.pe/index.php/editorialinudi/catalog/book/90>.
40. **ÑAUPAS, H, VALDIVIA, M, PALACIOS, J and ROMERO, H.** *Metodología de la investigación* [en línea]. Bogotá : *Educación*, 2019. Disponible en: https://edicionesdelau.com/wp-content/uploads/2018/09/Anexos-Metodologia_%C3%91aupas_5aEd.pdf
41. **VILLANUEVA, F.** *Metodología de la Investigación* [en línea]. D.R 2022 *Klik Soluciones Educativas, S. A. de C.V.* Disponible en: <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=6e-KEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=metodolog%C3%ADa+de+la+investigacion&ots=WGLR2GIIbt&sig=pHOqpI4F4oxqRLiiLfPr8M3y0Dk#v=onepage&q&f=false>.
42. **RODRÍGUEZ, Y.** *Metodología de la investigación* [en línea]. Klik soluc, 2020. Disponible en: <https://eltimonlibreria.com/libro/metodologia-de-la-investigacion-9786078682225>

ANEXOS

Anexo 1. Cuestionario

Cuestionario Para Operadores De Equipos Scooptram A Control Remoto

Nombre de operador : **Area :**
Edad : **Cargo :**
Equipo que opera :

Instrucciones: por favor respnda a todas las preguntas siguiendo sus criterios operacionales, conocimientos en seguridad y cuidado del equipo, apoyandose en su experiencia en operación de equipos ya sea de forma maual o a control remoto.

1. Qué tipo de capacitación ha recibido en operación de equipos?
<input type="radio"/> 1. Ninguno <input type="radio"/> 2. Básico <input type="radio"/> 3. Intermedio <input type="radio"/> 4. Avanzado
2. Has operado equipos a control remoto?
<input type="radio"/> 1. Pocas veces <input type="radio"/> 2. Siempre <input type="radio"/> 3. De vez en cuando <input type="radio"/> 4. Varias veces
3. Ha sido capacitado en operación de equipos a control remoto?
<input type="radio"/> 1. No <input type="radio"/> 2. Operador experto <input type="radio"/> 3. Bastante <input type="radio"/> 4. Un poco
4. Cuanto tiempo por turno opera control remoto?
<input type="radio"/> 1. De 1 - 2 horas <input type="radio"/> 2. De 3 - 4 horas <input type="radio"/> 3. De 5 - 6 horas <input type="radio"/> 4. De 7 - 8 horas
5. Que dificultades tienes al operar equipos a control remoto?
<input type="radio"/> 1. Visibilidad <input type="radio"/> 2. Distancia <input type="radio"/> 3. Temperatura <input type="radio"/> 4. Vapores
6. Que componentes se dañan más al operar equipos a control remoto?
<input type="radio"/> 1. Motor <input type="radio"/> 2. Transmision <input type="radio"/> 3. Chasis <input type="radio"/> 4. Neumaticos
8. Que falta por mejorar en áreas de trabajo de equipos operados a control remoto?
<input type="radio"/> 1. Condiciones de area de trabajo <input type="radio"/> 2. Seguridad de equipo
9. Que incidente es más común al operar equipos a control remoto?
<input type="radio"/> 1. Caída de rocas <input type="radio"/> 2. Corte de neumico
10. Que tipo de protección recomendaría para el cuidado del equipo?
<input type="radio"/> 1. Guardos <input type="radio"/> 2. Luminarias <input type="radio"/> 3. Cadenas de protección de neumático <input type="radio"/> 4. Camaras

Anexo 2. Ficha de inspección semanal de neumáticos

 COMPAÑIA MINERA CONDESTABLE S.A. INSECCIÓN SEMANAL DE NEUMÁTICOS										
Nombre:						Fecha:				
EQUIPO	CODIGO	POSICION	MARCA	REMANENTE		PRESION ACTUAL	INSECCION DE ARO		HOROMETRO	OBSERVACIONES
				EXT	INT		TAPA DE VALV.	SEGURO DE PESTAÑA		
C-606										
C-609										
C-624										
C-625										
C-626										
C-627										
C-629										
C-630										

Anexo 3. Matriz de consistencia

Formulación del problema	Objetivos de la investigación	Hipótesis	Variables	Metodología
<p>Problema General</p> <p>¿En qué medida el plan mantenimiento optimizado podría reducir los cortes de neumáticos en equipos operados a control remoto en la compañía minera Condestable S. A. 2021?</p> <p>Problemas específicos:</p> <p>1.¿Cuál es el diagnóstico situacional del plan de mantenimiento en relación con los daños a los neumáticos en los equipos operados por control remoto en la compañía minera Condestable S. A. 2021?</p> <p>2.¿Cómo sería el diseño de la propuesta de optimización del plan de mantenimiento para los equipos operados por control remoto en la compañía minera Condestable S. A. 2021?</p> <p>3.¿Cuál es el impacto en los indicadores de disponibilidad del plan de mantenimiento optimizado en relación con los cortes de neumáticos en equipos operados a control remoto en la compañía minera Condestable S. A. 2021?</p>	<p>Objetivo General:</p> <p>Realizar la optimización del plan de mantenimiento para reducir los cortes de neumáticos en equipos operados a control remoto en la compañía minera Condestable S. A. 2021.</p> <p>Objetivos Específicos:</p> <p>1.Elaborar el diagnóstico situacional del plan de mantenimiento en relación con los daños a los neumáticos en los equipos operados por control remoto en la compañía minera Condestable S. A. 2021.</p> <p>2.Diseñar la propuesta de optimización del plan de mantenimiento para los equipos operados por control remoto en la compañía minera Condestable S. A. 2021.</p> <p>3.Validar el impacto en los indicadores de disponibilidad del plan de mantenimiento optimizado en relación con los cortes de neumáticos en equipos operados a control remoto en la compañía minera Condestable S. A. 2021.</p>	<p>Hipótesis General:</p> <p>La optimización del plan de mantenimiento podrá reducir los cortes de neumáticos en equipos operados a control remoto en la compañía minera Condestable S. A. 2021.</p> <p>Hipótesis específicas:</p> <p>1.El estado actual del plan de mantenimiento de reducción de corte de neumáticos en equipos operados a control remoto en la compañía minera Condestable S. A. 2021 es inadecuado debido a la falta de protocolos adecuados y planes efectivos.</p> <p>2.La propuesta de optimización del plan de mantenimiento para los equipos operados por control remoto en la compañía minera Condestable S. A. tiene como propósito generar los procedimientos y medidas preventivas para reducir los cortes en los neumáticos.</p> <p>3.La implementación del plan de mantenimiento de reducción de cortes de neumáticos para equipos operados a control remoto en Compañía minera Condestable S. A. tendrá un impacto positivo en los indicadores de disponibilidad de los equipos.</p>	<p>Variable I: Plan de mantenimiento.</p> <p>Variable D: Cortes de neumáticos.</p>	<p>Alcance:</p> <p>Explicativo</p> <p>Enfoque:</p> <p>Cuantitativo</p> <p>Diseño de investigación:</p> <p>Experimental</p> <p>Instrumento:</p> <p>Cuestionario y ficha de observación</p> <p>Métodos de Análisis de Investigación:</p> <p>Estadística descriptiva e inferencial</p> <p>Muestra:</p> <p>8 equipos de bajo perfil R1600G/R1600H</p>

Anexo 4. Matriz morfológica

Tipo de Mantenimiento	Tecnologías de Monitoreo	Repuestos y Accesorios	Capacitación y Concientización	Gestión de Datos	Mejora de Infraestructura	Seguridad y Salud Ocupacional	Costos y Eficiencia
Mantenimiento Preventivo	Sensores de Neumáticos	Neumáticos de Mayor Resistencia	Programas de Capacitación para Operadores	Implementación de un Sistema de Gestión de Mantenimiento (SGM)	Acondicionamiento de Áreas de Trabajo	Equipamiento de Seguridad para Operadores	Análisis de Costos de Mantenimiento
Mantenimiento Predictivo	Sistemas de Monitoreo en Tiempo Real	Cadenas Protectoras	Promoción de Cultura de Reporte	Registro Detallado de Operaciones	Optimización de Vías de Acceso	Prácticas de Trabajo Seguro	Evaluación de Eficiencia Operativa
Mantenimiento Correctivo	Inspección visual	Inventarios de Repuestos	Entrenamiento en Mantenimiento Preventivo	Análisis de Datos para la Toma de Decisiones	Implementación de Áreas de Mantenimiento	Cumplimiento de Normativas de Seguridad	Rentabilidad de las Soluciones Propuestas

Anexo 6. Autorización de uso de nombre de la empresa



Lima, 17 de julio del 2024

Señor:
Dr. Esaú Tiberio Caro Meza
Rector de la Universidad Continental
Presente. –

Asunto. - Autorización para proyecto de tesis.

De nuestra especial consideración;

Mediante la presente otorgamos autorización para la utilización del nombre de la Compañía Minera Condestable S.A. en el proyecto de tesis "OPTIMIZACION DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PARA REDUCIR LOS CORTES DE NEUMATICOS EN EQUIPOS OPERADOS A CONTROL REMOTO EN COMPAÑIA MINERA CONDESTABLE S. A.", el cual ha sido presentado por los bachilleres de la facultad de ingeniería:

- BACH. MOISES EDUARDO SANCHEZ CASTILLO
- BACH. JULIO CESAR LARICO MACHACA.

Sin otro particular, nos suscribimos de usted,

Atentamente,

Edgar Rubén Viqueco Montoya
Vicepresidente de Recursos Humanos
Compañía Minera Condestable S.A.

Av. Manuel Olgüín 501, oficina 803, Edificio Macros
Monterrico, Lima 33, Perú

Anexo 7. Validación de los instrumentos

FICHA DE VALIDACIÓN DE EXPERTO

Considerando que los estudiantes, en su trabajo de investigación de tesis, debe elaborar su instrumento de medición con la finalidad de que en su Tesis ejecute tal proyecto, se solicita la validación respectiva, para la cual el estudiante debe adjuntar el instrumento de recolección de datos y la matriz de consistencia, de la investigación titulada:

Optimización del Plan de Mantenimiento para reducir los cortes de neumáticos en equipos operados a control remoto en Compañía Minera Condestable S.A. 2021.

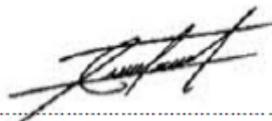
Instrucciones: Marque con una "X" según considere la valoración de acuerdo con cada ítem.

Criterios de Evaluación	Congruencia					Claridad					Tendenciosidad				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1. El instrumento tiene estructura lógica.			X						X					X	
2. La secuencia de presentación de los ítems es óptima.			X						X					X	
3. El grado de complejidad de los ítems es aceptable.					X				X					X	
4. Los términos utilizados en las preguntas son claros y comprensibles.					X				X					X	
5. Los reactivos reflejan el problema de investigación.		X							X					X	
6. El instrumento abarca en su totalidad el problema de investigación.				X					X					X	
7. Las preguntas permiten el logro de objetivos.				X					X					X	
8. Los reactivos permiten recoger información para alcanzar los objetivos de la investigación.		X							X					X	
9. El instrumento abarca las variables e indicadores.				X					X					X	
10. Los ítems permiten contrastar las hipótesis.			X						X					X	
Sumatoria Parcial									X					X	
Sumatoria Total															
	Congruencia					Claridad					Tendenciosidad				
5 - Optimo	5 - Optimo					5 - Mínimo									
4 - Satisfactorio	4 - Satisfactorio					4 - Poca									
3 - Bueno	3 - Bueno					3 - Regular									
2 - Regular	2 - Regular					2 - Bastante									
1 - Deficiente	1 - Deficiente					1 - Fuerte									

Observaciones:

.....

Nombres y Apellidos del Experto: Ayrton Jean Paul Concha Pineda
 Especialidad: Ingeniero Industrial
 DNI: 73321217



Firma:
 CIP:253556.....

ESCALA DICOTÓMICA PARA JUICIO DE EXPERTOS

Apreciación del experto sobre el cuestionario:El cuestionario cuenta con las preguntas correctas que ayudan a obtener mayor información para resolver el problema principal.....

Criterios de Evaluación	Correcto	Incorrecto
1. El instrumento tiene estructura lógica.	X	
2. La secuencia de presentación de los ítems es óptima.	X	
3. El grado de complejidad de los ítems es aceptable.	X	
4. Los términos utilizados en las preguntas son claros y comprensibles.	X	
5. Los reactivos reflejan el problema de investigación.	X	
6. El instrumento abarca en su totalidad el problema de investigación.	X	
7. Las preguntas permiten el logro de objetivos.	X	
8. Los reactivos permiten recoger información para alcanzar los objetivos de la investigación.	X	
9. El instrumento abarca las variables e indicadores.	X	
10. Los ítems permiten contrastar las hipótesis.	X	

Nombres y Apellidos del Experto: Ayrton Jean Paul Concha Pineda.

DNI: 73321217.

Firma: 

FICHA DE VALIDACIÓN DE EXPERTO

Considerando que los estudiantes, en su trabajo de investigación de tesis, debe elaborar su instrumento de medición con la finalidad de que en su Tesis ejecute tal proyecto; se solicita la validación respectiva, para la cual el estudiante debe adjuntar el instrumento de recolección de datos y la matriz de consistencia, de la investigación titulada:

Optimización del Plan de Mantenimiento para reducir los cortes de neumáticos en equipos operados a control remoto en Compañía Minera Condestable S.A. 2021.

Instrucciones: Marque con una "X" según considere la valoración de acuerdo con cada ítem.

Criterios de Evaluación	Congruencia					Claridad					Tendenciosidad				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1. El instrumento tiene estructura lógica.					X					X	X				
2. La secuencia de presentación de los ítems es óptima.					X					X	X				
3. El grado de complejidad de los ítems es aceptable.					X					X	X				
4. Los términos utilizados en las preguntas son claros y comprensibles.					X					X	X				
5. Los reactivos reflejan el problema de investigación.					X					X	X				
6. El instrumento abarca en su totalidad el problema de investigación.					X					X	X				
7. Las preguntas permiten el logro de objetivos.					X					X	X				
8. Los reactivos permiten recoger información para alcanzar los objetivos de la investigación.					X					X	X				
9. El instrumento abarca las variables e indicadores.					X					X	X				
10. Los ítems permiten contrastar las hipótesis.					X					X	X				
Sumatoria Parcial					X					X	X				
Sumatoria Total															
Congruencia	Claridad					Tendenciosidad									
5 - Óptimo	5 - Óptimo					5 - Mínimo									
4 - Satisfactorio	4 - Satisfactorio					4 - Poca									
3 - Bueno	3 - Bueno					3 - Regular									
2 - Regular	2 - Regular					2 - Bastante									
1 - Deficiente	1 - Deficiente					1 - Fuerte									

Observaciones:

.....

Nombre y Apellidos del Experto: JORGE ENRIQUE HIDALGO QUIROGA Especialidad: INGENIERIA INDUSTRIAL

DNI: 5202876

Nro. Celular: 999653135

Firma: 
 CIP: 106524

ESCALA DICOTÓMICA PARA JUICIO DE EXPERTOS

Apreciación del experto sobre el cuestionario:

EL CUESTIONARIO CUENTA CON LOS PARÁMETROS
DEBIDOS PARA LA VALIDACIÓN EN LA OPTIMIZACIÓN DEL
PLAN DE MANT. DE LOS CORPES DE PNEUMÁTICOS EN CMC.

Criterios de Evaluación	Correcto	Incorrecto
1. El instrumento tiene estructura lógica.	X	
2. La secuencia de presentación de los ítems es óptima.	X	
3. El grado de complejidad de los ítems es aceptable.	X	
4. Los términos utilizados en las preguntas son claros y comprensibles.	X	
5. Los reactivos reflejan el problema de investigación.	X	
6. El instrumento abarca en su totalidad el problema de investigación.	X	
7. Las preguntas permiten el logro de objetivos.	X	
8. Los reactivos permiten recoger información para alcanzar los objetivos de la investigación.	X	
9. El instrumento abarca las variables e indicadores.	X	
10. Los ítems permiten contrastar las hipótesis.	X	

Nombres y Apellidos del Experto: JORGE ENRIQUE HIDALGO RUIZ

Teléfono: 999653135

DNI: 07201876

Firma: 

FICHA DE VALIDACIÓN DE EXPERTO

Considerando que los estudiantes, en su trabajo de investigación de tesis, debe elaborar su instrumento de medición con la finalidad de que en su Tesis ejecute tal proyecto; se solicita la validación respectiva, para la cual el estudiante debe adjuntar el instrumento de recolección de datos y la matriz de consistencia, de la investigación titulada:

Optimización del Plan de Mantenimiento para reducir los cortes de neumáticos en equipos operados a control remoto en Compañía Minera Condestable S.A. 2021.

Instrucciones: Marque con una "X" según considere la valoración de acuerdo con cada ítem.

Criterios de Evaluación	Congruencia					Claridad					Tendenciosidad				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1. El instrumento tiene estructura lógica.					X					X	X				
2. La secuencia de presentación de los ítems es óptima.					X					X	X				
3. El grado de complejidad de los ítems es aceptable.					X					X	X				
4. Los términos utilizados en las preguntas son claros y comprensibles.					X					X	X				
5. Los reactivos reflejan el problema de investigación.					X					X	X				
6. El instrumento abarca en su totalidad el problema de investigación.					X					X	X				
7. Las preguntas permiten el logro de objetivos.					X					X	X				
8. Los reactivos permiten recoger información para alcanzar los objetivos de la investigación.					X					X	X				
9. El instrumento abarca las variables e indicadores.					X					X	X				
10. Los ítems permiten contrastar las hipótesis.					X					X	X				
Sumatoria Parcial					X										
Sumatoria Total															
Congruencia	Claridad					Tendenciosidad									
5 - Óptimo	5 - Óptimo					5 - Mínimo									
4 - Satisfactorio	4 - Satisfactorio					4 - Poca									
3 - Bueno	3 - Bueno					3 - Regular									
2 - Regular	2 - Regular					2 - Bastante									
1 - Deficiente	1 - Deficiente					1 - Fuerte									

Observaciones:

.....

Nombres y Apellidos del Experto: Miguel John Human Porras Especialidad:

• DNI: 41730927

Nro. Celular:

Firma: 

CIP: 176503

ESCALA DICOTÓMICA PARA JUICIO DE EXPERTOS

Apreciación del experto sobre el cuestionario:

El cuestionario cuenta con la estructura óptima para alcanzar los objetivos de investigación del proyecto de tesis.

Criterios de Evaluación	Correcto	Incorrecto
1. El instrumento tiene estructura lógica.	X	
2. La secuencia de presentación de los ítems es óptima.	X	
3. El grado de complejidad de los ítems es aceptable.	X	
4. Los términos utilizados en las preguntas son claros y comprensibles.	X	
5. Los reactivos reflejan el problema de investigación.	X	
6. El instrumento abarca en su totalidad el problema de investigación.	X	
7. Las preguntas permiten el logro de objetivos.	X	
8. Los reactivos permiten recoger información para alcanzar los objetivos de la investigación.	X	
9. El instrumento abarca las variables e indicadores.	X	
10. Los ítems permiten contrastar las hipótesis.	X	

Nombres y Apellidos del Experto:

Teléfono: 989523975

DNI: 41730927

Firma: 