

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Mecánica



Trabajo de Suficiencia Profesional

Modelo de Vida Remanente para Optimizar el Reemplazo de un Cargador de Bajo Perfil en una Compañía Minera Subterránea

Para obtener el Título Profesional Ingeniero Mecánico Electricista

Elaborado por:

Rubén Salguero Luna

[0009-0000-1252-5101](#)

Asesor:

Dr. Juan Pablo Vargas Machuca Bueno

[0000-0003-1336-077X](#)

Lima, Perú

2024

Citar/How to cite	Salguero Luna[1]
Referencia/Reference	[1] R. Salguero Luna, " <i>Modelo de Vida Remanente para Optimizar el Reemplazo de un Cargador de Bajo Perfil en una Compañía Minera Subterránea</i> " [Trabajo de Suficiencia Profesional]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2024.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

Citar/How to cite	(Salguero, 2024)
Referencia/Reference	Salguero, R. (2024). <i>Modelo de Vida Remanente para Optimizar el Reemplazo de un Cargador de Bajo Perfil en una Compañía Minera Subterránea</i> [Trabajo de Suficiencia Profesional, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Lista de contenidos

Lista de contenidos.....	iii
Lista de Tablas	vi
Lista de Figuras	viii
Resumen	x
Abstract	xi
Introducción	xii
CAPITULO I: Generalidades.....	1
1.1 Antecedentes de la investigación.....	1
1.2 Identificación y Descripción del problema de Estudio.....	5
1.3 Formulación del Problema	9
1.3.1 Problema general	9
1.3.2 Problemas Específicos	10
1.4 Justificación e Importancia.....	10
1.5 Objetivos.....	10
1.5.1 Objetivo General.....	10
1.5.2 Objetivos Específicos	11
1.6 Hipótesis.....	11
1.6.1 Hipótesis General	11
1.6.2 Hipótesis Específicas.....	11
1.7 Variables y Operacionalización de variables	12
1.7.1 Operacionalización de variables	12
1.8 Metodología de la Investigación.....	14
1.8.1 Unidad de Análisis.....	14
1.8.2 Tipo, enfoque y nivel de investigación	18
1.8.3 Diseño de la Investigación.....	18
1.8.4 Fuentes de Investigación.....	18

1.8.5	Población y Muestra	18
1.8.6	Técnicas e Instrumentos de recolección de datos	18
1.8.7	Análisis y Procesamiento de Datos.....	19
CAPITULO II: Marco Teórico y Marco Conceptual		20
2.1	Bases Teóricas	20
2.1.1	Reemplazo de Equipos.....	20
2.1.2	Causas y Factores de Reemplazo.....	21
2.1.3	Obsolescencia.....	23
2.1.4	Ciclo de Vida	25
2.1.5	Costo de Ciclo de Vida	25
2.1.6	Modelos determinísticos y probabilísticos.....	26
2.1.7	Modelo de vida remanente o costo de ciclo de vida.....	26
2.1.8	Estimación de tiempo óptimo de reemplazo	27
2.1.9	Costos de inversión	28
2.1.10	Costos de producción.....	28
2.1.11	Costos de mantenimiento	28
2.1.12	Costos por eventos no deseados	28
2.1.13	Costos por desincorporación	29
2.1.14	Criticidad	29
2.1.15	Tasa de Falla.....	30
2.1.16	Categoría de Frecuencias de Falla	30
2.1.17	Categoría de consecuencias	30
2.1.18	Disponibilidad	31
2.1.19	Tiempo Promedio Para Reparar (MTTR – Mean Time to Repair)	32
2.1.20	Tiempo Promedio Entre Falla (MTBF – Mean Time Between Failure)	32
2.1.21	Equipo de bajo perfil.....	32
2.2	Marco Conceptual.....	40
CAPITULO III: Desarrollo del Trabajo de Investigación.....		41

3.1	Determinación de la Matriz de Criticidad de equipos.....	41
3.2	Determinación de los Eventos de Falla	45
3.3	Determinación de Costos de repuestos y Requerimientos	47
3.4	Aplicación del Modelo de Vida Remanente	48
CAPITULO IV: Resultados, Contrastación de Hipótesis y Discusión de Resultados		59
4.1	Resultados.....	59
4.2	Contrastación de Hipótesis	60
4.2.1	Contrastación de Hipótesis General	60
4.2.2	Contrastación de Hipótesis Específica 1	61
4.2.3	Contrastación de Hipótesis Específica 2.....	62
4.2.4	Contrastación de Hipótesis Específica 3.....	63
4.2.5	Contrastación de Hipótesis Específica 4.....	64
4.3	Discusión de Resultados.....	66
Conclusiones		69
Recomendaciones		70
Referencias		71
Anexos		75

Lista de Tablas

Tabla 1	Total de averías registradas (2018-2023)	6
Tabla 2	Total de horas de reparación de equipos	7
Tabla 3	Cuadro de características de equipos de bajo perfil modelo R1600	14
Tabla 4	Clasificación de Consecuencias de Falla	31
Tablas 5	Características de Motor	38
Tablas 6	Características de Eje	38
Tablas 7	Características del Cucharón	39
Tablas 8	Dimensiones de giro	39
Tablas 9	Tiempo de ciclo hidráulico	39
Tabla 10	Indicador de Frecuencia	41
Tabla 11	Indicador de Consecuencia	42
Tabla 12	Datos y Fallas de Equipos	43
Tabla 13	Nivel de Consecuencia General	43
Tabla 14	Nivel de Criticidad General	44
Tabla 15	Eventos de Falla por Equipos (2019-2023)	45
Tabla 16	Cuadro de Indicadores (2019-2023).	48
Tabla 17	Cuadro de Costos de Mantenimientos (2019-2023)	49
Tabla 18	Cuadro de Resultados Proyectados de Indicadores	50
Tabla 19	Costos de Equipo Actual CAT 04	52
Tabla 20	Costos de Equipo Nuevo	53
Tabla 21	Costos de Vida Remanente de un Equipo Actual CAT 04	55

Tabla 22	Costos de Vida Remanente de un Equipo Nuevo	56
Tabla 23	Costos Totales de Punto Óptimo de Reemplazo.....	57
Tabla 24	Criticidad de equipos	61
Tabla 25	Eventos de Falla por Equipos (2019-2023)	62

Lista de Figuras

Figura 1	Disponibilidad de equipos (2019-2023)	6
Figura 2	Horas de trabajo de equipos (2019-2023)	6
Figura 3	Costos de mantenimiento (2019-2023)	7
Figura 4	Costos de repuestos	8
Figura 5	Eventos por fuga de aceite (2019-2023)	9
Figura 6	Zona de Trabajo de Cargadores de Bajo Perfil	15
Figura 7	La zona de reparaciones y mantenimientos	15
Figura 8	Mantenimiento preventivo de CAT 04(Izquierda) y CAT 03(Derecha)	16
Figura 9	Reparación no programada de CAT 05.....	16
Figura 10	Reparación de cuchara de CAT 04	17
Figura 11	Reparación de motor CAT 03.....	17
Figura 12	Fases de obsolescencia.....	24
Figura 13	Tiempo óptimo de reemplazo	27
Figura 14	Matriz de criticidad	29
Figura 15	Partes principales de un Scooptram R1600G.....	33
Figura 16	Motor Cat 317C.....	34
Figura 17	Sistema de Transmisión.....	35
Figura 18	Bastidor.....	36
Figura 19	Panel de Control	37
Figura 20	Cucharón de flecha fundida	37
Figura 21	Matriz de Criticidad de Equipos de Bajo Perfil.....	44
Figura 22	Diagrama de Pareto de Eventos de Falla (2019-2023).....	46

Figura 23	Componentes del Equipo CAT 04	46
Figura 24	Consumo de Repuestos y Requerimientos (2019-2023)	47
Figura 25	Costos de Mantenimiento (2019-2023)	48
Figura 26	Punto Óptimo de Reemplazo del equipo CAT 04	58
Figura 27	Equipos que superan el costo de \$620 000	63
Figura 28	Costos de Mantenimiento antes del reemplazo del CAT 04	64
Figura 29	Costos de Mantenimiento después del reemplazo del CAT 04 por el CAT NUEVO	65
Figura 30	Diagrama de Pareto de Eventos de Falla antes del reemplazo del CAT 04.....	65
Figura 31	Diagrama de Pareto de Eventos de Falla después del reemplazo del CAT 04 por el CAT nuevo	66

Resumen

La presente investigación tuvo como finalidad proponer un modelo de vida remanente para optimizar el reemplazo de un cargador de bajo perfil en una compañía minera subterránea. Se trata de una investigación de enfoque cuantitativo de diseño no experimental y de tipo correlacional. La muestra estuvo compuesta por 5 equipos de bajo perfil modelo R1600 a las que se les aplicó la matriz de criticidad, eventos de fallas, costos de repuestos y requerimientos. El análisis permitió determinar el equipo más crítico a nivel de costos de mantenimiento, seguridad y medio ambiente. La aplicación del equipo más crítico en el modelo de vida remanente proporcionó dos resultados; el primero para el equipo más crítico, el cual debe ser reemplazado en el año 2024, y el segundo para un nuevo equipo de las mismas características que debe ser reemplazado en un periodo de 6 años; valor que es contrastable con lo estipulado por los fabricantes de equipos de bajo perfil cuyo tiempo de reemplazo es solo a nivel de degradación de equipos. Al realizar el reemplazo del equipo más crítico, los costos globales de mantenimiento se reducen al 22% con una disminución de eventos de falla del 14%. Asimismo, se verificó que el equipo más antiguo no necesariamente es el más crítico debido a su intermitencia de trabajo dentro del ciclo de minado. Se concluye que el modelo de vida remanente influye directamente en la mejora de reemplazo de equipos de bajo perfil con una estimación correcta del tiempo de reemplazo y la reducción de costos globales de mantenimiento y numero de eventos de falla.

Palabras clave: Vida remanente, Criticidad, Tiempo de reemplazo.

Abstract

A remaining life model is proposed in order to maximize the replacement of a low-profile loader in an underground mining company. Research is correlational, quantitative, and non-experimental. Five low-profile R1600 model equipment were used in the sample; the criticality matrix, failure events, requirements, and spare parts costs were applied. We were able to identify the most important equipment in terms of safety, maintenance costs and the environment through the analysis. In the remaining life model, using the most vital equipment resulted in two outcomes: the first is for the most critical equipment, which should be replaced in 2024; the second is for new equipment with the same characteristics, which should be replaced in 6 years; a value comparable to that stated by low-profile equipment manufacturers whose replacement time is entirely dependent on the deterioration of the equipment is approximately the same. In addition to a reduction of 14% in failure events, by replacing the most vital equipment, the overall maintenance costs are lowered by 22%. In addition to this, as a result of its intermittent function during the mining cycle, it was demonstrated that the oldest equipment is not necessarily the most relevant. With an accurate estimate of replacement time, as well as decrease in the overall maintenance costs and the number of failures, it is concluded that the remaining life model has a direct impact on the improvement of low-profile equipment replacement.

Keywords: Remaining life, Criticality, Replacement time.

Introducción

La creciente explotación subterránea de minerales por parte de las industrias mineras conlleva a demandar equipos de bajo perfil de alta eficiencia con menores costos de mantenimiento, ello para garantizar una continuidad en la extracción de minerales y generar rentabilidad en la compañía. Actualmente las unidades mineras subterráneas no logran garantizar el cumplimiento de extracción de mineral diario y mensual requerido por la planta concentradora, concordando con la aseveración de Paucar Soto (2019). Asimismo, conllevan a pérdidas de producción, incremento de lucro cesante, paralización de equipos por factores de antigüedad de los equipos de bajo perfil cuyos componentes están desfasados tecnológicamente, repuestos que tienen tiempos de atención prolongados por la antigüedad de estos, impacto en la seguridad y medio ambiente, inadecuada operación de equipos, deficiente gestión de mantenimiento y planificación de minado.

Frente a la problemática descrita en el párrafo anterior, la presente investigación propone identificar el tiempo óptimo de reemplazo de un equipo de bajo perfil mediante el modelo de vida remanente cuyo análisis es independiente de la antigüedad que pueda presentar el equipo, ello para garantizar un adecuado reemplazo del activo en el tiempo, mejora en la gestión de mantenimiento, reducción de costos de mantenimiento, cumplimientos de producción, evitar la contaminación del medio ambiente, generar mayor seguridad al operador al momento de maniobrar el equipo, tener mayor disponibilidad de repuestos y componentes en el mercado para una eficiente atención frente a una parada planificada y por falla.

Ante ello se han presentado diferentes alternativas con el fin de contribuir en la mejora de reemplazo de equipos. Es así como Bejarano Juan de Dios (2021) tuvo como propuesta realizar el reemplazo de maquinarias mineras para mejorar los indicadores de mantenimiento por una metodología costo-beneficio, mientras que Cjuno Chuctaya (2014) se basó en equipos de superficie, que planteó determinar la vida económica de un equipo para toma de decisiones mediante el método del costo acumulado por horas y el método de índices de rentabilidad económica. Ambos casos mencionados no permiten conocer el tiempo

óptimo de reemplazo de un equipo en específico. Asimismo, Montane García (2019) propuso en su artículo de investigación el reemplazo de transformadores de fuerza por medio de un modelo de vida remanente.

Se considera que los resultados de este estudio de investigación constituirán un aporte importante en la toma de decisiones optimas de reemplazo de equipos y tener una mejor comprensión de cómo los indicadores de mantenimiento juegan un papel importante en el análisis de reemplazo.

CAPITULO I

Generalidades

1.1 Antecedentes de la investigación

Cjuno Chuctaya (2014)¹, aborda en su estudio la problemática de la baja eficiencia, baja disponibilidad mecánica y el incremento del costo de operación por horas de operación para equipos de cargadores frontal modelo CAT 980G de capacidad de 4.3 m³, por lo que planteó determinar la vida económica del equipo para tomar la decisión de reemplazarlo, empleando modelos económicos de reemplazo por el método del costo acumulado por horas y el método de índices de rentabilidad económica, cuya justificación estuvo abocada en la contribución hacia las empresas al presentar modelos de selección y reemplazo de equipos, de manera que logren operar continuamente, minimizando la pérdida de tiempo, el costo de operación y aumentando la eficiencia. La recopilación de información fue en un periodo de 7 años entre el año 2006 y 2012, con datos de rendimiento (tm/h), disponibilidad mecánica, horas de trabajo anual, costos de operación y mantenimiento. El estudio tuvo un enfoque cuantitativo de tipo de investigación de carácter básico de nivel descriptivo y de diseño no experimental. Los resultados obtenidos al aplicar el modelo del reemplazo por el método del costo acumulativo por horas fue un costo mínimo promedio de \$/h 69,62 en el quinto año con un máximo de 22 954 horas trabajadas, mientras que por el método de índices de rentabilidad económica el costo mínimo promedio fue de \$/h 62,54 entre el cuarto y quinto año con un máximo de 22 000 horas trabajadas. Por lo que se concluye que el equipo debe ser reemplazado en el quinto año cuando el equipo haya trabajado entre 20 000 a 22 000 horas de operación.

¹ Cjuno Chuctaya, E. S. (2014).” *Estimación económica del cargador frontal CAT 980G y su reemplazo en el tajo abierto en la unidad Tucari-empresa minera Aruntani SAC.*” Tesis de grado. Universidad Nacional de San Agustín – Arequipa. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/3856>

Montane García, et al (2019)², describieron en su artículo la problemática de los daños que implican un fallo de aislamiento en los transformadores de fuerza (TF), por lo que propusieron evaluar la probabilidad de vida remanente del transformador de fuerza. El artículo fue dividido en tres partes fundamentales: El primer apartado dedicado a la vida remanente de TF, donde se expuso que la vida remanente de los TF's es un asunto de interés para las empresas que brindan el servicio de la electricidad, los fabricantes de transformadores y las empresas de seguros que indicaron que el conocimiento de la vida remanente de los TF's es un factor decisivo para administrar el riesgo asociado con la confiabilidad de la red y, por supuesto, para brindar un servicio eléctrico de calidad. Un segundo apartado fue dedicado a la evolución histórica de los métodos más generalizados para establecer la vida remanente de los TF's, en el que se explicó que la industria usa distintas herramientas para la obtención de la vida remanente de los TF's, donde se destacó tres tipos: las técnicas que utilizan el análisis físico-químico, el análisis de derivados furánicos disueltos en el aceite aislante, las que utilizan análisis estadístico y las técnicas que utilizan inteligencia computacional. Se concluyó que la evaluación de la vida remanente de los TF's se basa fundamentalmente en el análisis de compuestos furánicos disueltos en el aceite, presentando limitaciones cuando el aceite pierde efectividad cuando éste es reacondicionado o sustituido por aceite aislante, como también indicaron que los compuestos furánicos no constituyen una herramienta definitiva o concluyente para poder juzgar sobre el estado real de los equipos y su envejecimiento. Otras de las afirmaciones que indicaron es la necesidad de desarrollar un método que posibilite determinar, de manera confiable, a partir de la información de explotación, mantenimiento y diagnóstico, de la probabilidad de vida técnica remanente de TF's. El estudio tuvo un enfoque cualitativo de tipo de investigación de carácter básico de nivel descriptivo y de diseño no experimental.

² Montané García, Jorge Juan, Dorbercker Drake, Santiago Alfredo, & del Castillo Serpa, Alfredo Manuel. (2019). Avances en evaluación del estado y la vida remanente de transformadores de fuerza. *Ingeniería Energética*, 40(3), 245-256. Epub 18 de septiembre de 2019.

[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59012019000300245&lng=es&tlng=es.](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59012019000300245&lng=es&tlng=es)

TF: Transformador de fuerza

Quito Matos y Babilonia Jaramillo (2020)³, indicaron la problemática de pérdidas operativas de los accesorios de la columna de perforación desarrolladas por el equipo minero Boomer S1D de la empresa Epiroc Perú S.A. en rocas de tipo regular a mala, los cuales tendieron a variar los rendimientos de cada accesorio, generando pérdidas operativas que repercuten negativamente en la producción de mineral al explotar, elevando el costo de perforación de unidad productiva al no cumplir la vida útil de cada accesorio. La justificación propuesta estuvo alineada a la pérdida de eficiencia en operaciones, el tipo de roca y habilidad del operador cuyo control de factores fue primordial para aumentar la vida útil de cada pieza de perforación.

El objetivo principal del estudio estuvo basado en la determinación del análisis de vida útil de aceros de perforación para evaluar los costos operativos en galerías de la compañía minera San Cristóbal de Volcán S.A. La metodología aplicada es de carácter deductivo con un análisis de datos de campo *in situ*, donde la recolección de datos fue mediante la técnica observacional y procesamiento de datos actuales de la perforación, representado por el nivel 1120, labor SP 6 de la zona alta de la unidad productora San Cristóbal de Volcán. El estudio tuvo un enfoque cuantitativo de tipo de investigación aplicada, nivel explicativo.

La conclusión alcanzada se reflejó en la velocidad de perforación que depende del afilado de broca, donde a más metros perforados, la broca tiende a desgastarse y disminuye la velocidad de perforación. Al inicio la broca sin afilar tendió a tener mayor velocidad por ser nueva, pero disminuyó su velocidad de penetración según su avance, siendo que el afilado generó incremento de vida útil de la broca y de las demás piezas de perforación optimizando costos.

³ Quito Matos, J. C. y Babilonia Jaramillo, R. (2020). “ *Análisis de la vida útil de aceros de perforación para evaluar costos operativos en galerías Compañía Minera San Cristóbal S.A.A.*” Tesis de grado. Universidad Continental - Huancayo. <https://hdl.handle.net/20.500.12394/8523>

Bejarano Juan de Dios (2021)⁴, quien realizó un estudio sobre la baja disponibilidad en equipos de bajo perfil afectado directamente por el cumplimiento de vida útil de los equipos, ocasionando constantes fallas por paradas imprevistas, acumulación de horas de trabajo generando altos costos de operación y mantenimiento. El estudio tuvo justificación en el impacto que generaría sobre los servicios, costos de reparación, impacto ambiental, impacto en salud y seguridad personal. Asimismo, servir como un referente en el análisis de criticidad para el personal de mantenimiento de maquinarias, cuyo objetivo estuvo basado en realizar una propuesta de reemplazo de maquinarias mineras para mejorar los indicadores de mantenimiento en la unidad operativa Pallancata - empresa contratista IESA – Ayacucho. Se propuso una metodología basada en los costos-beneficios asociados a los equipos influenciados por el valor actual neto, tasa interna de retorno y flujo de caja de modelo convencional.

El estudio tuvo un enfoque cuantitativo de tipo de investigación de carácter básico, nivel descriptivo y de diseño no experimental. La muestra de estudio fueron 5 maquinarias mineras Scooptram modelo R1600G. Los instrumentos utilizados para recolectar la información fueron fichas de registro y formato de entrevista.

Los resultados mostraron que la propuesta del reemplazo de las maquinarias obtuvo como resultado una mejora en los gastos por mantenimiento, siendo de \$210 000 al año, lo que significa una disminución de costos hasta 60.56%.

La propuesta fue viable con un beneficio/costo de 2.99, un VAN de \$3 011 887,25 y un TIR de 42.02%. Se concluyó que los indicadores económicos mostraron resultados positivos, el cual definió que la propuesta del reemplazo es el más viable para la empresa contratista IESA – Ayacucho.

⁴ Bejarano Juan de dios, R.J. (2021). "*Reemplazo de maquinarias mineras para mejorar los indicadores de mantenimiento en la unidad operativa Pallancata - empresa contratista IESA – Ayacucho.*" Tesis de grado. Universidad Nacional del centro del Perú - Huancayo. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/8560>

1.2 Identificación y Descripción del problema de Estudio

Actualmente, a nivel mundial existe una creciente explotación subterránea de minerales por parte de las compañías mineras, y una de las razones para este tipo de explotación es cuando la extracción a cielo abierto no es posible por motivos ambientales o económicos. Para garantizar una adecuada extracción de minerales, se opta por la adquisición de equipos de bajo perfil cuya eficiencia debe garantizar el cumplimiento de producción y el tiempo adecuado de reemplazo de estos equipos.

A nivel nacional, existen varias unidades mineras subterráneas que usan equipos de bajo perfil de diferente tipo de modelo y capacidad para el acarreo de minerales desde las galerías hacia la zona de envío, cuya extracción es continua, demandando una mayor atención a los componentes, sistemas de equipos, adecuado diagnóstico de fallas y una buena gestión de cambio de equipo por antigüedad.

Actualmente la problemática presente en la unidad Huallanca de la compañía minera respecto a la flota de equipos de bajo perfil modelo R1600 radica en la antigüedad de sus equipos, cuyo reemplazo se debió realizar a las 20 000 horas o 12 000 horas de extensión por overhaul, cuyas decisiones de cambio no se realizaron oportunamente, afectando de forma directa a la producción de minerales y costos de mantenimiento, cuyo valor está reflejado en las disponibilidades recopiladas de un periodo de 5 años mostrados en la Figura 1, cuyos equipos tienen hasta la fecha un alargamiento de su ciclo de vida más allá de lo aceptable, y que durante ello no tuvieron reemplazo ni overhaul, como se muestra en la Figura 2, donde se puede apreciar la antigüedad de estos equipos y las horas de trabajo acumulado. La Tabla 1 indica la alta tasa de falla en los equipos, lo que conlleva un elevado tiempo de reparación como se indica en la Tabla 2, altos costos de mantenimiento representado en la Figura 3, donde se puede apreciar que los equipos que tienen mayor incidencia son los equipos CAT 04, CAT 05 y CAT 03.

Figura 1

Disponibilidad de equipos (2019-2023)

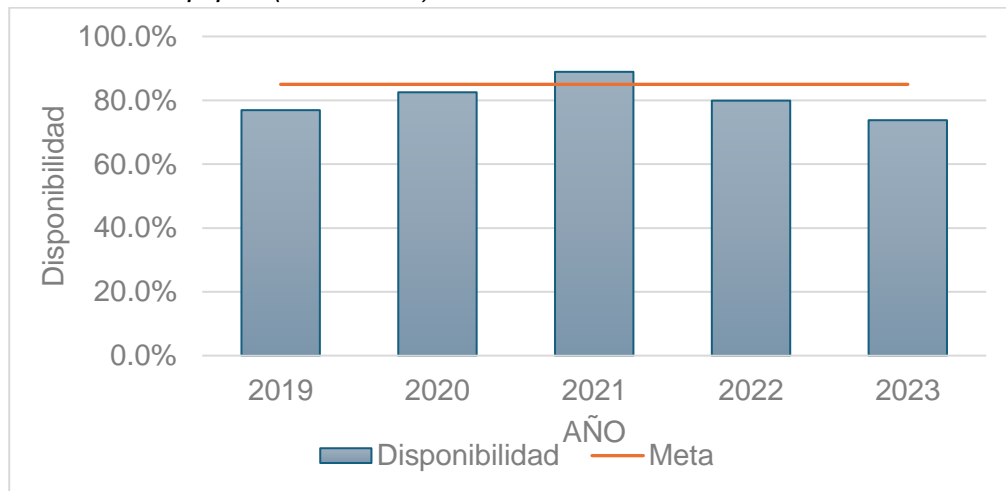


Figura 2

Horas de trabajo de equipos (2019-2023)

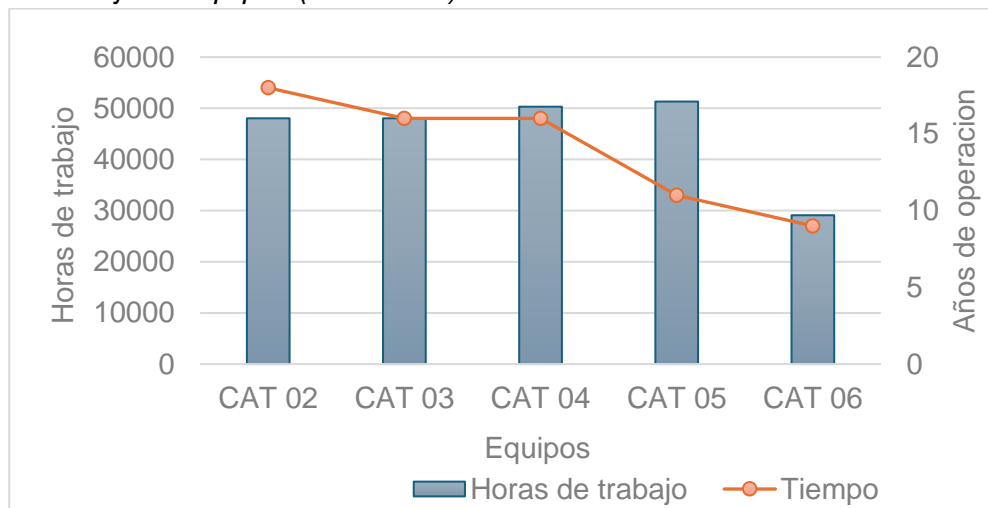


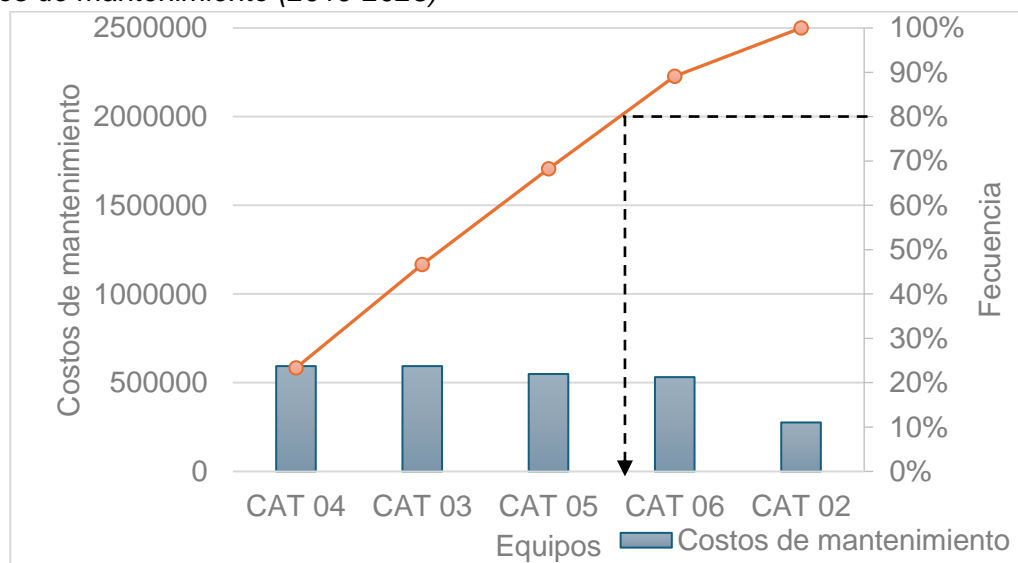
Tabla 1

Total de averías registradas (2018-2023)

Equipos	Tasa de fallas
CAT2	488
CAT3	961
CAT4	563
CAT5	537
CAT6	620

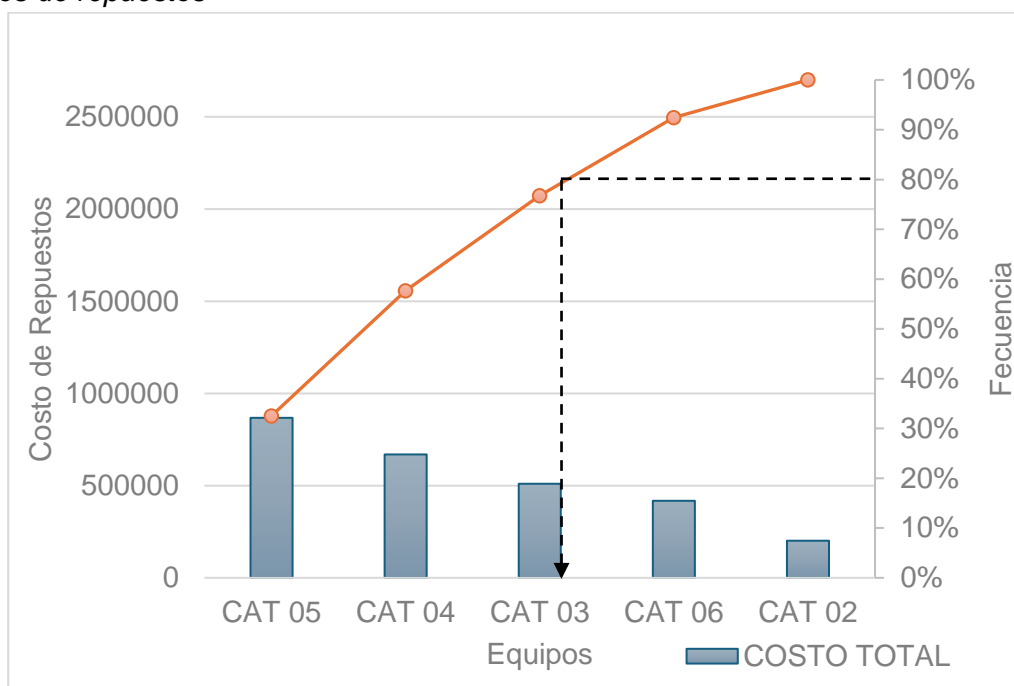
Tabla 2*Total de horas de reparación de equipos*

Equipos	2019	2020	2021	2022	2023
CAT 02	1291.3	820.6	495.9	1138.8	0
CAT 03	2885.3	267.5	722.3	3222.2	785.9
CAT 04	646.6	338.1	526.1	895.3	521.7
CAT 05	1050.3	101.8	497.7	560.4	677.4
CAT 06	786.5	131.5	1378.3	1516.2	392.1

Figura 3*Costos de mantenimiento (2019-2023)*

Del diagrama de Pareto, con respecto a los altos costos de mantenimiento presentados en Figura 3, éstos están sujetos a la alta rotación y requerimientos de repuestos, como se muestra en la Figura 4, donde se puede apreciar que el equipo CAT 04 sobrepasa al costo de un nuevo equipo equivalente a \$ 620 000 para el periodo de tiempo analizado. Este valor puede ser comprobado con la Figura 2, donde se aprecia que este equipo tiene 16 años de operación y alrededor de 50 000 horas de operación.

Figura 4
Costos de repuestos



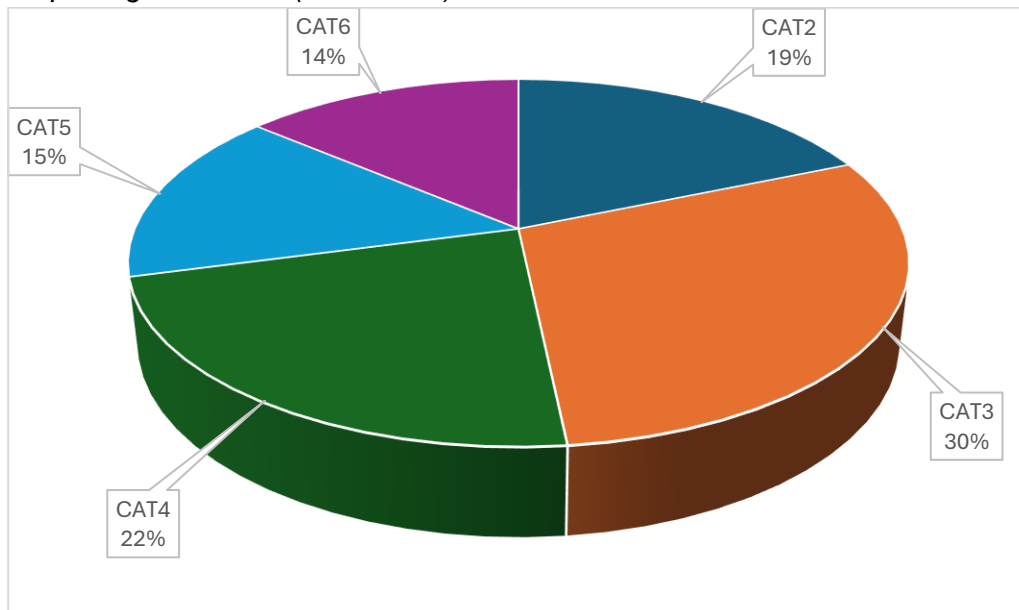
Las causas para esta problemática es la inadecuada gestión de los equipos, deficiente operación en las zonas de trabajo, cuya mala operación daña paulatina o inmediatamente a los sistemas del equipo, ocasionando paradas parciales y totales, involucrando a desvíos del personal para levantar la falla y dejar la tarea programada o preventivo asignado. La falta de sentido de pertenencia con el equipo de trabajo, el cuidado que requiere el equipo, el cumplimiento inadecuado de lubricación de equipos y falta de competencias del operador ocasionan un desfase en el tiempo de localización de las fallas inmediatas por parte del personal mecánico.

El inadecuado cumplimiento de los planes de mantenimiento, reemplazo de componentes asociados a los planes (frecuencias), calidad de trabajo en los mantenimientos, deficientes inspecciones, esperar que un componente en específico falle para realizar su cambio y no tener claro las políticas y objetivos de mantenimiento.

Las consecuencias que se originan son la contaminación constante del suelo por rotura de mangueras, como se puede apreciar en la Figura 5.

Figura 5

Eventos por fuga de aceite (2019-2023)



La contaminación del aire en el interior de la mina es excesiva por la emanación de gases del motor Diesel, lo cual hace latente la inseguridad al momento de maniobrar el equipo en interior mina al extraer los minerales hacia la zona de acopio; igualmente para los técnicos mecánicos al momento de realizar una reparación no programada del equipo en el interior de la mina.

Los tiempos de atención de los repuestos para equipos antiguos es prolongado, debido que los repuestos están fuera de fabricación, y conseguirlos por alternativos ocasionan paradas largas, conllevando la reconfiguración del equipo para evitar la obsolescencia de sus repuestos, incremento de lucro cesante por equipo parado y elevado stock en almacén para salvaguardar la operatividad del equipo.

1.3 Formulación del Problema

1.3.1 Problema general

¿De qué manera realizar el reemplazo de un cargador de bajo perfil en una compañía minera subterránea?

1.3.2 Problemas Específicos

1. ¿Cómo una matriz puede influir en la decisión de reemplazo de los cargadores de bajo perfil en una compañía minera subterránea?
2. ¿Cómo se debe analizar los eventos de falla por antigüedad en los cargadores de bajo perfil en una compañía minera subterránea?
3. ¿Cómo identificar los equipos que sobrepasan el valor de compra de un equipo nuevo de bajo perfil?
4. ¿Cómo corroborar la efectividad implementada en los cargadores de bajo perfil en una compañía minera subterránea?

1.4 Justificación e Importancia

Debido a la problemática de la condición actual de los equipos de la unidad minera analizada, este estudio tiene vital importancia debido a que en la optimización de los trabajos de extracción de minerales no solo conlleva realizar oportunamente mantenimientos preventivos, predictivos o mantenimientos programados durante el ciclo de vida del equipo, sino que también incluye tomar decisiones óptimas de reemplazo de equipos de acuerdo a la antigüedad, con la finalidad de garantizar los cumplimientos de producción, reducción de costos de operación y mantenimiento para la compañía, evitar la contaminación al suelo por fugas de aceite y dar mayor seguridad al operador al momento de maniobrar el equipo, como también permitirá reducir la contaminación del aire generado por los gases del escape del motor Diesel en el interior de la mina.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

Proponer un modelo de vida remanente para optimizar el reemplazo de un cargador de bajo perfil en una compañía minera subterránea.

1.5.2 *Objetivos Específicos*

1. Realizar una matriz de criticidad de los equipos que conforman los cargadores de bajo perfil en una compañía minera subterránea.
2. Preparar el número de eventos de falla por antigüedad de la flota de cargadores de bajo perfil en una compañía minera subterránea.
3. Identificar por un diagrama de Pareto los equipos que tienen mayor costo de consumo de repuestos y requerimientos.
4. Realizar el seguimiento del modelo de vida remanente de un cargador de bajo perfil en una compañía minera subterránea.

1.6 Hipótesis

1.6.1 *Hipótesis General*

El modelo de vida remanente influye en la mejora de reemplazo de un cargador de bajo perfil en una compañía minera subterránea

1.6.2 *Hipótesis Específicas*

1. La matriz de criticidad mejora la identificación del cargador más crítico en la flota de cargadores de bajo perfil en una compañía minera subterránea.
2. Mostrar el equipo que presenta los mayores eventos de fallas por antigüedad en la flota de cargadores de bajo perfil en una compañía minera subterránea.
3. La identificación de costos permite saber qué cargadores de bajo perfil sobrepasan el costo de \$ 620 000 (equipo nuevo).
4. La simulación del modelo de vida remanente mejora la reducción de eventos de falla y costos de mantenimientos.

1.7 Variables y Operacionalización de variables

1.7.1 Operacionalización de variables

Variables	Definición Conceptual	Operacionalización		Escala
		Dimensiones	Indicadores	
VI: Modelo de vida remanente	En la actualidad es posible encontrar una gran variedad de modelos que pueden analizar los costos del ciclo de vida de un activo, la mayoría con ventajas y desventajas. Por otro lado, varios de ellos tienen una metodología completa con respecto a su alcance, pero al analizar ninguno ha sido aceptado como modelo estándar que abarque a una gran parte de aplicabilidad.	1. Costos totales de baja confiabilidad.	Costos anualizados al valor presente en dólares	\$/año
		2. Costos totales por operación y mantenimiento.	Costos anualizados al valor presente en dólares	\$/año
		3. Costos totales por bajo desempeño.	Costos anualizados al valor presente en dólares	\$/año
		4. Matriz de criticidad	Tasa de fallas	Nro. de eventos
		5. Confiabilidad	MTBF	Horas Trabajadas/ (Nro. de Intervenciones)
		6. Mantenibilidad	MTTR	Horas correctivas no programadas/ (Nro. de Intervenciones)
		7. Disponibilidad	Horas de trabajadas	> 85%

VD:	Todo activo pierde su valor de forma física y técnica en el tiempo, esto con respecto al último modelo aparecido en el mercado, generando una inferioridad de servicio o depreciación por obsolescencia tecnológica que crece linealmente en función al tiempo, lo que hace que la presión de reemplazar el activo crece de manera continua.			
Reemplazo de un cargador de bajo perfil		1. Horas de trabajo	Horas de trabajo	horas

1.8 Metodología de la Investigación

1.8.1 Unidad de Análisis

La investigación se centra en una unidad de una compañía minera subterránea ubicada en el distrito de Huallanca, provincia de Bolognesi y región Ancash. Esta unidad es una minera polimetálica que produce concentrados de zinc, plomo y cobre cuyo proceso de extracción de minerales es subterráneo. Las flotas que conforman dentro de este proceso son las flotas de cargadores de bajo perfil. El objeto de estudio se centra en la flota de cargadores de bajo perfil, modelo R1600 de capacidad de 6,3 yd³, cuyas características se presentan en la siguiente Tabla 3.

Tabla 3

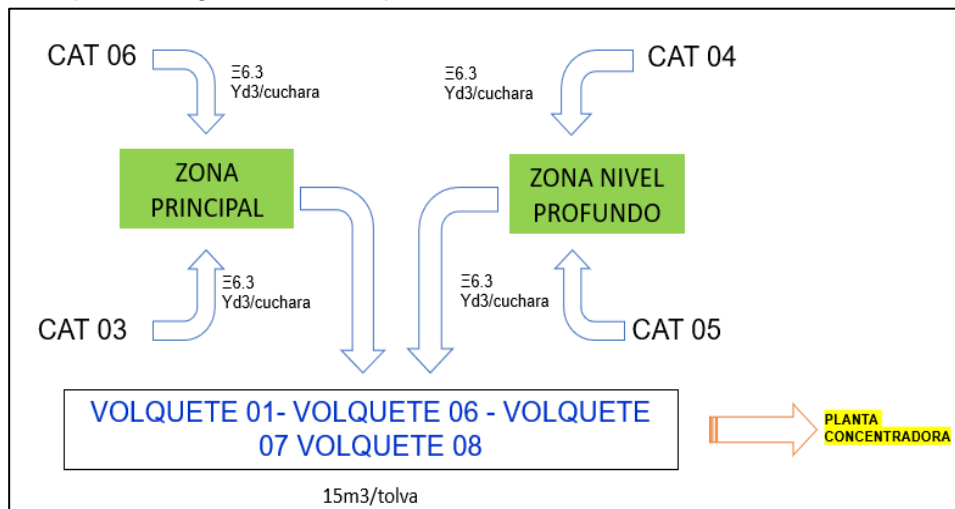
Cuadro de características de equipos de bajo perfil modelo R1600

EQUIPO	CAT 02	CAT 03	CAT 04	CAT 05	CAT 06
Marca	Caterpillar	Caterpillar	Caterpillar	Caterpillar	Caterpillar
Modelo	R1600G	R1600G	R1600G	R1600G	R1600H
Antigüedad (Años)	18	16	16	11	9
Serie Equipo	H9PP00248	T9PP00254	G9YZ00413	9YZ00915	TXE09614
Modelo Motor	3176C	3176C	3176C	3176C	C11
serie Motor	7ZR23338	7ZR23372	7ZR23863	7ZR26975	9SD00142
Capacidad de cucharón	6.3 (yd ³)	6.3 (yd ³)	6.3 (yd ³)	6.3 (yd ³)	6.3 (yd ³)

Las zonas de trabajo de los cargadores de bajo perfil están divididas en dos frentes de extracción de mineral; la zona principal y zona nivel profunda, de los cuales los equipos extraen por cuchara 6.3 yd³ de concentrados de mineral, que es cargado a los volquetes cuyo destino es la planta de procesamiento de mineral, tal como se muestra en la Figura 6.

Figura 6

Zona de Trabajo de Cargadores de Bajo Perfil



La zona de reparaciones y mantenimiento de los cargadores de bajo perfil se lleva a cabo en el taller central de equipos de mina, como se visualiza en la Figura 7, lugar donde se realizan las intervenciones por paradas no programadas, paradas programadas y mantenimientos preventivos.

Figura 7

La zona de reparaciones y mantenimientos



Las intervenciones en el taller central se visualizan en las Figuras 7, 8 y 9, y corresponden a reparaciones de equipos de bajo perfil ubicados adecuadamente en las zanjas; así mismo, se realizan trabajos de reparaciones de motores como se muestra en la Figura 11, ejes, cajas de transmisión, cajas de transferencias de cargadores de bajo perfil, cuyo izaje de componentes es por medio de un puente grúa.

Figura 8

Mantenimiento preventivo de CAT 04(Izquierda) y CAT 03(Derecha)



Figura 9

Reparación no programada de CAT 05



Figura 10

Reparación de cuchara de CAT 04



Figura 11

Reparación de motor CAT 03



1.8.2 Tipo, enfoque y nivel de investigación

La presente investigación es de tipo aplicada, porque se pondrá en práctica los conocimientos científicos disponibles para modificar una realidad con enfoque cuantitativo. También se analizará y manejará información objetiva de cantidades numéricas con nivel descriptivo correlacional, debido que se explicará lo que está sucediendo con los equipos de bajo perfil y correlacional, porque existe una relación entre variables.

1.8.3 Diseño de la Investigación

El diseño de la investigación es de modalidad no experimental, debido a que no se constituye ninguna situación, sino más bien se observan las existentes.

1.8.4 Fuentes de Investigación

La fuente de información será recopilada de un planificador de recurso empresarial (Software Citrix), asociado a los módulos de costos operativos y costos de mantenimientos. Los datos de eventos de fallas, requerimientos o pedidos de repuestos de equipos, disponibilidades, MTBF y MTTR serán recopilados por medio de Microsoft Excel.

1.8.5 Población y Muestra

La población comprende 5 cargadores de bajo perfil, modelo R1600. La muestra en estudio es un cargador de bajo perfil de criticidad media, obtenido a partir de la matriz de criticidad.

1.8.6 Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

La técnica utilizada para la obtención de datos útiles y significativos es de tipo observacional, que permitirá recopilar datos al observar directamente el comportamiento del equipo en taller de equipos de mina en el entorno físico y digital. Los instrumentos de recolección de datos que se utilizarán en la presente investigación es la matriz de criticidad para la obtención del equipo crítico, el diagrama de Pareto para determinar los eventos de fallas de los equipos, costos por requerimientos y el seguimiento con nuevos datos de análisis.

1.8.7 *Análisis y Procesamiento de Datos*

Los datos serán procesados de forma íntegra en el software Microsoft Excel para la aplicación del modelo de vida remanente.

CAPITULO II

Marco Teórico y Marco Conceptual

2.1 Bases Teóricas

2.1.1 *Reemplazo de Equipos*

Galano Quintero et al (2021), indicaron que la unidad básica por la naturaleza de los trabajos requiere de equipos capaces de trabajar en forma continua durante el ciclo de su vida económica. Con el transcurso del tiempo y uso, además de soportar grandes esfuerzos y realizar trabajos bajo condiciones severas y adversas, sufren un desgaste prematuro en algunos de sus componentes para cumplir con la demanda de la producción.

Quiroga (2011) afirma que el desarrollo de la industria ha tenido diferentes etapas, que fueron caracterizadas por las necesidades de nuevas tecnologías más eficientes para lograr mayores tonelajes de extracción con menores costos, donde menciona que la vida útil y el rendimiento de los equipos juegan un papel fundamental en el proceso productivo.

Todo equipo en el horizonte del tiempo se deprecia paulatinamente generando sobrecostos en los repuestos y baja rotación de componentes debido a su desfase en el mercado nacional y mundial. Bravo et al (2001), menciona en su revista publicada que todo activo pierde su valor de forma física y técnica en el tiempo, esto con respecto al último modelo aparecido en el mercado, generando una inferioridad de servicio o depreciación por obsolescencia tecnológica que crece linealmente en función al tiempo, lo que la presión de reemplazar el activo crece de manera continua, mientras que Viveros et al (2004) indica que los equipos deben ser cambiados cuando los costos de reparación se aproximan al costo de un equipo nuevo.

Para que las compañías sigan permaneciendo en el mercado deben sustituir sus equipos paulatinamente, esto para mejorar tecnológicamente y que se genere la confianza en el cumplimiento de la producción y reducción de costos a nivel de operaciones y mantenimiento, afirmación que es sustentada por Paucar Soto (2019), que indica que uno de los problemas más comunes en el tipo de extracción de minería subterránea es la

dificultad para alcanzar el objetivo de productividad planteado por la empresa, debido a causas como el tipo de mineral explotado, baja de los precios de los metales y altos costos de producción.

Selivanov (1972) manifestó que las características de la desventaja de los equipos que envejecen son la reducción progresiva de los plazos de servicio de los elementos constructivos, la complicación progresiva de los trabajos de reparación de los elementos, el crecimiento constante de los trabajos de desmontaje e imprudencia durante el mantenimiento técnico y la reparación. El creciente aumento de gastos directos de utilización al usar una máquina que envejece en la producción genera un progresivo aumento en las pérdidas relacionadas con las posibles variantes de inversión de los medios gastados para otros fines. El límite admisible de desventaja de utilización de la máquina hace al usuario decidir que lo más prudente es cesar su uso; de ahí se deducen las posibilidades de la solución analítica del problema de determinación de los plazos óptimos de servicio de las máquinas y de sus elementos.

2.1.2 Causas y Factores de Reemplazo

Causas de reemplazo

La necesidad o conveniencia de reemplazar un equipo puede deberse a su deterioro físico, a cambios de necesidad que lo hagan inadecuado, o a adelantos tecnológicos incorporados a nuevos modelos, frente a los cuales el equipo existente resulte en desventaja. Es cierto que no está bien definido el punto necesario u óptimo para reemplazar el equipo, pero está muy relacionado con el costo de operación. El incremento del costo de operación está en función al descenso de la eficiencia o rendimiento del equipo como consecuencia del desgaste experimentado y el respectivo incremento del costo de mantenimiento a medida que aumenta la vida del equipo, favoreciendo la decisión de un reemplazo. En general la necesidad de reposición de un equipo no es la misma que para el resto de la flota; también varía de una empresa minera a otra, de acuerdo con las condiciones de trabajo, volumen

de producción, características del producto y del equipo, mantenimiento asignado, etc. Uriegas (1987), considera las siguientes causas para reemplazar un equipo:

Deterioro físico. Es causado por el uso y/o acción de agentes externos, y se traduce en desventaja económica por el descenso del servicio prestado, incrementando los costos de operación y mantenimiento principalmente. El desgaste físico se corrige mediante reparaciones parciales o totales, que a veces no dan buenos resultados, por lo que incrementan el número de horas de paradas para este fin, disminuyendo la eficiencia de operación. Como esta situación no se puede mantener en tiempo indefinido, entonces se optará por reemplazar el equipo en un determinado periodo.

Inadecuado e insuficiente. Un equipo se vuelve inadecuado cuando al cambiar los requerimientos de la demanda o incrementar la mecanización y lograr mayor seguridad, resulta ya demasiado pequeño y con muchas horas de trabajo, siendo incapaz de producir lo planificado en el plan de operaciones, por lo cual existe la necesidad de sustituirlas con unidades de mayor capacidad y adecuadas a las condiciones de trabajo a las que serán sometidas, según los requerimientos que se desea obtener.

Alto costo de operación. A medida que el equipo tenga más tiempo de servicio, el costo de operación y mantenimiento se incrementa con el uso; para lo cual es necesario determinar el volumen económico de operación. Cuando los costos de mantenimiento y operación se incrementan aún más después de realizarse éste en su debido tiempo, es necesario reemplazar el equipo.

Factores

Diversos factores de orden interno o externo afectan a las decisiones de reemplazo de equipo, dentro de ellas podemos citar:

Capital disponible. Cuando una empresa se encuentra en desarrollo, las inversiones de expansión tienen a menudo prioridad sobre las de mantenimiento y reemplazo de equipos, pero en esta etapa cuando se debe aprovechar para reemplazar los

equipos necesarios; lo contrario sucede cuando la empresa alcanza estabilidad y madurez. En cada etapa de su existencia, la empresa debe buscar el equilibrio óptimo entre tipos de inversiones.

Factor de inercia. Es la demora injustificada del reemplazo de un equipo, ya que en las empresas existe propensión a dejarse vencer por la inercia, posponiendo las decisiones de cambios necesarios.

Impuesto sobre el Ingreso. Es el régimen del impuesto sobre la renta, ya que las alternativas que se plantean son: adquirir equipo nuevo o conservar el existente, es decir, invertir ahora o diferir la inversión.

Inflación. En todos los problemas de reemplazo de equipo es muy importante considerar la tasa probable de inflación, la cual afectará en forma diferente los costos de inversión, los de operación y los ingresos. El aumento o disminución real de los costos o ingresos respecto a tiempo, puede conocerse solo corrigiendo las estadísticas respectivas por medio de índices de costos, de manera que todas las cifras queden expresadas en unidades monetarias constantes.

2.1.3 Obsolescencia

De acuerdo con la Norma Europea IEC 62402, ésta indica que la obsolescencia es un importante generador de costos que puede afectar los equipos en todas las etapas del proceso de adquisición afectando el ciclo de vida de las piezas principales de los equipos, acortando significativamente la vida útil de los productos en los que se encuentran.

Al generarse una falla de un componente principal o secundario y éstas requieran de una modificación o cambio, éstas no podrían efectuarse, debido que el componente de reemplazo podría ya no estar disponible en fábrica o cualquier otra fuente alternativa aprobada. Esto a menudo puede resultar en la mayoría de los casos una solución de alto costo (rediseño), el cual sería la única opción disponible.

La identificación temprana del riesgo de obsolescencia permite considerar una gama más amplia de opciones, y en consecuencia reduce el costo real de resolución y propiedad.

Cuando el índice de obsolescencia aumenta, ésta afecta directamente a un incremento de riesgos financieros y de disponibilidad, generando un impacto de:

- a) Pérdida de capacidad del equipo (tiempo de inactividad de la producción).
- b) Incremento significativo de los costos de soporte a lo largo de la vida.

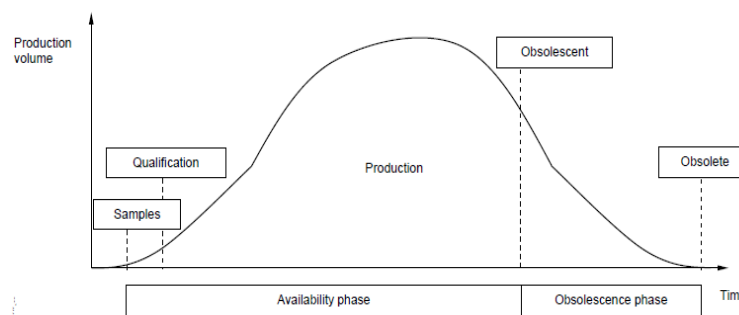
Una estrategia sólida de gestión de la obsolescencia y procesos puede reducir significativamente los costos de ciclo de vida, y es la única forma de mitigar el riesgo.

Fases de obsolescencia

Según la Norma Europea EN 62402, ésta cita que el principio general de la fase de obsolescencia de un producto comienza inmediatamente después que se emite la información sobre la discontinuación y el producto se considera obsoleto, como se muestra en la Figura 12. La información en el cambio de fase de obsolescencia suele presentarse en forma de aviso de discontinuación del producto, notificación de fin de vida útil o notificación de compra de por vida. Un aviso de cambio de producto también puede hacer que un producto entre en la fase de obsolescencia para ciertos fabricantes. Para un producto de software, la fase de obsolescencia comienza una vez que el fabricante del software original indica que el software ya no es compatible.

Un producto puede considerarse obsoleto una vez que ya no está disponible por parte del fabricante original, incluso aunque algún producto todavía esté en la cadena de suministro.

Figura 12
Fases de obsolescencia



Nota: Tomado de *Obsolescence management —Application guide* (p.11), The European Standard EN62402:2007

2.1.4 Ciclo de Vida

La norma ISO 14040 (2007) define que el ciclo de vida es una recopilación y evaluación de las entradas, salidas y los posibles impactos ambientales de un sistema de producto a lo largo de su ciclo de vida, mientras que la norma PAS 55-1 (2008) extiende una definición más completa indicando que el ciclo de vida comienza con la identificación de la necesidad de un activo, y termina con la puesta fuera de servicio del activo o de cualquier responsabilidad asociada.

Del párrafo anterior se debe también considerar lo citado por Jeroen B. (2002), que menciona que el ciclo de vida en una medida posible es de carácter cualitativo, pero cuando sea de carácter diferente, se debe tener aspectos cualitativos que proporcionen una imagen más completa de los impactos generados en un activo.

2.1.5 Costo de Ciclo de Vida

De acuerdo con la Norma Europea (EN 60300-3-3:2017), se menciona un aspecto importante sobre el objetivo del costo del ciclo de vida, indicando que es importante en el análisis para la toma de decisiones cuando se requiere seleccionar las alternativas más apropiadas en cualquier momento durante el ciclo de vida de un equipo. El análisis del costo del ciclo de vida solo agrega valor cuando éste se encuentra en la toma de decisiones, ya sea porque un proveedor busca ingresar a un nuevo mercado competitivo o que un comprador esté buscando comprar un equipo nuevo, por lo que el cálculo del costo del ciclo de vida puede proporcionar datos importantes e información de orientación en la toma de decisiones al evaluar las opciones disponibles en el mercado.

El costo del ciclo de vida según Wolter (1997) es determinado identificando las funciones aplicables en cada una de sus fases, calculando el costo de estas funciones y aplicando los costos apropiados durante toda la extensión del ciclo de vida. Para que esté completo, el costo del ciclo de vida debe incluir todos los costos del fabricante y del consumidor.

2.1.6 Modelos determinísticos y probabilísticos

En la conferencia realizada por Villegas (del 26 de setiembre al 5 de octubre del 2023), se mencionó que en la actualidad es posible encontrar una gran variedad de modelos que pueden analizar los costos del ciclo de vida de un activo, la mayoría con ventajas y desventajas. Por otro lado, varios de ellos tienen una metodología completa con respecto a su alcance, pero al analizar, ninguno ha sido aceptado como modelo estándar que abarque a una gran parte de aplicabilidad en diferentes sectores. Los modelos existentes pueden agruparse en dos categorías: modelos determinísticos y modelos probabilísticos.

Los modelos determinísticos pueden ser calculados con la asistencia de fórmulas y correlaciones, bien de manera manual o asistido por computadora (Microsoft Excel, por ejemplo).

Los modelos probabilísticos se apoyan necesariamente en el uso de aplicaciones especializadas, comerciales o no, con capacidad para efectuar simulaciones Montecarlo. Independientemente de su categoría, ambos modelos deben considerar el impacto en la producción causado por la indisponibilidad de los activos, bien por paradas de mantenimiento preventivo, mantenimiento programado o mantenimiento correctivo no programado.

Es claro además que un buen modelo es la obtención y disponibilidad de data confiable (bases de datos y estimados de costo).

2.1.7 Modelo de vida remanente o costo de ciclo de vida

Nucette Pirella, et al (2008), mencionan que la estimación de egresos reside en el análisis del costo del ciclo de vida (CCV) de acuerdo con la Ecuación 1, que representa el modelo matemático para su cálculo para un activo en específico.

$$CCV = \sum_{i=0}^n \frac{C_i}{(1+r)^i} + \sum_{i=0}^n \frac{P_i}{(1+r)^i} + \sum_{i=0}^n \frac{M_i}{(1+r)^i} + \sum_{i=0}^n \frac{L_i}{(1+r)^i} + \sum_{i=0}^n \frac{D_i}{(1+r)^i} \quad (1)$$

Donde:

CCV: Costo de ciclo de vida.

C_i : Costos de capital (inversión) en el año “i”.

P_i : Costos de producción (operación) en el año “i”.

M_i : Costos de mantenimiento en el año “i”.

L_i : Pérdida por fallas o eventos no deseados (baja confiabilidad + bajo desempeño) en el año “i”.

D_i : Costos de desincorporación en el año “i”.

r : Tasa de descuento.

i : Cualquier año en la vida del activo.

n : Vida asumida del activo u horizonte económico.

2.1.8 Estimación de tiempo óptimo de reemplazo

En la revista PMM Project (2012), se indica que el reemplazo de un activo físico instalado en una industria por uno igual es determinado mediante la Ecuación 2.

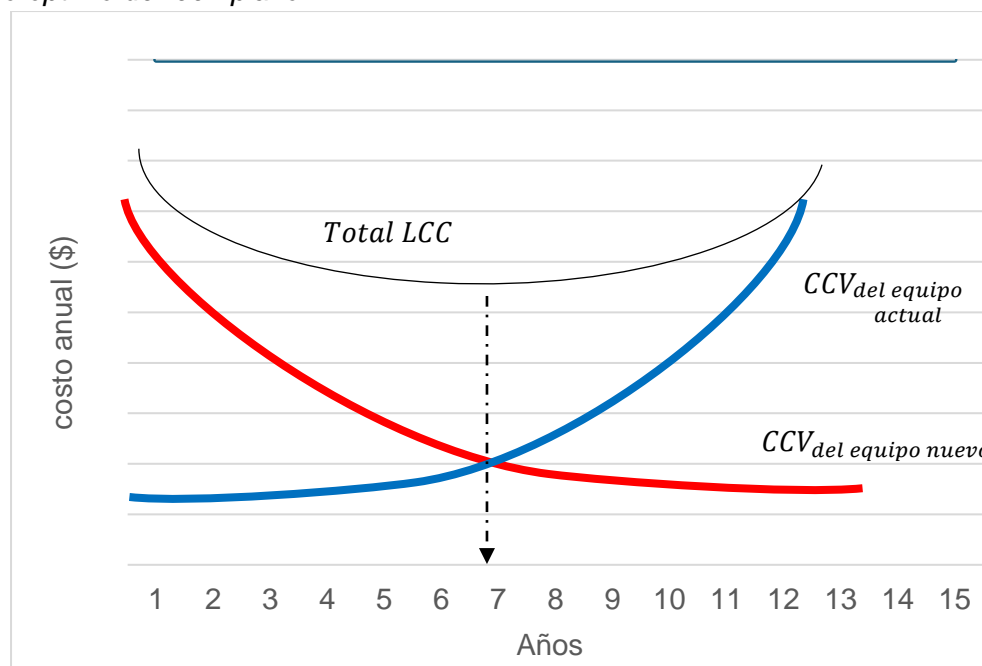
$$Total\ LCC = (CCV_{del\ equipo\ actual}) + (CCV_{del\ equipo\ nuevo\ hasta\ el\ final\ de\ la\ vida}) \quad (2)$$

Total LCC: Tiempo óptimo de reemplazo

Para la aplicación de la Ecuación 2 se debe considerar que los costos sean anualizados al valor presente del equipo actual y equipo nuevo, de acuerdo con el horizonte y tasa establecido generando la Figura 13, según se muestra.

Figura 13

Tiempo óptimo de reemplazo



2.1.9 Costos de inversión

Los costos de inversión, llamados también costos preoperativos, corresponden a aquellos que se incurren en la adquisición de los activos necesarios para poner el proyecto en funcionamiento, ponerlo "en marcha" u operativo.

2.1.10 Costos de producción

Se refieren a los costos del personal, administración y logística necesarios para mantener la operación de la instalación. Este costo se puede estimar multiplicando el costo de labor directa más la labor indirecta multiplicado por un factor de "overhead" y adicionando a esto los costos de la logística (Transporte, hospedaje y comida del personal).

2.1.11 Costos de mantenimiento

Se refieren a los costos del personal, logística, administración, materiales y refacciones involucrados en los mantenimientos preventivo, programado y correctivo. El mantenimiento correctivo está ligado a los indicadores de confiabilidad de la instalación, y éstos a su vez a la tecnología seleccionada para los subsistemas. Del mismo modo, la tecnología seleccionada determina la frecuencia y los costos de los diferentes niveles de mantenimiento programado: menor, media vida y "overhaul".

2.1.12 Costos por eventos no deseados

Los costos relacionados a los eventos no deseados involucran a los costos por baja confiabilidad y bajo desempeño. Los costos por baja confiabilidad están enlazados al número de fallas o eventos generados en el equipo. Ésto quiere decir que a medida que la tasa de fallas aumenta con el tiempo, se incrementa el desgaste en diversos componentes, lo que provoca un impacto económico y de producción, mientras que los costos de bajo desempeño están referidos a la pérdida de desempeño del equipo en el contexto operacional donde opera conllevando a no cumplir con los objetivos establecidos.

2.1.13 Costos por desincorporación

Los costos por desincorporación involucran los costos por baja del equipo o desmontaje de su ubicación actual. Estos costos podrían aplicarse o no, dependiendo del análisis que se esté realizando.

2.1.14 Criticidad

Según la norma estándar militar 1629A (MIL-STD-1629A), indica que la criticidad es una medida relativa de las consecuencias de un modo de falla y su frecuencia de ocurrencia.

Análisis de criticidad

Nucette Pirella, et al (2008), definen que la criticidad es una metodología que permite jerarquizar activos como instalaciones, sistemas, equipos y dispositivos en función al impacto que generan en el negocio con el objetivo de establecer prioridades que permitan la toma de decisiones.

El análisis de criticidad es una metodología versátil para jerarquizar los activos críticos por medio de categorías de frecuencias de falla y la tabla de clasificación de consecuencias de falla originadas en diferentes contextos de evaluación, los cuales son evidenciados en una matriz de criticidad como se observa en la Figura 14.

Figura 14

Matriz de criticidad

CONSECUENCIA / IMPACTO	GRAVE				
	SUSTANCIAL				
	MARGINAL				
	INSIGNIFICANTE				
		REMOTO	BAJO	MEDIO	ALTO
		PROBABILIDAD / FRECUENCIA			

Riesgo Inaceptable

Se requiere Evaluación gerencial y monitoreo de riesgo

Riesgo Aceptable

Nota: Tomada de la *Revista Investigaciones científicas* (2013). Análisis de criticidad integral de activos físicos, volumen (4); pp:18.

Para determinar el nivel de criticidad del equipo analizado dentro de la matriz se usa la Ecuación 3, para su cálculo.

$$Cr = F * \sum C \quad (3)$$

Cr : Criticidad

F : Frecuencia

$\sum C$: Consecuencias totales

2.1.15 Tasa de Falla

Se define falla como la “incapacidad de cualquier activo de hacer aquello que sus usuarios quieren que haga” (Moubray,1991, p.49).

La norma ISO 14224(2016) indica que es la terminación de la habilidad de un sistema/equipo/parte para desempeñar una función requerida.

2.1.16 Categoría de Frecuencias de Falla

El nivel de frecuencia está asociada al modo de falla más representativo o de mayor impacto en el proceso o sistema, cuya selección es determinada por el número de eventos. La selección de esta categoría está determinada por frecuencia de falla (semanal – mensual – trimestral – semestral y anual) con valores representativos (5, 4, 3, 2 y 1) respectivamente.

2.1.17 Categoría de consecuencias

la norma ISO 14224 (2016) clasifica las consecuencias de falla en tres aspectos como posibles eventos, posibles resultados y las incertidumbres asociadas a los eventos y resultados. Parte de la evaluación debe estimar la ocurrencia de eventos peligrosos que puedan ocurrir y las consecuencias esperadas de estos eventos, según el modelo mostrado en la Tabla 4. Una correcta clasificación de consecuencias de falla es de vital importancia para evaluar los riesgos de impacto general.

Tabla 4
Clasificación de Consecuencias de Falla

Consequences	Category			
	Catastrophic Failure that results in death or system loss	Severe Severe injury, illness or major system damage	Moderate Minor injury, illness or system damage	Minor Less than minor injury, illness or system damage
Safety	I — Loss of lives — Vital safety-critical systems inoperable	V — Serious personnel injury — Potential for loss of safety functions	IX — Injuries requiring medical treatment — Limited effect on safety functions	XIII — Injuries not requiring medical treatment — Minor effect on safety function
Environmental	II Major pollution	VI Significant pollution	X Some pollution	XIV No, or negligible, pollution
Production	III Extensive stop in production/operation	VII Production stop above acceptable limit ^a	XI Production stop below acceptable limit ^a	XV Production stop minor
Operational	IV Very high maintenance cost	VIII Maintenance cost above normal acceptable ^a	XII Maintenance cost at or below normal acceptable ^a	XVI Low maintenance cost
^a It is necessary to define acceptable limits for each application.				

Nota: Tomado de la norma ISO 14224:2016 - Anexo C. tabla C.2 – Clasificación de fallas/consecuencias.

2.1.18 Disponibilidad

La norma ISO 14224 (2016) define que la disponibilidad es la capacidad de un equipo de mantenerse en el estado de rendimiento requerido sin importar lo ocurrido previamente.

Disponibilidad Operativa

Es la fracción o porcentaje de tiempo que un equipo está en condiciones de operar, durante un periodo de análisis, teniendo en cuenta los paros programados y no programados definido por la Ecuación 4.

$$D = \frac{\text{Tiempo en que el dispositivo opera correctamente}}{\text{Tiempo en que el dispositivo puede operar}} \quad (4)$$

2.1.19 Tiempo Promedio Para Reparar (MTTR – Mean Time to Repair)

Mide el tiempo promedio requerido para restituir las funciones de un equipo dentro del período considerado del estudio, iniciando desde el momento en que sale de operación el equipo hasta el momento en que está en condiciones para asumir nuevamente su función, dado por la Ecuación 5.

$$MTTR = \frac{\text{Horas de fallas}}{\text{Número de fallas}} \quad (5)$$

2.1.20 Tiempo Promedio Entre Falla (MTBF – Mean Time Between Failure)

Mide el tiempo promedio que transcurre entre los instantes en que se producen dos fallas consecutivas, representado por la Ecuación 6.

$$MTBF = \frac{\sum TO_i + \sum TPR_i}{N} = \frac{\text{Horas trabajadas}}{\text{Nro de eventos}} \quad (6)$$

TO_i : tiempo operacional transcurrido desde el instante en que se inicia un lapso de operación hasta que se produce una falla.

TPR_i : Tiempo necesario para reparar.

N : Total de fallas presentadas en un periodo de tiempo.

2.1.21 Equipo de bajo perfil

Scooptram

Bonilla (2023) cita que los equipos de bajos perfil son diseñados para realizar trabajos sobre todo en minas subterráneas, túneles o en zonas confinadas. Estos equipos están diseñados para levantar y transportar cargas pesadas en distancias cortas. Sus diseños compactos con construcciones sólidas, rendimientos ágiles y mantenimientos simplificados, que aseguran excelentes productividades en las operaciones, bajos costos de operación y larga duración, estrictamente diseñado para operarlo cómodo y productivamente fabricado para durar. Un Scooptram es un vehículo trackless de bajo perfil, para traslado de minerales en minas subterráneas.

Partes de un Scooptram

Un equipo de bajo perfil modelo R1600G está constituido por las siguientes partes principales, según se muestra en la Figura 15.

Figura 15

Partes principales de un Scooptram R1600G

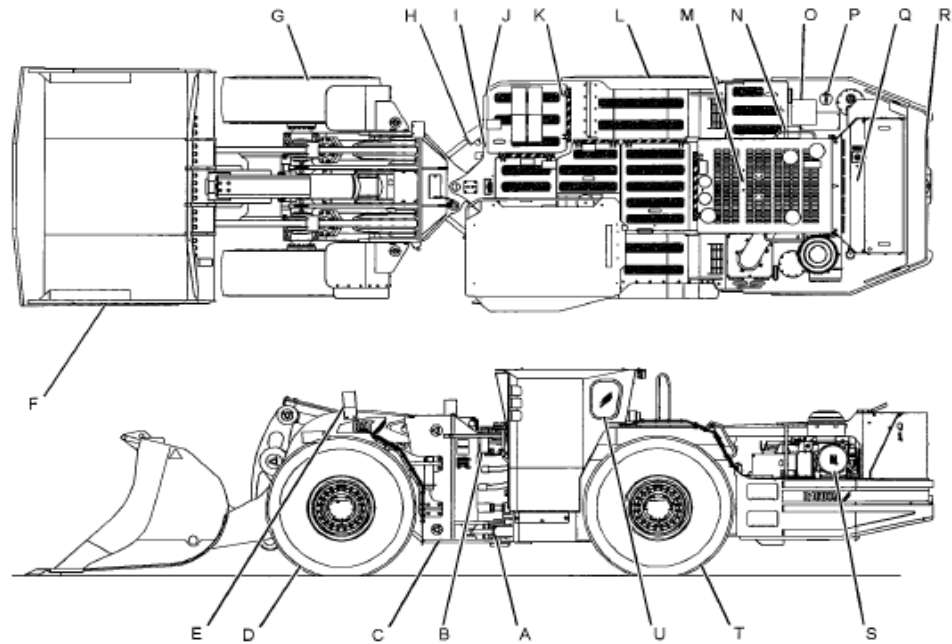


Ilustración 174

g01829633

Punto para la inspección alrededor de la máquina

- | | | |
|--|--------------------------------------|--|
| (A) Cilindro izquierdo de la dirección | (H) Cilindro derecho de la dirección | (O) Depósito de lubricación automática |
| (B) Traba del bastidor de la dirección | (I) Tren de fuerza | (P) Tanque de combustible |
| (C) Bastidor | (J) Tanque hidráulico | (Q) Radiador |
| (D) Neumático delantero izquierdo | (K) Depósito del lavaparabrisas | (R) Luces traseras |
| (E) Luces delantera | (L) Neumático trasero derecho | (S) Filtro de aire |
| (F) Cucharón y varillaje | (M) Motor | (T) Neumático trasero izquierdo |
| (G) Neumático delantero derecho | (N) Controles a nivel del suelo | (U) Ventanas |

Nota: Tomado de Caterpillar (2007). Manual de Operación y Mantenimiento Maquinas LHD R1600G (SSBU7337)

Características técnicas.

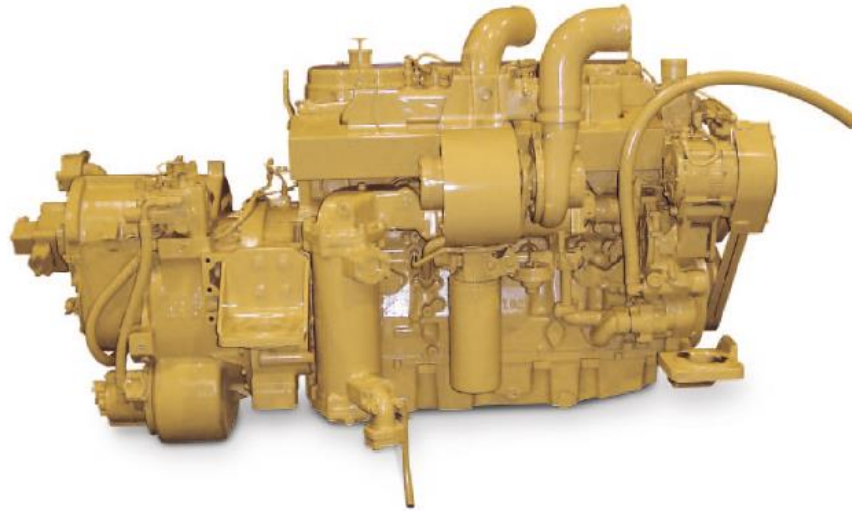
Los Scooptram modelo R1600G tienen las siguientes características:

Tren de fuerza

Motor

El motor diésel CAT 3176C mostrado en la Figura 16, con turbocompresión de cuatro tiempos y seis cilindros se caracteriza por un rendimiento que aumenta las utilidades, duración y fiabilidad para trabajo pesado, facilidad de servicio incorporada, excelente economía de combustible y niveles de emisión bajos.

Figura 16
Motor Cat 317C



Nota: Tomado de Caterpillar. (2007). Manual de Operación y Mantenimiento Máquinas LHD R1600G (SSBU7337)

Tren de potencia

Transmisión

Servotransmisión planetaria de cuatro velocidades: Está acoplada con el motor Diesel 3176C, y proporciona una amplia gama de velocidades de operación cuyo diseño resiste aplicaciones de minería subterránea.

Controles electrónicos: Permite marchas suaves al momento de realizar cambios con modulación de amortiguación con capacidad de entrega de par de alta entrega de potencia con la finalidad de aumentar la eficiencia del tren de fuerza.

Mandos finales: Los mandos finales entregan la máxima potencia al terreno con capacidad de resistencia de fuerzas de par alto y cargas de impacto. Los mandos finales de reducción doble proporcionan alta multiplicación de par para reducir aún más los esfuerzos del tren de fuerza.

Ejes: Los ejes para servicio pesado están fabricados para proporcionar una larga vida en ambientes más complicados.

Diferencial: El diferencial de antipatinaje reduce el desgaste de los neumáticos e incrementa la máxima tracción en terrenos irregulares.

Frenos: Los frenos de disco, herméticos e inmersos en aceite, independientemente se incorporan para los frenos de servicio y de estacionamiento.

Lo mencionado en los subsistemas de transmisión se observa en la Figura 17

Figura 17
Sistema de Transmisión



Nota: Tomado de Caterpillar (2007). Manual de Operación y Mantenimiento Máquinas LHD R1600G (SSBU7337)

Sistema Hidráulico

El sistema hidráulico suministra la potencia y el control necesario para mantener el material en movimiento. El sistema hidráulico permite una rápida respuesta de los cilindros hidráulicos debido que proporcionan fuerzas de levantamiento muy potentes. Los cilindros de inclinación y levantamiento proporcionan la maniobrabilidad de mineral en el cucharón para su posterior vertido en la tolva de los volquetes. El sistema hidráulico se sincroniza con los controles piloto que se opera dentro de la cabina y con el sistema de dirección para proporcionar una óptima respuesta máxima y un control más suave.

El control de amortiguación permite mejorar la amortiguación del equipo y rendimientos mayores a 5 km/h.

Las mangueras que conforman el sistema hidráulico son de alta presión, flexibles y resistentes en condiciones difíciles.

Bastidor

El bastidor, como el mostrado en la Figura 18, se caracteriza por contener todos los componentes robustos para una duración larga en condiciones de carga exigente. Los brazos de levantamiento absorben altos niveles de carga, los cuales están incorporado en conjunto con la torre de carga que proporciona un montaje sólido. Las cargas de impacto son disipadas por un tubo transversal de acero fundido que proporciona resistencia a la torsión e impacto.

Figura 18
Bastidor



Nota: Tomado de Caterpillar. (2007). Manual de Operación y Mantenimiento Máquinas LHD R1600G (SSBU7337)

Cabina

La cabina del operador tiene un diseño ergonómico para un control de todo el equipo mediante un panel de mando, como el mostrado en la Figura 19, cuyos controles (palancas, interruptores y medidores) están situados para aumentar la productividad y minimizar los errores del operador. Los cambios se realizan en forma manual o automática. La cabina tiene una estructura de protección contra vuelcos y una estructura de protección contra objetos que caen.

Figura 19
Panel de Control



Nota: Tomado de Caterpillar. (2007). Manual de Operación y Mantenimiento Máquinas LHD R1600G (SSBU7337)

Cucharón

El diseño de los cucharones CAT es de gran resistencia, y suministra productividad en aplicaciones más exigentes como la minera subterránea. Los cucharones están diseñados para facilitar la carga optima del mineral y proporcionan fiabilidad estructural. Las cuchillas de impacto, como la mostrada en la Figura 20, permiten el recojo del mineral con diseño de flecha fundida, la cual prolonga la vida útil del cucharón.

Figura 20
Cucharon de flecha fundida



Nota: Tomado de Caterpillar (2007). Manual de Operación y Mantenimiento Máquinas LHD R1600G (SSBU7337).

Datos técnicos

A continuación se muestran datos técnicos generales para equipos de modelo R1600G en las Tablas 5, 6, 7, 8 y 9.

Tablas 5

Características de Motor

Categoría	Modelo - Unidad
Modelo de motor	Cat 3176C EUI ATAAC
Potencia nominal	2100 rpm
Potencia bruta – SAE J1995	185/200 kW
Potencia neta– SAE J1349	165/180 kW
Potencia neta– ISO 9249	165/180 kW
Potencia neta– 80/1269/EEC	165/180 kW
Calibre	125 mm
Carrera	140 mm
Cilindrada	10.3 L

Nota: Tomado de Caterpillar (2007). Manual de Operación y Mantenimiento Máquinas LHD R1600G (SSBU7337)

Tablas 6

Características de Eje

Categoría	Vacío (kg)	Cargado(kg)
Eje delantero	12.5	28
Eje trasero	17.2	12

Nota: Tomado de Caterpillar. (2007). Manual de Operación y Mantenimiento Máquinas LHD R1600G (SSBU7337)

Tablas 7*Características del Cucharón*

Categoría	Unidad
Capacidad de cucharón – Estándar	6.3 yd ³
Ancho de cucharón	102,4 pulg.
Capacidad de cucharón – optativo	5.5 yd ³
Capacidad de cucharón – optativo	7.3 yd ³
Capacidad de cucharón – optativo	7.7 yd ³
Capacidad de cucharón (Expulsor)	6.3 yd ³

Nota: Tomado de Caterpillar. (2007). Manual de Operación y Mantenimiento Máquinas LHD R1600G (SSBU7337)

Tablas 8*Dimensiones de giro*

Categoría	Unidad
Radio de giro externo	6.638 mm
Radio de giro interno	3.291 mm
Oscilación del eje	10°
Ángulo de articulación	42.5°

Nota: Tomado de Caterpillar. (2007). Manual de Operación y Mantenimiento Máquinas LHD R1600G (SSBU7337)

Tablas 9*Tiempo de ciclo hidráulico*

Categoría	Tiempo (segundos)
Subida	7.6
Descarga	1.6
Bajada, vacío	2

Nota: Tomado de Caterpillar. (2007). Manual de Operación y Mantenimiento Máquinas LHD R1600G (SSBU7337)

2.2 Marco Conceptual

Horizonte económico: Es el tiempo que transcurre desde que se inician los desembolsos (inversiones) hasta que finaliza la oportunidad de negocios que se desarrolla.

Valor presente neto (VPN): Es la suma de los flujos de efectivo anual descontados a valor presente. Por tanto, el VPN es la diferencia entre el valor presente de las entradas de flujo de efectivo generadas por el proyecto y el importe de la inversión inicial.

Inversión: Es toda materialización de medios financieros en bienes (equipos, materia prima, servicios, etc.) que van a ser utilizados en un proceso productivo de una empresa o unidad económica.

Lucro cesante: Es la ganancia que se ha dejado de percibir como consecuencia del incumplimiento de las metas de producción, causada por las mermas asociadas a la indisponibilidad de los activos productivos y al incumplimiento de requisitos legales, de calidad, higiene y/o ambiente.

Valor de rescate: Es el valor que se asigna a los activos fijos cuando han llegado al final de su vida útil económica o física.

CAPITULO III

Desarrollo del Trabajo de Investigación

Para el desarrollo de la implementación del modelo de vida remanente se procederá con la determinación de los siguientes pasos:

3.1 Determinación de la Matriz de Criticidad de equipos

Como primer paso se procederá con el cálculo de la matriz de criticidad de los equipos que conforman la flota Scooptram. En este punto se establecerá la clasificación de frecuencias representada por el modo de falla más representativo en un periodo de análisis de 6 meses. Para tal fin se utilizará la Tabla 10, donde se muestran las frecuencias utilizadas.

Tabla 10

Indicador de Frecuencia

Clasificación de Frecuencia de ocurrencia de falla	Frecuencia
Semanal o menor	5
Quincenal	4
Mensual	3
Trimestral	2
Semestral	1

Seguido de la tabla anterior, se procederá con el establecimiento del indicador de consecuencias de acuerdo con el contexto operacional de la unidad de la compañía minera subterránea, el cual permitirá conocer el punto donde se encuentra el nivel de criticidad del Scooptram analizado, ello para evitar la subjetividad en el análisis al momento de evaluar la consecuencia de la ocurrencia del evento. Los criterios de las consecuencias de falla se realizarán utilizando criterios si el evento sucedió o no en los aspectos de seguridad y medio ambiente, mientras que el indicador operacional se basará en las pérdidas de producción por día y finalmente los costos de mantenimiento o no operacional, los cuales se medirán

por un rango de costos asociado a mantenimiento. Establecidos los impactos de evaluación se obtendrá la Tabla 11, que tiene como referencia la tabla propuesta por la norma ISO 14224:2016 - Anexo C. tabla C.2-Clasificación de fallas/consecuencias.

Tabla 11
Indicador de Consecuencia

Indicador	Seguridad	Medio ambiente	Operacional	No Operacional	Indicador
5	Múltiples fatalidades. Varias personas con lesiones permanentes	Daño medio ambiental severo y de largo plazo (de 5 o más años)	Incumplimiento total en la producción x equipo >1022 tm/día	Costo de reparación de mantenimiento muy elevado > \$ 30000.	5
4	Una mortalidad. Estado Vegetal	Daño medio ambiental de largo plazo (de 3 o 5 años)	Perdida de producción por equipo entre [766.3 – 1021] Tm/día	Costo de reparación de mantenimiento entre [22545 – 29999] \$	4
3	Lesiones permanentes que incapacitan a la persona para su actividad normal de por vida	Daño medio ambiental de corto plazo (de 1 o 3 años)	Perdida de producción por equipo por debajo del límite entre [510.5 - 765.3] Tm/día	Costo de reparación de mantenimiento entre [15090 - 22544] \$	3
2	Lesiones que incapacitan a la persona temporalmente	Daño medio ambiental menor (menor a 1 años)	Parada de producción por equipo menor entre < 254.8 - 509.5] Tm/día	Costo de reparación de mantenimiento entre [7635 - 15089] \$	2
1	lesión que no incapacita a la persona.	Sin daño al medio ambiente	Sin pérdida de producción	Bajo costo de reparaciones <=7634 \$.	1

Establecido las dos tablas anteriores se procederá con la determinación del nivel de criticidad de la flota de equipos de bajo perfil mediante la siguiente Ecuación 3:

$$Cr = F * \sum C \quad (3)$$

Cr: Criticidad

F: Frecuencia

$\sum C$: Consecuencias totales

Para la utilización correcta de la criticidad del equipo se utilizará y listará los datos del equipo (área, sistema, TAG del equipo); número, horas y costo de fallas indicados en la Tabla 12. Las consecuencias totales de cada equipo será la sumatoria de consecuencias por seguridad (S), medio ambiente (MA), impacto operacional(O) y no operacional (NO), mostradas en la Tabla 13, y la frecuencia del evento más representativo muestra sus resultados en la Tabla 14.

Tabla 12
Datos y Fallas de Equipos

Datos del equipo				Datos de la falla		
N	Clase de Equipo	Equipo	TAG	Numero fallas periodo 6 meses	Duración de Fallas periodo 6 meses (h)	Costo de la falla periodo 6 meses (\$)
1	Cargador subterráneo	Cargador de bajo perfil 6.3 yd ³	CAT 03	9	35	11565
2	Cargador subterráneo	Cargador de bajo perfil 6.3 yd ³	CAT 05	1	41	8820
3	Cargador subterráneo	Cargador de bajo perfil 6.3 yd ³	CAT 04	1	108	22809
4	Cargador subterráneo	Cargador de bajo perfil 6.3 yd ³	CAT 06	8	21	19365
5	Cargador subterráneo	Cargador de bajo perfil 6.3 yd ³	CAT 02	2	154	10325

Tabla 13
Nivel de Consecuencia General

Datos del equipo				Consecuencia				
N	Clase de Equipo	Equipo	TAG	S	MA	O	NO	Σ C
1	Cargador subterráneo	Cargador de bajo perfil 6.3 yd ³	CAT 03	1	2	2	2	7
2	Cargador subterráneo	Cargador de bajo perfil 6.3 yd ³	CAT 05	1	3	5	2	11
3	Cargador subterráneo	Cargador de bajo perfil 6.3 yd ³	CAT 04	1	2	5	4	12
4	Cargador subterráneo	Cargador de bajo perfil 6.3 yd ³	CAT 06	2	1	1	3	7
5	Cargador subterráneo	Cargador de bajo perfil 6.3 yd ³	CAT 02	1	2	2	2	7

Tabla 14
Nivel de Criticidad General

N	Clase de Equipo	Equipo	TAG	ΣC	F	Cr	Descripción (Falla Específica y Reparación)
1	Cargador Subterráneo	Cargador de bajo perfil 6.3 yd ³	CAT 03	7	1	7	Fuga de aceite por corte de manguera de cilindro de dirección / cambio de mangueras.
2	Cargador Subterráneo	Cargador de bajo perfil 6.3 yd ³	CAT 05	11	1	11	Fuga de aceite por la caja de transmisión, la cual se encontró rota.
3	Cargador Subterráneo	Cargador de bajo perfil 6.3 yd ³	CAT 04	12	4	48	Limaduras de fierro y cobre en análisis de aceite de caja de transmisión.
4	Cargador Subterráneo	Cargador de bajo perfil 6.3 yd ³	CAT 06	7	2	14	Cambio por corte lateral de neumáticos / cambio de neumáticos.
5	Cargador Subterráneo	Cargador de bajo perfil 6.3 yd ³	CAT 02	7	1	7	Fuga de aceite por la corona posterior/ cambio de sellos, rodamientos.

Con la valoración de los datos recogidos de la tabla de criticidad general se obtiene la jerarquización de criticidad de los equipos de bajo perfil mostrados en la Figura 21, del cual se verifica que el equipo principal de mediana criticidad es el Scooptram CAT 04, con nivel de criticidad media.

Figura 21
Matriz de Criticidad de Equipos de Bajo Perfil

Frecuencia	5	20	40	60	80	100
	4	16	32	48 CAT 04	64	80
	3	12	24	36	48	60
	2	8	16 CAT 06	24	32	40
	1	4	8 CAT 03 CAT 02	12 CAT 05	16	20
Cr = F x ΣC		4	8	12	16	20
Consecuencia						

A	Alta criticidad
M	Mediana criticidad
B	Baja criticidad

3.2 Determinación de los Eventos de Falla

Establecido el equipo de mayor criticidad, ahora se empezará con la preparación de datos del número de eventos de fallas y las horas generadas por equipo, del cual se tomará los datos del periodo del 2019 al 2023 para los equipos que conforman la flota de cargadores de bajo perfil.

A continuación, en la Tabla 15 se muestra el número de eventos de falla y las horas acumuladas en el periodo analizado, que se puede apreciar mediante el diagrama de Pareto de la Figura 22, donde los equipos con mayor incidencia son los equipos CAT 03, CAT 06, CAT 05, mientras que el equipo CAT 04 está en proceso intermedio de convertirse en equipo crítico a nivel de fallas repetitivas. Además de ello, se debe tener en cuenta que este equipo presenta menor cantidad de eventos de falla, pero representa un activo crítico de mayor incertidumbre al momento de presentar una avería larga, según lo mostrado en la Tabla 14.

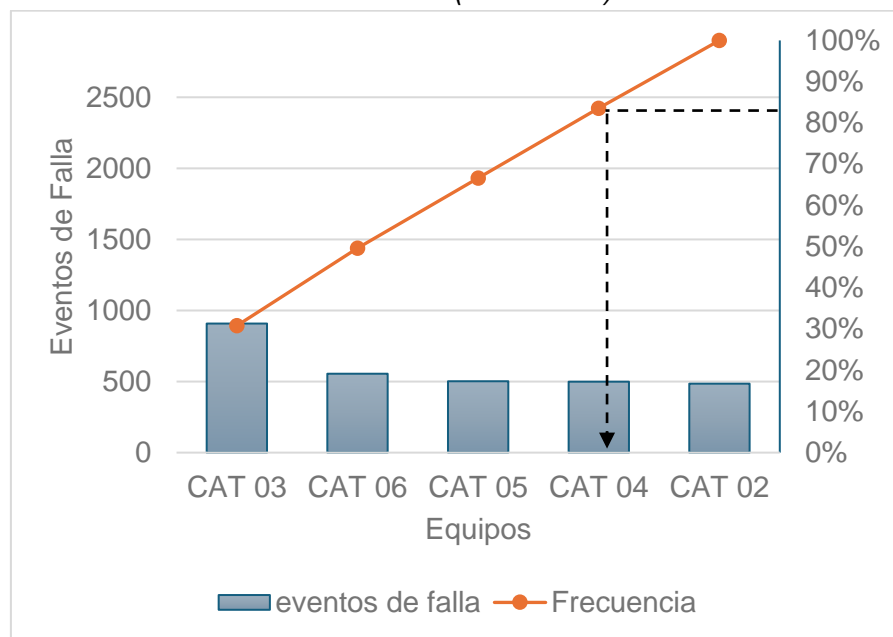
Tabla 15

Eventos de Falla por Equipos (2019-2023)

Equipo	Eventos	Total horas
CAT2	485	3746.6
CAT3	908	7883.2
CAT4	499	2927.7
CAT5	502	2887.7
CAT6	555	4204.5

Figura 22

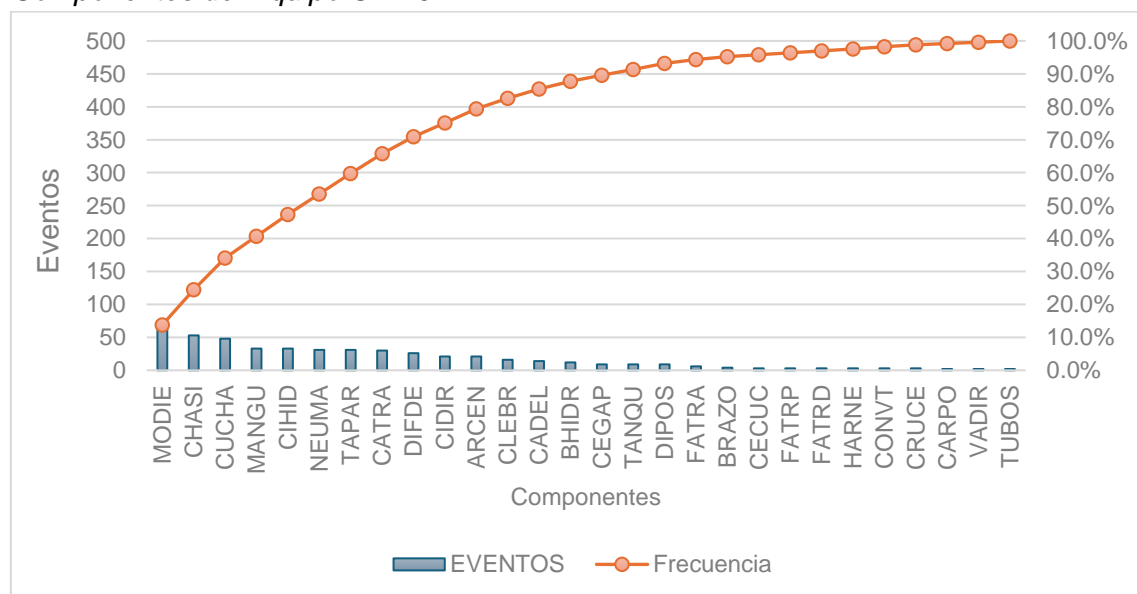
Diagrama de Pareto de Eventos de Falla (2019-2023)



Centrando la atención en el equipo crítico CAT 04, determinado por la matriz de criticidad, a continuación, en la Figura 23 se muestra el diagrama de Pareto de los componentes que conforman este equipo y el impacto que tienen éstos en el sistema.

Figura 23

Componentes del Equipo CAT 04



3.3 Determinación de Costos de repuestos y Requerimientos

En el tercer paso se identificará los equipos que mayor consumo de repuestos y requerimientos se realizaron en el periodo de análisis, según lo mostrado en el diagrama Pareto de la Figura 24, corroborado con la Figura 25 sobre los mantenimientos preventivos y correctivos programados no programados, el cual nos definirá que el equipo CAT 04 es definitivamente el más crítico en análisis para la aplicación directa de la metodología de vida remanente.

Figura 24

Consumo de Repuestos y Requerimientos (2019-2023)

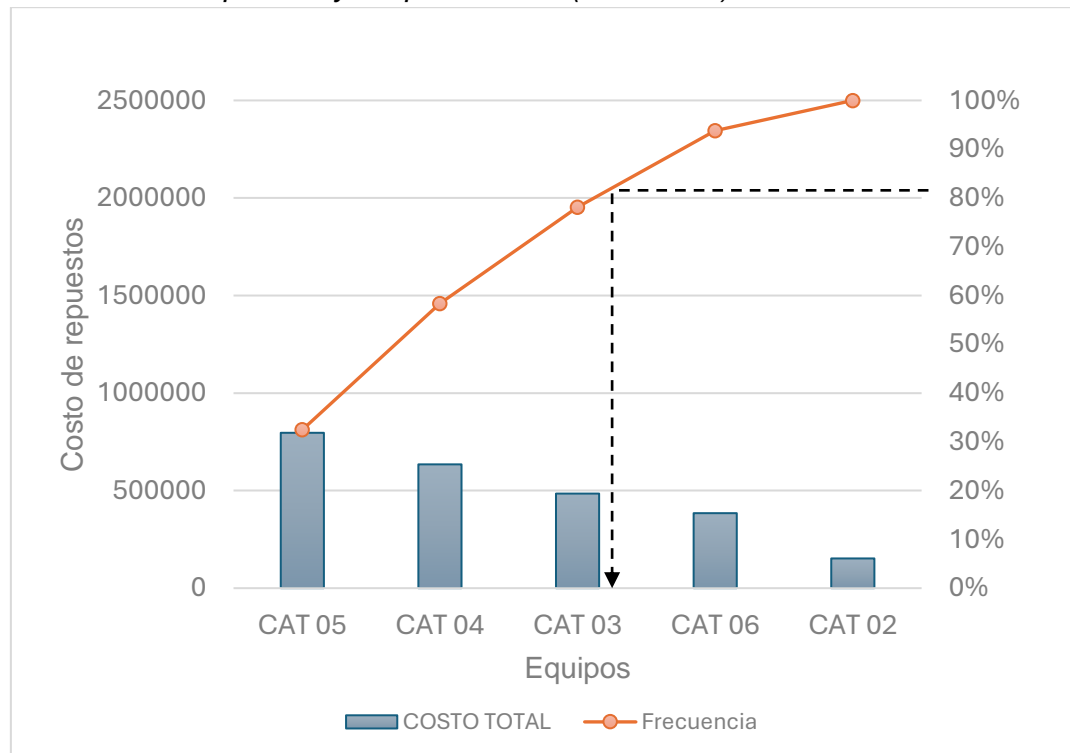
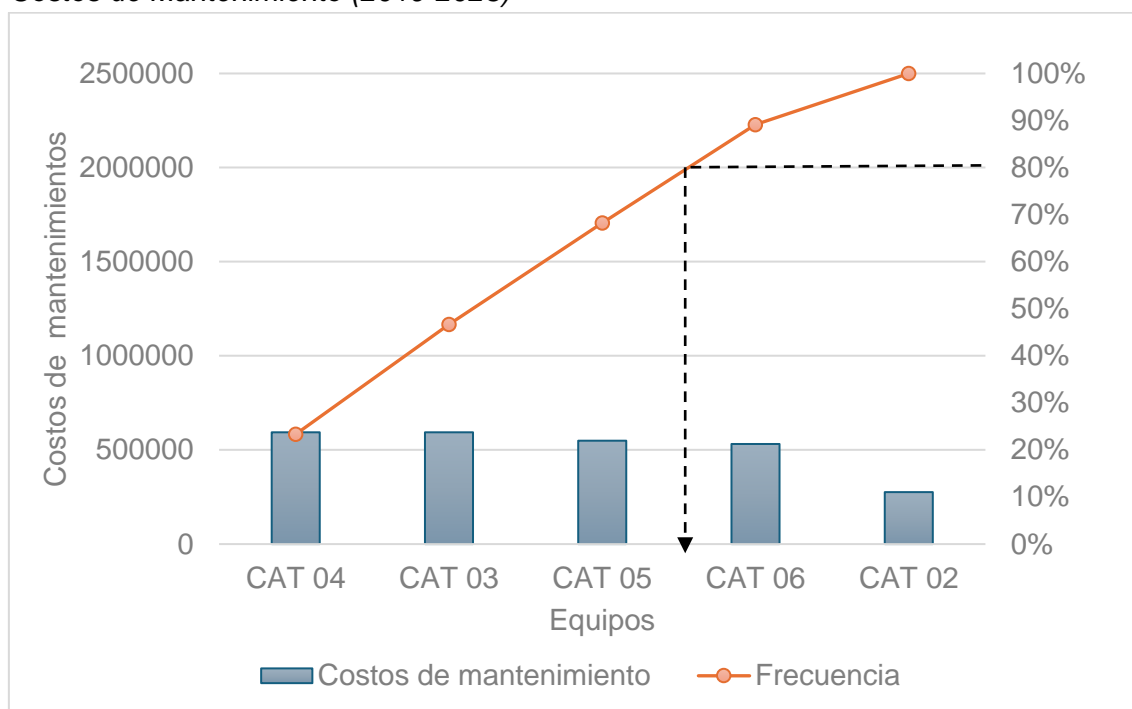


Figura 25*Costos de Mantenimiento (2019-2023)*

3.4 Aplicación del Modelo de Vida Remanente

Conocido el equipo crítico CAT 04, se procederá a recopilar los datos anuales para este equipo en el periodo 2019 al 2023 sobre costos unitarios (C.U), numero de eventos de falla, disponibilidades (DF), horas trabajadas, MTBF y MTTR, según se muestra en la Tabla 16.

Tabla 16*Cuadro de Indicadores (2019-2023).*

Año	C.U (\$/hr)	MTBF	MTTR	Nro. Eventos de Falla	DF	Horas trabajadas
2019	22.45	35.23	10.43	115	0.86	3340.70
2020	57.30	45.38	10.72	45	0.88	1594.32
2021	39.70	43.93	6.93	77	0.91	3018.65
2022	54.40	41.91	9.94	153	0.85	3174.70
2023	40.00	47.03	5.45	109	0.88	3381.60

A continuación, se recopilará los costos asociados a los mantenimientos preventivos (PM01), correctivos programados (PM02), correctivos no programados (PM03), costos de operación y mantenimiento (OP+MANT) y costos netos preventivos (PRN) del equipo seleccionado, según se muestra en la Tabla 17.

Tabla 17

Cuadro de Costos de Mantenimientos (2019-2023).

Año	PM01	PM02	PM03	PRN	OP+MANTTO
2019	7315.49	56067.01	11618.65	63382.50	75001.15
2020	12895.03	65699.48	12765.98	78594.51	91360.49
2021	7833.54	94681.47	17211.58	102515.02	119726.60
2022	38469.20	79897.40	54254.70	118366.60	172621.30
2023	35577.70	64593.30	34945.40	100171.00	135116.40

Con los datos recopilados en la Tabla 17, se iniciarán los cálculos proyectados de cada indicador para el periodo 6 hasta el periodo 19. Para este fin se debe mencionar que los años de análisis (2019 al 2023) serán cambiados por los periodos 1 al 5 respectivamente. Los indicadores DF, las horas trabajadas y el costo unitario proyectados serán el promedio de los últimos 5 años de análisis a partir del periodo 6. Los indicadores del MTTR y número de eventos serán pronosticados por la función PRONÓSTICO en el software Microsoft Excel, ambos con referencia al costo unitario. Para el cálculo del MBTF a partir del periodo 6 hacia adelante se utilizará la Ecuación 6:

$$MTBF = \frac{\text{Horas trabajadas}}{\text{Nro de eventos}} \quad (6)$$

Seguido los pasos indicados en el párrafo anterior, se obtiene los resultados mostrados en la Tabla 18.

Tabla 18*Cuadro de Resultados Proyectados de Indicadores*

Periodo	MTBF	MTTR	Nro. Eventos	DF (%)	Horas trabajadas	C.U \$	Alquiler
1	35.23	10.43	115.00	85.57	3340.70	22.45	54.00
2	45.38	10.72	45.00	88.40	1594.32	57.30	54.54
3	43.93	6.93	77.00	91.16	3018.65	39.70	55.09
4	41.91	9.94	153.00	84.60	3174.70	54.40	55.64
5	47.03	5.45	109.00	88.40	3381.60	40.00	56.19
6	33.12	4.90	87.62	87.63	2901.99	42.77	56.75
7	41.36	50.73	68.05	88.04	2814.25	46.83	57.32
8	39.81	41.70	76.83	87.96	3058.24	44.74	57.90
9	40.67	40.38	75.40	87.33	3066.16	45.75	58.47
10	41.40	40.91	73.55	87.87	3044.45	44.02	59.06
11	40.91	41.51	72.76	87.76	2977.02	44.82	59.65
12	41.65	46.36	71.84	87.79	2992.02	45.23	60.25
13	41.64	43.32	72.71	87.74	3027.58	44.91	60.85
14	41.87	46.15	72.17	87.70	3021.45	44.95	61.46
15	41.65	45.62	72.34	87.77	3012.50	44.79	62.07
16	41.58	44.50	72.31	87.75	3006.11	44.94	62.69
17	41.65	45.62	72.32	87.75	3011.93	44.96	63.32
18	41.66	42.74	72.39	87.75	3015.91	44.91	63.95
19	41.68	42.58	72.30	87.75	3013.58	44.91	64.59

Para la determinación de los costos por operación-mantenimiento, costos por baja confiabilidad y costos por bajo desempeño del equipo actual CAT 04, el presente estudio se apoyará en los datos de la Tabla 18.

Los costos por baja confiabilidad para los 19 periodos serán determinados por la Ecuación 7:

$$\text{Costo por baja confiabilidad} = MTTR * \text{Nro de eventos} * (C.U) \quad (7)$$

Mientras que los costos por bajo desempeño serán obtenidos por la Ecuación 8:

$$\text{Costo por bajo desempeño} = (0.9 - DF) * \text{Horas trabajadas} * \text{Alquiler} \quad (8)$$

Los costos por operación y mantenimiento se apoyarán en los primeros 5 periodos de la Tabla 17, especialmente en el indicador OP+MANTTO. A partir del periodo 6 hacia adelante se tomará el promedio de los últimos 5 periodos para cada periodo. Estos pasos empleados y los resultados se muestran en la Tabla 19.

Para la realización del modelo de vida remanente es necesario comparar el equipo actual con un equipo nuevo de las mismas características, y para tal fin se elaborará un cuadro de costos de equipo nuevo. Para este propósito se tomará como referencia el periodo 1 de la Tabla 19, los costos de baja confiabilidad y bajo desempeño, mientras que el costo de operación y mantenimiento se tomará solo el costo neto preventivo (PRN) de la Tabla 17 del año 2019 como periodo 1. Realizado lo anterior, a partir del periodo 2 hacia adelante se realizará un incremento de 5 % en los costos por operación-mantenimiento y costos por baja confiabilidad, mientras que los costos por bajo desempeño se incrementaran en un 4%, teniendo en cuenta que el equipo se degradará con el tiempo bajando su disponibilidad.

Tomando en consideración lo anterior, se obtienen los resultados para el equipo nuevo, según se muestra en la Tabla 20.

Tabla 19*Costos de Equipo Actual CAT 04*

Periodo	Costo operación – mantenimiento (\$)	Costo por baja confiabilidad (\$)	Costo por bajo desempeño (\$)
1	75,001.1	26,928.2	7,991.6
2	91,360.5	27,641.5	1,391.3
3	119,726.6	21,184.3	- 1,928.9
4	172,621.3	82,732.6	9,537.9
5	135,116.4	23,762.0	3,040.3
6	124,703.4	18,375.3	3,910.0
7	135,140.9	161,671.6	3,166.4
8	144,334.8	143,327.9	3,603.8
9	149,502.5	139,294.2	4,795.0
10	144,647.6	132,441.6	3,828.6
11	146,649.2	135,393.5	3,969.2
12	151,257.8	150,645.4	3,979.0
13	154,642.3	141,449.0	4,156.7
14	156,806.9	149,698.7	4,271.8
15	158,340.8	147,800.5	4,162.0
16	161,216.3	144,613.9	4,231.0
17	164,275.5	148,360.8	4,285.4
18	167,009.2	138,932.8	4,349.2
19	169,606.2	138,265.8	4,388.8

Tabla 20
Costos de Equipo Nuevo

Periodo	costo operación – mantenimiento (\$)	Costo por baja confiabilidad (\$)	Costo por bajo desempeño (\$)
1	63,382.5	26,928.2	7,991.6
2	66,551.6	29,621.0	8,311.3
3	69,879.2	31,102.1	8,643.7
4	73,373.2	32,657.2	8,989.5
5	77,041.8	34,290.0	9,349.1
6	80,893.9	36,004.5	9,536.0
7	84,938.6	37,804.8	9,726.8
8	89,185.5	39,695.0	9,921.3
9	93,644.8	41,679.8	10,119.7
10	98,327.1	43,763.7	10,322.1
11	103,243.4	45,951.9	10,528.6
12	108,405.6	48,249.5	10,739.1
13	113,825.9	50,662.0	10,953.9
14	119,517.2	53,195.1	11,173.0
15	125,493.0	55,854.9	11,396.5
16	131,767.7	58,647.6	11,624.4
17	138,356.0	61,580.0	11,856.9
18	145,273.8	64,659.0	12,094.0
19	152,537.5	67,891.9	12,335.9

Para la determinación de vida remanente del equipo actual se utilizará los datos de la Tabla 19, procediendo a llevar cada costo al valor presente, ello con la finalidad de aplicar la Ecuación 9 de vida remanente a una tasa del 10% anual e inversión de \$620 000:

$$CCV_{CAT\ 04} = \sum_{i=0}^n \frac{C_i}{(1+r)^i} + \sum_{i=0}^n \frac{P_i}{(1+r)^i} + \sum_{i=0}^n \frac{M_i}{(1+r)^i} + \sum_{i=0}^n \frac{L_i}{(1+r)^i} + \sum_{i=0}^n \frac{D_i}{(1+r)^i} \quad (9)$$

De la misma forma descrita arriba, y considerando la Tabla 20, se procederá con el cálculo de vida remanente para un equipo nuevo a la tasa e inversión descrita utilizando la Ecuación 10.

$$CCV_{NUEVO} = \sum_{i=0}^n \frac{C_i}{(1+r)^i} + \sum_{i=0}^n \frac{P_i}{(1+r)^i} + \sum_{i=0}^n \frac{M_i}{(1+r)^i} + \sum_{i=0}^n \frac{L_i}{(1+r)^i} + \sum_{i=0}^n \frac{D_i}{(1+r)^i} \quad (10)$$

Donde:

C_i : (inversión): \$620 000.

$P_i + M_i$: Costo operación y mantenimiento.

L_i : Costo por baja confiabilidad+ Costo por bajo desempeño.

D_i : Valor de rescate para cada periodo.

r : Tasa de descuento:10%.

i : Periodo.

n : Horizonte económico de19 años.

Aplicando las ecuaciones para el equipo actual CAT 04 y el equipo nuevo, se obtienen los siguientes resultados mostrados en las Tablas 21 y 22.

Tabla 21*Costos de Vida Remanente de un Equipo Actual CAT 04*

Periodo	Costo operación – mantenimiento (\$)	Costo por baja confiabilidad (\$)	Costo por bajo desempeño (\$)	$CCV_{CAT\ 04}$ (\$)
1	75,001.1	26,928.2	7,991.6	109,921.0
2	82,791.3	27,267.9	4,848.6	114,907.8
3	93,950.0	25,429.9	2,801.0	122,181.0
4	110,901.4	37,777.0	4,252.6	152,931.0
5	114,867.7	35,481.4	4,054.1	154,403.2
6	116,142.5	33,264.3	4,035.4	153,442.2
7	118,145.1	46,799.1	3,943.8	168,888.0
8	120,435.2	55,240.0	3,914.1	179,589.2
9	122,575.7	61,429.8	3,978.9	187,984.5
10	123,960.6	65,885.5	3,969.5	193,815.6
11	125,185.0	69,636.3	3,969.5	198,790.8
12	126,404.2	73,424.6	3,969.9	203,798.7
13	127,555.7	76,198.5	3,977.5	207,731.8
14	128,601.4	78,825.9	3,988.1	211,415.3
15	129,537.4	80,996.8	3,993.5	214,527.7
16	130,418.6	82,766.4	4,000.1	217,185.1
17	131,253.6	84,384.2	4,007.2	219,645.0
18	132,037.7	85,580.5	4,014.7	221,632.9
19	132,772.1	86,610.3	4,022.0	223,404.4

Tabla 22*Costos de Vida Remanente de un Equipo Nuevo*

Periodo	Costo operación – mantenimiento (\$)	Costo por baja confiabilidad (\$)	Costo por bajo desempeño (\$)	D_i (\$)	CCV_{NUEVO} (\$)
1	63,382.5	26,928.2	7,991.6	682,000.0	780,302.3
2	64,891.6	28,210.5	8,143.8	357,238.1	458,484.0
3	66,398.4	29,084.1	8,294.9	249,311.2	353,088.6
4	67,901.3	29,854.0	8,444.5	195,591.9	301,791.7
5	69,398.5	30,580.6	8,592.7	163,554.4	272,126.2
6	70,888.4	31,283.6	8,715.0	142,356.6	253,243.5
7	72,369.3	31,970.9	8,821.6	127,351.4	240,513.3
8	73,839.8	32,646.4	8,917.8	116,215.3	231,619.3
9	75,298.3	33,311.6	9,006.3	107,657.1	225,273.3
10	76,743.2	33,967.4	9,088.9	100,902.1	220,701.6
11	78,173.3	34,614.1	9,166.5	95,457.1	217,411.1
12	79,587.0	35,251.8	9,240.1	90,993.3	215,072.1
13	80,983.2	35,880.2	9,310.0	87,282.7	213,456.1
14	82,360.7	36,499.1	9,376.6	84,162.7	212,399.0
15	83,718.2	37,108.3	9,440.1	81,513.7	211,780.4
16	85,054.8	37,707.5	9,500.9	79,246.3	211,509.5
17	86,369.4	38,296.3	9,559.0	77,291.8	211,516.4
18	87,661.2	38,874.4	9,614.6	75,596.7	211,746.9
19	88,929.3	39,441.6	9,667.8	74,119.1	212,157.8

Para la determinación del punto óptimo (valor mínimo) de reemplazo del equipo actual CAT 04, se utilizará el costo total de vida remanente $CCV_{CAT\ 04}$ de la Tabla 21 y CCV_{NUEVO} de la Tabla 22 en la Ecuación 11:

$$Total\ LCC = (CCV_{CAT\ 04}) + (CCV_{NUEVO}) \quad (11)$$

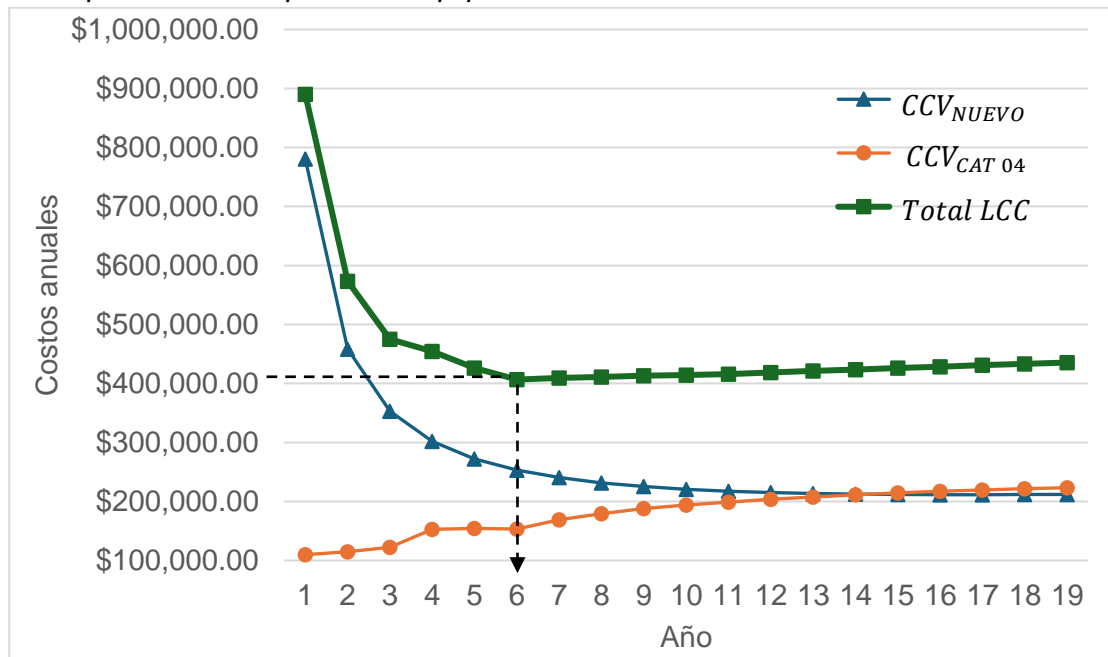
Aplicando la ecuación anterior se muestra los resultados en la Tabla 23, el cual nos muestra el punto óptimo (valor mínimo) de reemplazo graficado en la Figura 26.

Tabla 23
Costos Totales de Punto Óptimo de Reemplazo

Año	Periodo	CCV_{NUEVO} (\$)	$CCV_{CAT\ 04}$ (\$)	Total LCC (\$)
2019	1	780,302.3	109,921.0	890,223.29
2020	2	458,484.0	114,907.8	573,391.82
2021	3	353,088.6	122,181.0	475,269.53
2022	4	301,791.7	152,931.0	454,722.70
2023	5	272,126.2	154,403.2	426,529.38
2024	6	253,243.5	153,442.2	406,685.69
2025	7	240,513.3	168,888.0	409,401.29
2026	8	231,619.3	179,589.2	411,208.50
2027	9	225,273.3	187,984.5	413,257.74
2028	10	220,701.6	193,815.6	414,517.23
2029	11	217,411.1	198,790.8	416,201.87
2030	12	215,072.1	203,798.7	418,870.87
2031	13	213,456.1	207,731.8	421,187.86
2032	14	212,399.0	211,415.3	423,814.31
2033	15	211,780.4	214,527.7	426,308.08
2034	16	211,509.5	217,185.1	428,694.55
2035	17	211,516.4	219,645.0	431,161.45
2036	18	211,746.9	221,632.9	433,379.84
2037	19	212,157.8	223,404.4	435,562.17

Figura 26

Punto Óptimo de Reemplazo del equipo CAT 04



CAPITULO IV

Resultados, Contrastación de Hipótesis y Discusión de

Resultados

4.1 Resultados

Luego de realizado del proceso de análisis para la determinación del tiempo óptimo de reemplazo de un cargador de bajo perfil por el método de vida remanente se obtuvieron los siguientes resultados:

En referencia al análisis de criticidad de los 5 equipos de bajo perfil, se obtuvo que el equipo más crítico es el CAT 04, con criticidad mediana de 48, frecuencia de 4 eventos en un periodo de 6 meses, con nivel de consecuencia de 12, menor nivel de daño ambiental pero con impactos altos en pérdidas de producción mayores a 1022 tm/día y reparación de la falla por un valor de \$ 22 809 con evento de falla de limaduras de fierro y cobre en la caja de transmisión, seguido del CAT 06 con criticidad baja de 14, frecuencia de 2 y nivel de consecuencia 7, con pérdidas de \$19 365; el equipo CAT 05 de criticidad baja de 11, frecuencia de 1 y nivel de consecuencia 11, cuyo equipo es afectado directamente por las pérdidas de producción mayores a 1022 con nivel reparación de \$ 8 820, mientras que los equipos CAT 03 y CAT 02 obtuvieron una criticidad baja igual a 7, afectados principalmente por fugas de aceite en las mangueras hidráulicas del cilindro de dirección y corona posterior respectivamente.

Respecto a los eventos de falla, el equipo que tuvo la mayor cantidad de eventos es el CAT 03, con 908 eventos equivalente en 7883,2 horas de reparación, seguido del CAT 06, con 555 eventos y 4204.5, mientras que el CAT 04 y CAT 05 tuvieron una ligera diferencia de 3 eventos y 40 horas de reparación entre ambos, ubicándolos en la misma tendencia de eventos y horas de reparación.

Los resultados de los cargadores de bajo perfil que tuvieron mayor consumo de repuestos en el periodo analizado son los CAT 05 con \$ 867 596, sobrepasando el valor de un nuevo equipo de \$620 000, seguido del CAT 04 con \$ 669 074, mientras que los equipos

que aún no superan los \$ 620 000 son los equipos CAT 03, CAT 06 y CAT 02, con costos de repuestos de \$ 510 131, \$417 709 y \$ 201 214.

El tiempo de reemplazo óptimo del cargador de bajo perfil CAT 04, ubicado como el equipo más crítico de nivel de criticidad 48 de 50 305 horas de trabajo, con costos de requerimientos de repuestos que sobrepasa el valor de un equipo nuevo y costos de mantenimiento que supera a los demás equipos, tiene un tiempo de reemplazo de 6 años iniciado desde el 2019 al 2024 aplicando el modelo de vida remanente, cuya afectación es importante en los costos globales de mantenimiento.

4.2 Contrastación de Hipótesis

4.2.1 Contrastación de Hipótesis General

Ho: El modelo de vida remanente no influye en la mejora de reemplazo de un cargador de bajo perfil en una compañía minera subterránea.

Hi: El modelo de vida remanente influye en la mejora de reemplazo de un cargador de bajo perfil en una compañía minera subterránea.

Decisión:

Dado los resultados del costo de vida remanente obtenidos del equipo CAT 04 mostrado en la Tabla 23, este equipo debe ser reemplazado en el año 2024 con respecto a un equipo nuevo de las mismas características y diseño del equipo actual analizado, debido a que los costos a partir del periodo 6 (año 2024) hacia adelante tienen una reducción gradual de costos para un equipo nuevo, como se puede apreciar en la Tabla 23, mejorando de esta forma el tiempo de reemplazo óptimo de un equipo antiguo. Asimismo, un equipo nuevo debe ser reemplazado en un periodo de 6 años sin overhaul desde el momento de su instalación en la zona de trabajo, cuyo resultado se muestra en la Tabla 23. Por lo tanto, se acepta la hipótesis de investigación y se rechaza la hipótesis nula.

4.2.2 Contrastación de Hipótesis Específica 1

Ho: La matriz de criticidad no mejora la identificación del cargador más crítico en la flota de cargadores de bajo perfil en una compañía minera subterránea.

Hi: La matriz de criticidad mejora la identificación del cargador más crítico en la flota de cargadores de bajo perfil en una compañía minera subterránea.

Decisión:

Dado los criterios de clasificación de la matriz de criticidad por nivel de consecuencias de seguridad, medio ambiente, impacto operacional, no operacional y los resultados obtenidos por equipo, la matriz de criticidad permite una mejor identificación de aquellos equipos que tienen una criticidad alta con respecto a los demás equipos analizados. El equipo CAT 04, obtenido en la Tabla 24 como equipo crítico, detalla un impacto de seguridad de grado 1 con lesión que no incapacita a la persona; con grado 2 de impacto ambiental cuyo daño ambiental es menor a 1 año con presencia de fugas de aceite; de impacto operacional de grado 5 cuyas pérdidas diarias son de 1022 tm/día por equipo, con costos no operacionales que fluctúan entre 22 545 a 30 000 dólares, con un indicador de frecuencia quincenal o grado 4 cuyos resultados se muestran en la Tabla 13. Estos datos permiten mostrar un mejor panorama al momento de tomar decisiones para una reparación o generar servicios a empresas terceras, independiente de la antigüedad y horas de trabajo de los equipos. Por lo tanto, se acepta la hipótesis de investigación y se rechaza la hipótesis nula.

Tabla 24

Criticidad de equipos

Equipo	Criticidad	Horas de trabajo (Hrs)	Años de operación
CAT 02	7	48036	18
CAT 03	7	48038.37	16
CAT 04	48	50305.69	16
CAT 05	11	51310.63	11
CAT 06	14	29086.8	9

4.2.3 Contrastación de Hipótesis Específica 2

Ho: El equipo que presenta el mayor evento de falla de la flota de cargadores de bajo perfil no influye en la antigüedad del equipo.

Hi: El equipo que presenta el mayor evento de falla de la flota de cargadores de bajo perfil influye en la antigüedad del equipo.

Decisión:

Dado los resultados de la Tabla 25, el equipo que presenta la mayor tasa de falla es el equipo CAT 03 con 908 eventos, 7883.2 h de parada y 16 años de antigüedad, representando el 31% de paradas a nivel de toda la flota de cargadores de bajo perfil. Por otra parte, el equipo CAT 04 de igual antigüedad que el CAT 03, representa el 17% de fallas a nivel global, ubicándose en la cuarta ubicación con una entrada intermedia hacia los equipos que presentan más fallas, según la Figura 22, mientras que el equipo más antiguo de la flota CAT 02 de 18 años de antigüedad representa el 16% del total de las fallas cuyos resultados son independientes de la antigüedad de los equipos, por lo que se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis de investigación.

Tabla 25

Eventos de Falla por Equipos (2019-2023)

Equipo	Eventos de Falla	Total horas de parada	Años
CAT2	485	3746.6	18
CAT3	908	7883.2	16
CAT4	499	2927.7	16
CAT5	502	2887.7	11
CAT6	555	4204.5	9

4.2.4 Contratación de Hipótesis Específica 3

Ho: La identificación de costos no permite conocer que cargadores de bajo perfil sobrepasan el costo de \$ 620 000 (equipo nuevo).

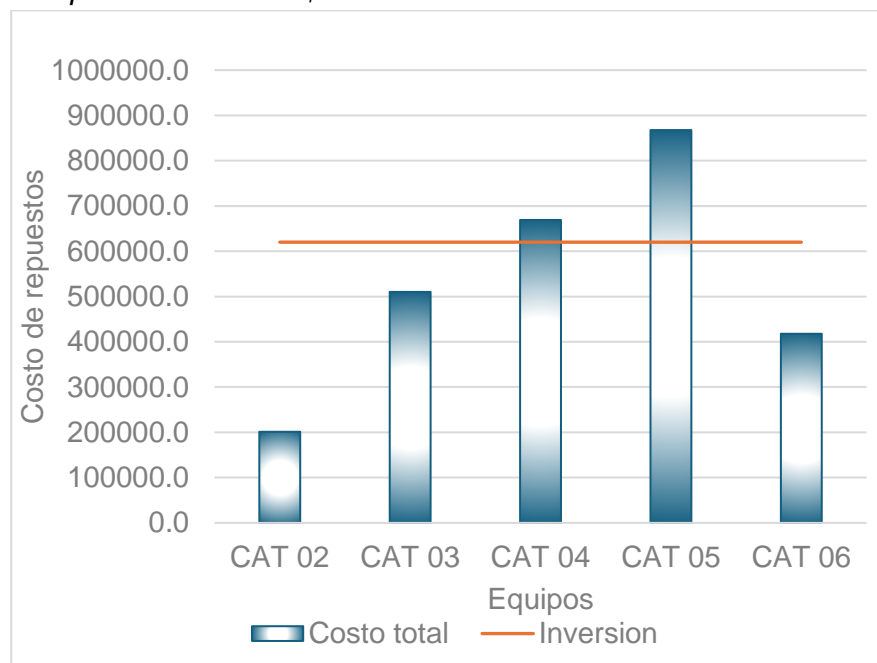
Hi: La identificación de costos permite conocer que cargadores de bajo perfil sobrepasan el costo de \$ 620 000 (Equipo nuevo).

Decisión:

Con los resultados de la Figura 27 y el diagrama Pareto de la Figura 24, los equipos que sobrepasan el valor de compra de un nuevo equipo (\$ 620 000) son los equipos CAT 05, CAT 04 en 40% y 8% respectivamente del valor de un equipo nuevo, reflejándose mejor estos resultados en el diagrama de Pareto que incluye el equipo CAT 03, ubicándolo un 18% por debajo de la compra de un equipo nuevo e ingresando en un proceso de intermedio al cumplimiento del costo de un nuevo equipo, por lo que se acepta la hipótesis investigación y se rechaza la hipótesis nula.

Figura 27

Equipos que superan el costo de \$620 000



4.2.5 Contratación de Hipótesis Específica 4

Ho: La simulación del modelo de vida remanente no influye en la mejora la reducción de fallas y costos de mantenimiento.

Hi: La simulación del modelo de vida remanente mejora la reducción de fallas y costos de mantenimiento.

Decisión:

Al realizar el reemplazo del equipo más crítico CAT 04 por uno de las mismas características y modelo de cargador de bajo perfil de 1 año de operación (CAT nuevo), los costos de mantenimiento global se reducen al 22% y una disminución de los eventos de falla del 14% en el primer año de reemplazo del equipo. En los diagramas de Pareto de la Figura 28 y 29 se observa que el CAT 4 pasa del primer lugar con un valor de \$593 826 en altos costos, al último lugar con \$ 35 707 cuando se realiza su reemplazo, representando una reducción de costos para este equipo de un 94%. De igual manera ocurre con los eventos de falla de las Figuras 30 y 31, pasando del cuarto lugar con 499 eventos al quinto lugar con 83 eventos respectivamente, cuyo valor de reducción es del 91%, por lo que se acepta la hipótesis investigación y se rechaza la hipótesis nula.

Figura 28

Costos de Mantenimiento antes del reemplazo del CAT 04

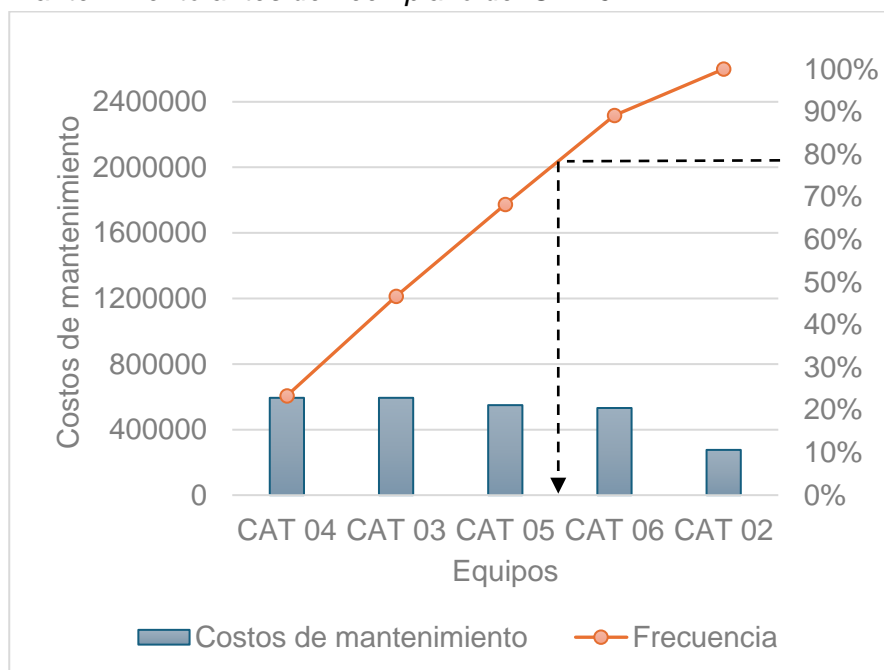


Figura 29

Costos de Mantenimiento después del reemplazo del CAT 04 por el CAT NUEVO

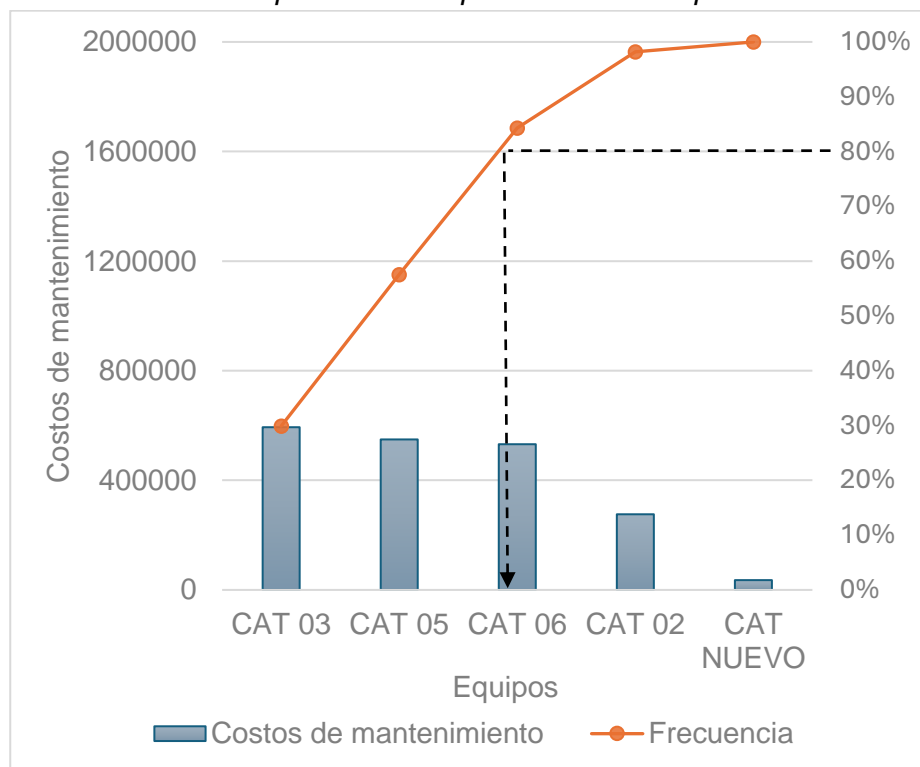


Figura 30

Diagrama de Pareto de Eventos de Falla antes del reemplazo del CAT 04

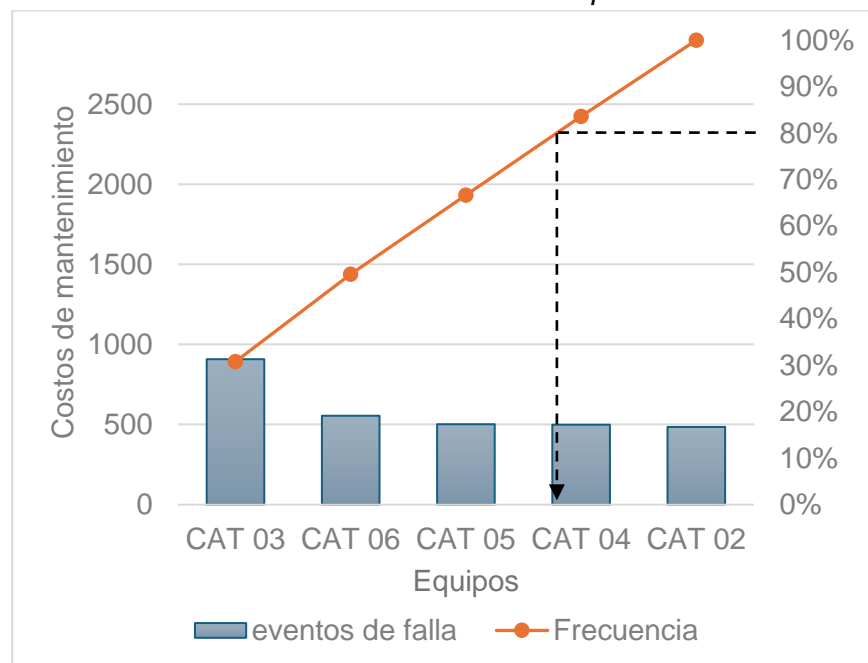
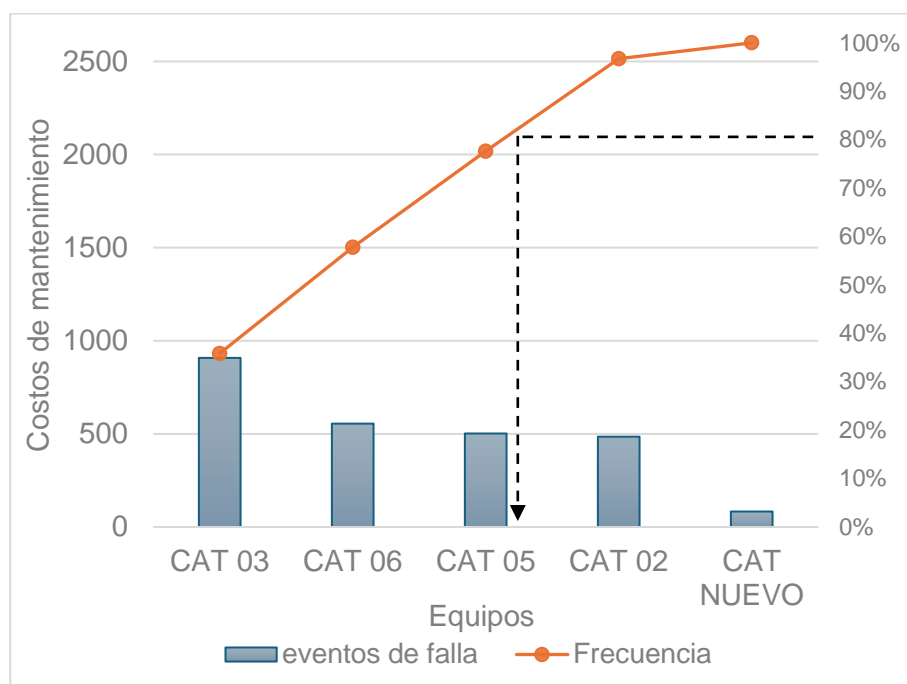


Figura 31

Diagrama de Pareto de Eventos de Falla después del reemplazo del CAT 04 por el CAT nuevo



4.3 Discusión de Resultados

El presente estudio desarrolla la discusión de los hallazgos obtenidos en el apartado de resultados en comparación con los antecedentes y fuentes teóricas, encontrando puntos de concordancia y contraposición lo cual otorga a este estudio validez. Es importante y fundamental no perder el objetivo de esta investigación, el cual fue “proponer un modelo de vida remanente para mejorar el reemplazo óptimo de un cargador de bajo perfil en una compañía minera”.

Con respecto al objetivo general, el tiempo óptimo de reemplazo obtenido para el cargador de bajo perfil CAT 04, cuyo equipo es crítico y que supera el valor de un nuevo activo, es de 6 años como equipo nuevo y como antiguo en el 2024. El periodo de reemplazo de 6 años es comparable con lo indicado por los fabricantes de equipos de bajo perfil como SANDVIK, EPIROC y CATERPILLAR, que indican que los equipos sin overhaul de esta categoría, deben ser reemplazados en un periodo de tiempo de respectivamente 6, 5 y 5 años, cuya periodicidad mencionada por los fabricantes solo es comprobable en base a los tiempos de operación de los equipos que tienen a nivel mundial.

En referencia al objetivo específico 1, se logró la identificación de los aspectos que generan impacto significativo en los cargadores de bajo perfil con respecto a la seguridad, medio ambiente, costos operativos y costos de mantenimiento que influyen de manera directa en la criticidad, jerarquizándolos de manera adecuada, cuya base se sustenta en el estudio realizado por Nucette Pirella et al (2008), que permite jerarquizar activos como instalaciones, sistemas y dispositivos en función de los impactos que generan en el negocio.

En referencia al objetivo específico 2, se identificó que el equipo que presentó la mayor cantidad de eventos de fallas es el CAT 03, de una antigüedad de 16 años de operación continua, cuyo resultado es previsto en la afirmación indicada por Bravo et al (2001), donde se menciona que los equipos pierden su valor de forma física y tecnológica en el tiempo, generando una depreciación por obsolescencia tecnológica que crece linealmente en función al tiempo.

Con respecto al objetivo específico 3, se identificó que los equipos que superaron el valor de compra de un nuevo activo son el CAT 05 y CAT 4, cuyo resultado es previsto por Viveros et al (2004), donde se refirió que los equipos deben ser reemplazados cuando los costos de reparaciones que involucra repuestos y requerimientos se aproximan al costo de un nuevo equipo. Asimismo, involucra una progresiva reparación de componentes, según lo afirmado por Selivanov (1972), que menciona que existe un aumento de los gastos directos cuando el equipo envejece, involucrando imprudencias durante el mantenimiento técnico y de reparación.

Con respecto al objetivo específico 4, al realizar la simulación de la propuesta de reemplazo óptimo de un cargador de bajo perfil mediante el modelo de vida remanente, se obtuvo como resultado que el tiempo oportuno de reemplazo del equipo crítico se debe realizar en el 2024. Asimismo, esta propuesta de reemplazo de equipo estima una reducción de costos de mantenimiento de \$ 2 544 627 a \$1 986 508, con una reducción global del 22%. Estos resultados de reducción costos se asemejan con la investigación realizada por Bejarano

Juan de Dios (2021), que tuvo como objetivo realizar una propuesta de reemplazo de maquinarias mineras para mejorar los indicadores de mantenimiento en la unidad operativa Pallancata – Empresa Contratista IESA – Ayacucho, cuyos costos anuales se redujeron de \$ 346 711.69 a \$ 210 000, con una reducción del 60.56%, cuya metodología aplicada no permite determinar el tiempo de reemplazo óptimo de un equipo.

Conclusiones

El modelo de vida remanente influye de manera directa en la mejora de reemplazo de un cargador de bajo perfil, porque nos indica el tiempo óptimo que se debe reemplazar un equipo.

La matriz de criticidad mejora la correcta identificación y relación con los aspectos de seguridad, medio ambiente, costos operacionales y no operacionales, los cuales permiten tener un mejor panorama al momento de tomar decisiones de reemplazo de equipos.

La tasa de fallas influye directamente en la cantidad de eventos que tienen los equipos de acuerdo con su antigüedad solo si el equipo trabaja continuamente, mientras que los equipos que trabajan intermitentemente o son usados como equipos auxiliares no cumplen con la relación de antigüedad y eventos de fallas.

Los costos por repuestos y requerimientos de los equipos permiten clasificar adecuadamente aquellos equipos que sobrepasan el valor de un activo para ser considera dentro de un análisis de costo beneficio y criticidad.

El reemplazo de un cargador de bajo perfil influye directamente en la reducción de los costos globales de mantenimiento y la reducción del número de eventos.

Recomendaciones

Se debe depurar adecuadamente los datos inconsistentes en costos, eventos de fallas y revisión de las fórmulas de cálculo de los indicadores de mantenimientos para la correcta aplicación del modelo de vida remanente y la obtención correcta del tiempo óptimo de reemplazo.

Se debe tener con frecuencia mensual una reunión con los responsables de las áreas de seguridad, medio ambiente, planta concentradora y mantenimiento sobre el impacto real de los eventos que afectan a la producción ello para tener mejores resultados en la matriz de criticidad.

Se debe verificar que los equipos operen continuamente en el ciclo de minado para clasificarlos como equipos activos o auxiliares.

Se recomienda considerar los repuestos obsoletos que se encuentran inventariados en almacén y los repuestos críticos adquiridos por costos de inversión para la evaluación completa del costo real acumulado en los equipos.

Se debe utilizar un equipo nuevo de las mismas características y diseño que el equipo antiguo analizado para una adecuada simulación del reemplazo de equipo y su impacto en la organización.

Referencias

- Bejarano Juan de dios, R.J. (2021). *“Reemplazo de maquinarias mineras para mejorar los indicadores de mantenimiento en la unidad operativa Pallancata - empresa contratista IESA – Ayacucho.”* Tesis de grado. Universidad Nacional del centro del Perú - Huancayo. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/8560>
- Bonilla Zeballos, L. A. (2023). *“Diseño de un plan de mantenimiento basado en análisis FMECA para la flota de SCOPTRAMS R1600G de la compañía minera Casapalca.”* Tesis de grado. Universidad José Carlos Mariátegui – Moquegua. <https://hdl.handle.net/20.500.12819/2104>
- Bravo Orellana, S., y Cueto Saco, D. (2001). *La vida útil de un activo y política de reemplazo de activos*. Journal of Economics, Finance and Administrative Science, 6(11), 133–148. <https://doi.org/10.46631/jefas.2001.v6n11.04>
- British Standard, Petroleum, petrochemical and natural gas industries - Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment (2016), ISO 14224:2016
- Caterpillar. (2007). Manual de operación y mantenimiento, Maquinas LHD (De Carga, Acarreo y Descarga R1600G (SSBU7337)
- Cjuno Chuctaya, E. S. (2014). *“Estimación económica del cargador frontal CAT 980G y su reemplazo en el tajo abierto en la unidad Tucari-empresa minera Aruntani SAC.”* Tesis de grado. Universidad Nacional de San Agustín – Arequipa. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/3856>
- European Standard, Part 3-3: Application guide – Life cycle costing, Dependability management (2017), EN 60300-3-3:2017
- Galano Quintero, M., Alayo Lloren, J., A., García de la Cruz, M., I., Reynaldo Arguelles, C., L., Cutiño Liranza, M. (2021). Costos de operación de los equipos mineros en la

Unidad Básica Minera de la Empresa Ernesto Che Guevara. Universidad de Moa.
Ciencia & Futuro V.11 No.1 ISSN 2306-823X.

Jeroen B., G. (2002): Cap2: Main characteristics of LCA, Handbook on Life Cycle Assessment - Operational Guide to the ISO Standards (pp.6). Kluwer Academic Publishers

Manual de operación y mantenimiento Caterpillar Maquinas LHD (De Carga, Acarreo y Descarga R1600G - Agosto 2010.

Military Estándar, Procedures for Performing a Failure Mode - Effects and Criticality Analysis (1980), MIL-STD-1629A

Montané García, Jorge Juan, Dorrbercker Drake, Santiago Alfredo, & del Castillo Serpa, Alfredo Manuel. (2019). *Avances en evaluación del estado y la vida remanente de transformadores de fuerza. Ingeniería Energética*, 40(3), 245-256. Epub 18 de septiembre de 201. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59012019000300245&lng=es&tlng=es.

Nucette P., G., Agüero L., M., Freitas M., M., Gómez de la Vega M., H., Rojas M., E., Sampiere B., M., Semeco S., K., Trejo P., E., Yáñez M., M. (2008). Capítulo II: *Aplicaciones especiales. Confiabilidad Integral un enfoque practico Tomo III* (pp. 171). R2M

Paucar Soto, J.W. (2019). *"Eficiencia de equipos scoop en el carguío y transporte en la Unidad Minera Yauricocha de la Sociedad Minera Corona S.A."* Tesis de grado. Universidad Nacional del centro del Perú – Huancayo. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/5537>

PMM Institute for learning (2012). *Claves para impulsar la optimización de activos físicos*. PMM Project, volumen (20), pp:15-16.

- Quiroga Mendiola, J. S. (2011). “*Proceso de mantenimiento de los camiones mineros y su influencia en la producción en la Empresa comandante Ernesto Che Guevara*”. Tesis doctoral. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa - Cuba
- Quito Matos, J. C. y Babilonia Jaramillo, R. (2020). “*Análisis de la vida útil de aceros de perforación para evaluar costos operativos en galerías Compañía Minera San Cristóbal S.A.A.*” Tesis de grado. Universidad Continental – Huancayo. <https://hdl.handle.net/20.500.12394/8523>
- Revista Investigaciones científicas (2013). *Análisis de criticidad integral de activos físicos*, volumen (4); pp:18
- Selivanov, I.A. (1972). Cap. 4: *Determinación de los plazos de servicio de las máquinas y de sus elementos constructivos y no constructivos, Fundamentos de la teoría del envejecimiento de los equipos* (pp.326). Editorial Mir Moscú.
- The European Standard, Obsolescence management - Application guide (2007), EN62402:2007
- The European Standard, The International Standard for Obsolescence Management (OM) (2007), IEC62402:2007
- The Institute of Asset Management, Asset Management - Part 1 (2008), PAS 55-1:2008
- The International Organization for Standardization, Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework (2006), ISO 14040:2006
- Uriegas T., C. (1987). *Análisis económico de Sistemas en la Ingeniería*. México: Editorial Limusa, S.A de C.V
- Villegas M., C. (2023, del 26 de Setiembre al 5 de Octubre). *Confiabilidad [conferencia]. Análisis de Costo-Riesgo-Beneficio, Costos en Ciclo de Vida, Vida Útil Remanente y Obsolescencia*, México. <https://predictiva-learning.web.app/est/curso/RBGxr7SKwHGL03g8asAd>

Viveros F., A., Gonzales V., G., y Rodriguez B., R. (2004). *APROXIMACION AL REEMPLAZO DE EQUIPO INDUSTRIAL*. Scientia et Technica Año X, No 25, Agosto 2004. UTP. ISSN 0122-1701

Wolter, J (1997): Cap. 2: *Consideraciones sobre el costo del ciclo de vida, Análisis del costo del ciclo de vida de los sistemas* (pp.24). Editorial Isdefe - España

Anexos

Anexo A	<i>Formato de Registro de Fallas de Cargadores de Bajo Perfil</i>	1
Anexo B	<i>Formato de Requerimientos y Repuestos de Cargadores de Bajo Perfil</i>	2
Anexo C	<i>Formato de Base de Costos de mantenimientos de Cargadores de Bajo Perfil.....</i>	3
Anexo D	<i>Formato de control de Costos de mantenimientos de Cargadores de Bajo Perfil.....</i>	4
Anexo E	<i>Propuestas de Reemplazo por Fabricantes de Cargadores de Bajo Perfil ...</i>	5
Anexo F	Matriz de Consistencia – Modelo de Vida Remanente para Optimizar el Reemplazo de un Cargador de Bajo Perfil en una Compañía Minera Subterránea	6

Anexo A

Formato de Registro de Fallas de Cargadores de Bajo Perfil

FECHA REAL	DIA	MES	AÑO	GUARDIA	CONTADOR EVENTOS	GRUPO	SISTEMA FUNCIONA	TIPO CAUSA	GUARDIA	SUPERV RESPONS	EQUIPO	COMPONENTE	OBJETO	AVERIA	CAUSA	HORA INICIO	HORA FIN	TOTAL HR	TOTAL	OBSERVACION
2/1/23	2	Ene	2023	2D	1	SC-PROD	SDES	TELTN	D	HC	CAT 06	MODIE	SWITC	PSÑ	DEG	07:30	10:40	03:10	3.2	Se reparo switch de parada de emergencia y se arranco motor diesel.
2/1/23	2	Ene	2023	2D	1	SC-PROD	SDES	TELTN	D	HC	CAT 06	MODIE	SWITC	PSÑ	DEG	13:00	14:20	01:20	1.3	Se arranco motor diesel ,se receteo switch de parada de emergencia
2/1/23	2	Ene	2023	2N	1	SC-PROD	SHID	TMECA	D	AF	CAT 04	MANGU	MANGU	FUG	FGA	19:00	22:30	03:30	3.5	Cambio de manguera del sistema de freno, se elimino fuga de aceite por la base del arrancador
3/1/23	3	Ene	2023	3D	1	SC-PROD	SDES	TELTN	D	HC	CAT 06	MODIE	SENSO	PSÑ	CVU	07:00	13:30	06:30	6.5	Se cambio un sensor usado de velocidad de convertidor
5/1/23	5	Ene	2023	5N	1	SC-PROD	SHID	TMECA	N	AF	CAT 03	CIHID	MANGU	DES	FRI	01:00	01:30	00:30	0.5	Se cambio una manguera hidraulica N.-. 6x90cm.
6/1/23	6	Ene	2023	6N	1	SC-PROD	SDES	TMECA	N	HC	CAT 03	MODIE	TUCOM	PEF	DEG	19:00	23:55	04:55	4.9	Se cambio un turbo nuevo de motor diesel.
11/1/23	11	Ene	2023	11N	1	SC-PROD	SPOS	TOPER	N	HC	CAT 05	BRAZO	MANG	ROT	FRI	19:00	01:45	06:45	6.8	Se cambio una manguera hidraulica de cilindro de levante lado derecho
12/1/23	12	Ene	2023	12N	1	SC-PROD	SHID	TMECA	N	HC	CAT 05	CBASC	BRID	FUG	FRI	21:00	22:00	01:00	1.0	Se elimino fuga de aceite por la brida del cilindro de vascutacion se cambio el oring
14/1/23	14	Ene	2023	14D	1	SC-PROD	SDES	TMECA	D	AF	CAT 05	NEUMA	LLANT	DES	MOP	10:00	11:30	01:30	1.5	Cambio de llanta delantero izquierdo
16/1/23	16	Ene	2023	16D	1	SC-PROD	SDES	TOPER	D	AF	CAT 05	MODIE	FAJA	ROT	FIN	07:00	14:00	07:00	7.0	Cambio de taja del ventilador, sensor de nivel de refrigerante, reparacion de cables del alternador
17/1/23	17	Ene	2023	17D	1	SC-PROD	SEST	TOPER	D	AF	CAT 06	CHASI	SOPOR	ROT	DEG	11:30	14:00	02:30	2.5	Se fabrico pedal de la cabina del operador, cambio de relay switch, cambio de sensor de P de refrigerante
19/1/23	19	Ene	2023	19N	1	SC-PROD	STRA	TOPER	N	AF	CAT 05	DIFDE	CARDA	ROT	DEG	03:45	07:00	03:15	3.3	rotura de cruceta de saturo de la caja, afecto a la chumacera, se esta desmontando
20/1/23	20	Ene	2023	20D	1	SC-PROD	STRA	TOPER	D	HC	CAT 05	DIFDE	CARDA	ROT	DEG	07:00	19:00	12:00	12.0	Se reatizo instalacion de chumacera, cardan central y delantero, y manguera hidraulica de cilindro de levante, se cambio 2 Manguera
20/1/23	20	Ene	2023	20N	0	SC-PROD	STRA	TOPER	N	AF	CAT 05	DIFDE	CARDA	ROT	DEG	19:00	23:00	04:00	4.0	Se realizo instalacion de chumacera, cardan central y delantero, instalacion de protectores
21/1/23	21	Ene	2023	21N	1	SC-PROD	SEST	TMECA	N	AF	CAT 06	CHASI	AMASI	PEF	DEG	01:00	03:45	02:45	2.8	Se acondiciono un asiento del operador nuevo, instalacion electrica del sistema de amortiguacion
22/1/23	22	Ene	2023	22N	0	SC-PROD	SHID	TMECA	N	AF	CAT 04	CIHID	MANGU	FUG	FGA	19:00	05:00	10:00	10.0	Cambio de mangueras hidraulicas, reparacion del cilindro de direccion lado derecho
23/1/23	23	Ene	2023	23D	1	SC-PROD	SDES	TOPER	D	HC	CAT 04	MODIE	FAJA	ROT	DEG	14:45	16:00	01:15	1.3	Se cambio 2 fajas nuevas de ventilador de motor diesel, por rotura
23/1/23	23	Ene	2023	23N	1	SC-PROD	SHID	TMECA	N	AF	CAT 03	CIHID	CIHID	FUG	FGA	19:30	20:30	01:00	1.0	Cambio de manguera n.- 04 x 1.20m del cilindro de direccion lado derecho
24/1/23	24	Ene	2023	24N	1	SC-PROD	SEDC	TELTN	N	AF	CAT 03	TAPAR	CABLE	PSÑ	DEG	03:30	04:30	01:00	1.0	Reparacion del cable del alternador
25/1/23	25	Ene	2023	25N	1	SC-PROD	SHID	TMECA	N	HC	CAT 05	CIHID	CIHID	FUG	FGA	20:00	20:40	00:40	0.7	Se elimino fuga de aceite hidraulico se cambio tapa de nitro del tanque hid.
27/1/23	27	Ene	2023	27N	1	SC-PROD	SDES	TMECA	N	HC	CAT 05	MODIE	MODIE	PEF	DEG	20:00	20:30	00:30	0.5	Se reviso sonido raro de motor diesel ,se cambio filtro de aire
28/1/23	28	Ene	2023	28D	1	SC-PROD	SDES	TMECA	D	HP	CAT 05	MODIE	SELLO	FUG	DEG	13:00	18:00	05:00	5.0	Se reviso fuga de aceite de motor por el carter del motor se desmonto el carter
1/2/23	1	Feb	2023	1D	0	SC-PROD	SHID	TELEC	D	HP	CAT 03	TANQU	SWITC	DCT	DCA	07:30	09:00	01:30	1.5	Se retieno aceite hidraulico, motor, reparacion electrico de la senal de parqueo, cambio de filtro de aire
1/2/23	1	Feb	2023	1D	1	SC-PROD	SEST	TMECA	D	HP	CAT 05	CHASI	LLANT	DES	FRI	10:00	11:30	01:30	1.5	Cambio llanta delantero derecho
1/2/23	1	Feb	2023	1N	1	SC-PROD	SPOS	TOPER	N	HC	CAT 03	BRAZO	MANGU	ROT	FRI	21:00	12:00	15:00	15.0	Se cambio manguera hidraulica de direccion #12 x 1.83 mts
2/2/23	2	Feb	2023	2N	1	SC-PROD	SDES	TMECA	N	HC	CAT 06	CONVT	SWITC	DES	DEG	18:00	22:00	04:00	4.0	se reviso la parte electrica se cambio sensor de temperatura del convertidor usado y se reparo el cable del arnes del sensor de
6/2/23	6	Feb	2023	6N	1	SC-PROD	SHID	TMECA	D	HP	CAT 04	CIHID	CIHID	FUG	FGA	19:00	07:00	12:00	12.0	se reviso la fuga de aceite por el cilindro de levante se desmonto el cilindro hidraulico de levante lado derecho por rotura de cañeria
7/2/23	7	Feb	2023	7D	0	SC-PROD	SHID	TMECA	D	AF	CAT 04	CIHID	CAÑER	FUG	FGA	07:00	15:30	08:30	8.5	Cambio de camera del cilindro de levante, pin, bocina, coiler, engrase general

Nota: Formato tomado del archivo general de registro de fallas de Cargadores de bajo Perfil de la Unidad Minera

Anexo B

Formato de Requerimientos y Repuestos de Cargadores de Bajo Perfil

OT	DESCRIPCION DE ACTIVIDAD Y SUSTENTO	OS	Equipo	Cod. MAT	DESCRIPCION DE REPUESTO	CANT.	PU (\$)	TOTAL (\$)	FECHA SOLICITADA	FECHA PROGRAM.	SEGUIE MTO	SEM. PRO G	AÑO. P	SEM. REA L	PERSONA L	CANT2	HP	HH	O.C
C1726077	PINES Y BOCINAS PARA MONTAJE DE CUCHARA ESTAN DESGASTADO	22233133	CAT 05	4504010	1V5635 BEARING SLIVE	4	560	2.240,0	6/02/2023	8/03/2023	ATENDIDO	7	2023	11	MEC. M. C	1	2.00	2.00	I2230823
C1726077	PINES Y BOCINAS PARA MONTAJE DE CUCHARA ESTAN DESGASTADO	22233133	CAT 05	4504012	1V 8033 PIN	4	1480	5.920,0	6/02/2023	8/03/2023	ATENDIDO	7	2023	11	MEC. M. C	1	2.00	2.00	I2230823
C1726077	PINES Y BOCINAS PARA MONTAJE DE CUCHARA ESTAN DESGASTADO	22233133	CAT 05	4504025	7K-9220 SEAL LIP	8	45	360,0	6/02/2023	8/03/2023	ATENDIDO	7	2023	11	MEC. M. C	1	2.00	2.00	I2230823
C1726077	PINES Y BOCINAS PARA MONTAJE DE CUCHARA ESTAN DESGASTADO	22233133	CAT 05	4504027	8R-3932 COLLET	8	620	4.960,0	6/02/2023	8/03/2023	ATENDIDO	7	2023	11	MEC. M. C	1	2.00	2.00	I2230823
C1726077	PINES Y BOCINAS PARA MONTAJE DE CUCHARA ESTAN DESGASTADO	22233133	CAT 05	4504028	9G-7516 PLUG	18	6	108,0	6/02/2023	8/03/2023	ATENDIDO	7	2023	11	MEC. M. C	1	2.00	2.00	I2230823
C1726077	PINES Y BOCINAS PARA MONTAJE DE CUCHARA ESTAN DESGASTADO	22233133	CAT 05	4504030	9DE3215 SHIM 1.6M	8	8	64,0	6/02/2023	8/03/2023	ATENDIDO	7	2023	11	MEC. M. C	1	2.00	2.00	I2230823
C1726077	PINES Y BOCINAS PARA MONTAJE DE CUCHARA ESTAN DESGASTADO	22233133	CAT 05	4504031	5P7669 BOLT	3	3	9,0	6/02/2023	8/03/2023	ATENDIDO	7	2023	11	MEC. M. C	1	2.00	2.00	I2230823
C1726077	PINES Y BOCINAS PARA MONTAJE DE CUCHARA ESTAN DESGASTADO	22233133	CAT 05	4504076	9DE3270 SHIM 3.00 MM	4	4	16,0	6/02/2023	8/03/2023	ATENDIDO	7	2023	11	MEC. M. C	1	2.00	2.00	I2230823
C1726098	PRESENTA DESGASTE DE SWICHT DE PRESION	22233183	CAT 03	4502116	1DE3457 SWITCH AS PRESSURE	1	1279	1.279,0	6/02/2023	8/03/2023	ATENDIDO	7	2023	11	MEC. M. C	1	2.00	2.00	I2230892
C1726126	PRESENTA DETERIORO DE SENSOR DE PRESION	22233293	CAT 03	4502163	3056873 SENSOR GP-PRESSURE	1	306	306,0	7/02/2023	9/03/2023	ATENDIDO	7	2023	11	MEC. M. C	1	2.00	2.00	I2230893
C1726202	ESTRATEGICO PARA EL MANTENIMIENTO, PERNOS DE FUNDA	22233779	CAT 03	4503062	1DE626 BOLT	6	25	150,0	11/02/2023	13/03/2023	PROCESO	7	2023	12	MEC. M. C	1	2.00	2.00	I2231136
C1726202	ESTRATEGICO PARA EL MANTENIMIENTO, PERNOS DE FUNDA	22233779	CAT 03	4503064	6K0545 NUT LOCK	12	6.78	81,4	11/02/2023	13/03/2023	PROCESO	7	2023	12	MEC. M. C	1	2.00	2.00	I2231136
C1726202	ESTRATEGICO PARA EL MANTENIMIENTO, PERNOS DE FUNDA	22233779	CAT 03	4503175	BOLT (1" UNC X 7 1/2") 2B7218	8	32	256,0	11/02/2023	13/03/2023	PROCESO	7	2023	12	MEC. M. C	1	2.00	2.00	I2231136
C1726202	ESTRATEGICO PARA EL MANTENIMIENTO, PERNOS DE FUNDA	22233779	CAT 03	4503176	WASHER HARD 1" 5P8250	8	4.72	37,8	11/02/2023	13/03/2023	PROCESO	7	2023	12	MEC. M. C	1	2.00	2.00	I2231136
C1726202	ESTRATEGICO PARA EL MANTENIMIENTO, PERNOS DE FUNDA	22233779	CAT 03	4503178	NUT HARD PLT (1" UNC) 6V8190	8	5.1	40,8	11/02/2023	13/03/2023	PROCESO	7	2023	12	MEC. M. C	1	2.00	2.00	I2231136
C1726202	ESTRATEGICO PARA EL MANTENIMIENTO, PERNOS DE FUNDA	22233779	CAT 03	4503231	5P8249 WASHER HARD	21	5.1	107,1	11/02/2023	13/03/2023	PROCESO	7	2023	12	MEC. M. C	1	2.00	2.00	I2231136
C1726202	ESTRATEGICO PARA EL MANTENIMIENTO, PERNOS DE FUNDA	22233779	CAT 03	4505107	6K0632 NUT/TUERCA	8	2.4	19,2	11/02/2023	13/03/2023	PROCESO	7	2023	12	MEC. M. C	1	2.00	2.00	I2231136
C1726257	PRESENTA ARNESS DEL ENTRADA AL TABLERO QUEMADO, PERDIDA DE SEÑAL	22233991	CAT 06	4501134	2490096 SENSOR DE PRESION DE	1	270	270,0	14/02/2023	16/03/2023	ATENDIDO	8	2023	12	MEC. M. C	1	2.00	2.00	I2231136
C1726258	PRESENTA HARNESS DEL CONVERTIDOR QUEMADO	22233992	CAT 04	4502007	3E7692 SWITCH AS PR	1	150	150,0	14/02/2023	16/03/2023	ATENDIDO	8	2023	12	MEC. M. C	1	2.00	2.00	I2230895
C1726258	PRESENTA HARNESS DEL CONVERTIDOR QUEMADO	22233992	CAT 04	4502092	2169890 FUSIBLE 600AMP (1DE3168	1	499	499,0	14/02/2023	16/03/2023	ATENDIDO	8	2023	12	MEC. M. C	1	2.00	2.00	I2230895
C1726258	PRESENTA HARNESS DEL CONVERTIDOR QUEMADO	22233992	CAT 04	4502122	9EQ2432 HARNESS TORQUE CONV	1	334	334,0	14/02/2023	16/03/2023	ATENDIDO	8	2023	12	MEC. M. C	1	2.00	2.00	I2230895
C1726258	PRESENTA HARNESS DEL CONVERTIDOR QUEMADO	22233992	CAT 04	4502200	1869480 (9EP0098) HASNESS AS	1	293	293,0	14/02/2023	16/03/2023	ATENDIDO	8	2023	12	MEC. M. C	1	2.00	2.00	I2230895
C1726257	PRESENTA ARNESS DEL ENTRADA AL TABLERO QUEMADO, PERDIDA DE SEÑAL	22233991	CAT 06	4502199	3840008 HARNESS AS REAR	1	0	0,0	14/02/2023	16/03/2023	PROCESO	8	2023	12	MEC. M. C	1	2.00	2.00	I2231136
C1726281	CAMBIO DE SELLOS POR CILINDRO DE DIRECCION	22234119	CAT 04	4505029	1857686 KIT SEAL (2409538)	1	194	194,0	15/02/2023	17/03/2023	ATENDIDO	8	2023	12	MEC. M. C	1	2.00	2.00	I2230820
C1726280	CAMBIO POR FUGA POR CILINDRO DE DIRECCION	22234118	CAT 06	4503341	2409538 KIT-SEAL-H.C	1	162	162,0	15/02/2023	17/03/2023	PROCESO	8	2023	12	MEC. M. C	1	2.00	2.00	I2230821
C1726769	CAMBIO POR ROTURA DE PERNOS, CARDAN Y ARAÑEAS DE SISTEMA DE TRANSMISION	22236427	CAT 04	4503001	2V7153 SPIDER BEARING AS	2	247	494,0	12/03/2023	11/04/2023	ATENDIDO	11	2023	16	MEC. M. C	1	2.00	2.00	I2231237
C1726769	CAMBIO POR ROTURA DE PERNOS, CARDAN Y ARAÑEAS DE SISTEMA DE TRANSMISION	22236427	CAT 04	4503009	9V3811 BOLT 12PT HD (1/2" UNF X 2	18	21.9	394,2	12/03/2023	11/04/2023	ATENDIDO	11	2023	16	MEC. M. C	1	2.00	2.00	I2231237
C1726769	CAMBIO POR ROTURA DE PERNOS, CARDAN Y ARAÑEAS DE SISTEMA DE TRANSMISION	22236427	CAT 04	8101148	9W9930 MOUNT-AS	2	96.7	193,4	12/03/2023	11/04/2023	ATENDIDO	11	2023	16	MEC. M. C	1	2.00	2.00	I2231237
C1726769	CAMBIO POR ROTURA DE PERNOS, CARDAN Y ARAÑEAS DE SISTEMA DE TRANSMISION	22236427	CAT 04	4503057	0S0484 BOLT (1/2"UNFX 2.1/4")	8	2.84	22,7	12/03/2023	11/04/2023	PROCESO	11	2023	16	MEC. M. C	1	2.00	2.00	I2231237
C1726769	CAMBIO POR ROTURA DE PERNOS, CARDAN Y ARAÑEAS DE SISTEMA DE TRANSMISION	22236427	CAT 04	8101149	SLIDE BAR	2	31.99	64,0	12/03/2023	11/04/2023	PROCESO	11	2023	16	MEC. M. C	1	2.00	2.00	I2231237
C1726797	PARA USO EN CUCHARA Y DIRECCION	22236546	CAT 03	4504067	9EP 1733 BOLT	6	68	408,0	13/03/2023	12/04/2023	ATENDIDO	12	2023	16	MEC. M. C	1	2.00	2.00	I2231236
C1726797	PARA USO EN CUCHARA Y DIRECCION	22236546	CAT 03	4504068	5P 5265 BOLT	6	91	546,0	13/03/2023	12/04/2023	ATENDIDO	12	2023	16	MEC. M. C	1	2.00	2.00	I2231236
C1726797	PARA USO EN CUCHARA Y DIRECCION	22236546	CAT 03	4504069	5P 8715 BOLT	6	155	930,0	13/03/2023	12/04/2023	ATENDIDO	12	2023	16	MEC. M. C	1	2.00	2.00	I2231236
C1726819	PARA REPARACION DE PISTONES DE DIRECCION- EL STOCK QUE FIGURA SERA UTILIZADO EN EL CAT 05	22236628	CAT 03	4503082	7J9682 BEARING	2	56	112,0	14/03/2023	13/04/2023	PROCESO	12	2023	16	MEC. M. C	1	2.00	2.00	N.O.C
C1726819	PARA REPARACION DE PISTONES DE DIRECCION- EL STOCK QUE FIGURA SERA UTILIZADO EN EL CAT 05	22236628	CAT 03	4504036	2H3749 BOLT (3/4" UNF X 7")	4	15	60,0	14/03/2023	13/04/2023	PROCESO	12	2023	16	MEC. M. C	1	2.00	2.00	N.O.C
C1726819	PARA REPARACION DE PISTONES DE DIRECCION- EL STOCK QUE FIGURA SERA UTILIZADO EN EL CAT 05	22236628	CAT 03	4505029	1857686 KIT SEAL	2	198	396,0	14/03/2023	13/04/2023	PROCESO	12	2023	16	MEC. M. C	1	2.00	2.00	N.O.C

Nota: Formato tomado del archivo general de registro de requerimientos y control de repuestos de Cargadores de bajo Perfil de la Unidad Minera

Anexo C

Formato de Base de Costos de mantenimientos de Cargadores de Bajo Perfil

MES	AÑO	RES_EQUIPO	GRUPO	OT	EQUIPO	COD EQUIPO	DESC EQUIPO	NATURALEZA	COD SISTEM	COD MAT	DESC MATERIAL	CANT	\$ P.U.	\$ TOTAL	DESC SISTEMA	COD GENERAL	ANALITICOS	ANLT
7	2023	CAT-05	SC-PROD	PM03	EQUIPO	54505	Scoop Caterpillar R1600G N° 05	MATERIALES	SIST99	8103021	BT-Q392 SEAL LIP TYPE	1	64.3780832	64.3780832	OTROS (MATERIALES Y REPUESTOS)	54505	101245	245
7	2023	CAT-05	SC-PROD	PM01	EQUIPO	54505	Scoop Caterpillar R1600G N° 05	MATERIALES	SIST98	1002137	P532510 6I2510 FILTRO DE AIRE SECUNDARIO (SCOOP. CAT)	1	55.7956863	55.7956863	FILTROS (AIRE,ACEITES, COMB)	54505	101249	249
7	2023	CAT-05	SC-PROD	PM01	EQUIPO	54505	Scoop Caterpillar R1600G N° 05	MATERIALES	SIST98	1002137	P532510 6I2510 FILTRO DE AIRE SECUNDARIO (SCOOP. CAT)	1	55.7801053	55.7801053	FILTROS (AIRE,ACEITES, COMB)	54505	101249	249
7	2023	CAT-05	SC-PROD	PM01	EQUIPO	54505	Scoop Caterpillar R1600G N° 05	MATERIALES	SIST98	1002137	P532510 6I2510 FILTRO DE AIRE SECUNDARIO (SCOOP. CAT)	1	55.7489693	55.7489693	FILTROS (AIRE,ACEITES, COMB)	54505	101249	249
7	2023	CAT-05	SC-PROD	PM01	EQUIPO	54505	Scoop Caterpillar R1600G N° 05	MATERIALES	SIST98	1002137	P532510 6I2510 FILTRO DE AIRE SECUNDARIO (SCOOP. CAT)	1	55.1639208	55.1639208	FILTROS (AIRE,ACEITES, COMB)	54505	101249	249
7	2023	CAT-05	SC-PROD	PM03	EQUIPO	54505	Scoop Caterpillar R1600G N° 05	MATERIALES	SIST98	4503184	1234003 SEAL LIP	1	50.5453148	50.5453148	SIST DE TRANSMISION	54505	101241	241
7	2023	CAT-05	SC-PROD	PM03	EQUIPO	54505	Scoop Caterpillar R1600G N° 05	MATERIALES	SIST99	8103023	9X-7546 SEAL-LIP TYPE	1	30.8146444	30.8146444	OTROS (MATERIALES Y REPUESTOS)	54505	101245	245
7	2023	CAT-05	SC-PROD	PM01	EQUIPO	54505	Scoop Caterpillar R1600G N° 05	MATERIALES	SIST98	1004015	P551746 (FS20162) FILTRO PETROLEO SEPARADOR DE AGUA (1335673) (SCOOP.	1	24.3172537	24.3172537	FILTROS (AIRE,ACEITES, COMB)	54505	101249	249
7	2023	CAT-05	SC-PROD	PM02	EQUIPO	54505	Scoop Caterpillar R1600G N° 05	MATERIALES	SIST99	1611042	MANG. DIN 25N EN 853 ANTIABRASIVA 3/8	4.5	4.92865172	22.1789328	OTROS (MATERIALES Y REPUESTOS)	54505	101241	241
7	2023	CAT-05	SC-PROD	PM01	EQUIPO	54505	Scoop Caterpillar R1600G N° 05	MATERIALES	SIST99	161203	ACO. HEMBRA PREARMADO JIC 3/8 X 3/8	4	2.85856446	11.4342578	OTROS (MATERIALES Y REPUESTOS)	54505	101241	241
7	2023	CAT-05	SC-PROD	PM01	EQUIPO	54505	Scoop Caterpillar R1600G N° 05	MATERIALES	SIST98	1003002	P551311 (FF5319) FUEL FILTER (1R0749) (SCOOP., GRUPO, PALAS CAT.)	1	10.6311319	10.6311319	FILTROS (AIRE,ACEITES, COMB)	54505	101249	249
7	2023	CAT-05	SC-PROD	PM01	EQUIPO	54505	Scoop Caterpillar R1600G N° 05	MATERIALES	SIST99	1611042	MANG. DIN 25N EN 853 ANTIABRASIVA 3/8	2	4.92751775	9.8550355	OTROS (MATERIALES Y REPUESTOS)	54505	101241	241
7	2023	CAT-05	SC-PROD	PM01	EQUIPO	54505	Scoop Caterpillar R1600G N° 05	MATERIALES	SIST98	1001001	P554005 (LF691A) OIL FILTER 1R0716 (SCOOP, GRUPO CAT)	1	9.11107634	9.11107634	FILTROS (AIRE,ACEITES, COMB)	54505	101249	249
7	2023	CAT-05	SC-PROD	PM01	EQUIPO	54505	Scoop Caterpillar R1600G N° 05	MATERIALES	SIST99	1613013	ADAP. TAPON HEMBRA JIC 1/2	4	1.96	7.84	OTROS (MATERIALES Y REPUESTOS)	54505	101241	241
7	2023	CAT-05	SC-PROD	PM01	EQUIPO	54505	Scoop Caterpillar R1600G N° 05	MATERIALES	SIST99	1612032	ACO. HEMBRA CODO 90º PREARMADO JIC 3/8 X 3/8	2	3.9	7.8	OTROS (MATERIALES Y REPUESTOS)	54505	101241	241
7	2023	CAT-05	SC-PROD	PM01	EQUIPO	54505	Scoop Caterpillar R1600G N° 05	MATERIALES	SIST99	1608261	FFITING DE ENGRASE 1/8"	1	7.31	7.31	OTROS (MATERIALES Y REPUESTOS)	54505	101286	286
7	2023	CAT-05	SC-PROD	PM01	EQUIPO	54505	Scoop Caterpillar R1600G N° 05	MATERIALES	SIST99	1608261	FFITING DE ENGRASE 1/8"	1	7.31	7.31	OTROS (MATERIALES Y REPUESTOS)	54505	101286	286
7	2023	CAT-05	SC-PROD	PM01	EQUIPO	54505	Scoop Caterpillar R1600G N° 05	MATERIALES	SIST98	1006005	HF35539 (HF6097) FILTRO P/ACEITE DE TRANSMISION (1R0719) (SCOOP CAT)	1	6.74	6.74	FILTROS (AIRE,ACEITES, COMB)	54505	101249	249
7	2023	CAT-05	SC-PROD	PM01	EQUIPO	54505	Scoop Caterpillar R1600G N° 05	MATERIALES	SIST99	1612004	ACO. HEMBRA PREARMADO JIC 3/8 X 1/2	2	3.23	6.46	OTROS (MATERIALES Y REPUESTOS)	54505	101241	241
7	2023	CAT-05	SC-PROD	PM01	EQUIPO	54505	Scoop Caterpillar R1600G N° 05	MATERIALES	SIST99	1613091	ADAP. REDUCTOR HEMBRA JIC - MACHO JIC 3/8 X 1/4	2	2.91	5.82	OTROS (MATERIALES Y REPUESTOS)	54505	101241	241
7	2023	CAT-05	SC-PROD	PM01	EQUIPO	54505	Scoop Caterpillar R1600G N° 05	MATERIALES	SIST99	1613384	ADAP. TAPON MACHO ORFS 5/8	2	2.91	5.82	OTROS (MATERIALES Y REPUESTOS)	54505	101241	241
7	2023	CAT-05	SC-PROD	PM01	EQUIPO	54505	Scoop Caterpillar R1600G N° 05	MATERIALES	SIST99	1613003	ADAP. TAPON MACHO JIC 1/2	4	1.41	5.64	OTROS (MATERIALES Y REPUESTOS)	54505	101241	241
7	2023	CAT-05	SC-PROD	PM01	EQUIPO	54505	Scoop Caterpillar R1600G N° 05	MATERIALES	SIST99	1613032	ADAP. MACHO JIC X HEMBRA JIC 3/8 X 3/8	2	2.71	5.42	OTROS (MATERIALES Y REPUESTOS)	54505	101241	241
7	2023	CAT-05	SC-PROD	PM01	EQUIPO	54505	Scoop Caterpillar R1600G N° 05	MATERIALES	SIST99	1613241	ADAP. UNION HEMBRA NPT - HEMBRA NPT 1/8 X 1/8	2	2.1	4.2	OTROS (MATERIALES Y REPUESTOS)	54505	101241	241
7	2023	CAT-05	SC-PROD	PM01	EQUIPO	54505	Scoop Caterpillar R1600G N° 05	MATERIALES	SIST99	1604786	ADAPTADOR 2MP-2FP SELFLEX [561410202]	2	1.75	3.5	OTROS (MATERIALES Y REPUESTOS)	54505	101241	241
7	2023	CAT-05	SC-PROD	PM01	EQUIPO	54505	Scoop Caterpillar R1600G N° 05	MATERIALES	SIST99	1608255	GRASERA 90º 1/8 NPT	2	1.21	2.42	OTROS (MATERIALES Y REPUESTOS)	54505	101286	286
7	2023	CAT-05	SC-PROD	PM01	EQUIPO	54505	Scoop Caterpillar R1600G N° 05	MATERIALES	SIST99	1613201	ADAP. MACHO JIC - MACHO NPT 1/4 X 1/8	2	1.08	2.16	OTROS (MATERIALES Y REPUESTOS)	54505	101241	241
7	2023	CAT-05	SC-PROD	PM01	EQUIPO	54505	Scoop Caterpillar R1600G N° 05	MATERIALES	SIST99	1614061	MANGUERA NEUMÁTICA AIRE COMPRIMIDO 6MM	1	1.64	1.64	OTROS (MATERIALES Y REPUESTOS)	54505	101241	241
7	2023	CAT-05	SC-PROD	PM01	EQUIPO	54505	Scoop Caterpillar R1600G N° 05	MATERIALES	SIST99	1608251	GRASERA RECTA 1/8 NPT	2	0.71	1.42	OTROS (MATERIALES Y REPUESTOS)	54505	101286	286
7	2023	CAT-05	SC-PROD	PM01	EQUIPO	54505	Scoop Caterpillar R1600G N° 05	MATERIALES	SIST99	1608251	GRASERA RECTA 1/8 NPT	2	0.71	1.42	OTROS (MATERIALES Y REPUESTOS)	54505	101286	286
7	2023	CAT-05	SC-PROD	PM01	EQUIPO	54505	Scoop Caterpillar R1600G N° 05	MATERIALES	SIST99	1608262	GRASERA RECTA 6MM	1	1.11	1.11	OTROS (MATERIALES Y REPUESTOS)	54505	101286	286
7	2023	CAT-05	SC-PROD	PM01	EQUIPO	54505	Scoop Caterpillar R1600G N° 05	MATERIALES	SIST99	1608251	GRASERA RECTA 1/8 NPT	1	0.71	0.71	OTROS (MATERIALES Y REPUESTOS)	54505	101286	286
7	2023	CAT-06	SC-PROD	PM02	EQUIPO	54506	Scoop Cat R1600H N° 06	MATERIALES	SIST34	4504012	IV 8033 PIN	4	1539.1889	6156.75559	Sist equipamiento y chasis	54506	101241	241
7	2023	CAT-06	SC-PROD	PM02	EQUIPO	54506	Scoop Cat R1600H N° 06	MATERIALES	SIST34	4504027	BR-3932 COLLET	8	759.880365	6079.04292	Sist equipamiento y chasis	54506	101241	241
7	2023	CAT-06	SC-PROD	PM02	EQUIPO	54506	Scoop Cat R1600H N° 06	MATERIALES	SIST34	4504010	1V5635 BEARING SLIVE	4	685.627357	2742.50943	Sist equipamiento y chasis	54506	101241	241
7	2023	CAT-06	SC-PROD	PM03	EQUIPO	54506	Scoop Cat R1600H N° 06	MATERIALES	SIST31	4502201	3840011 WIRE AS	1	1057.00559	1057.00559	Sist electrico	54506	101241	241
7	2023	CAT-06	SC-PROD	PM02	EQUIPO	54506	Scoop Cat R1600H N° 06	MATERIALES	SIST34	4504030	9DE3215 SHIM 1.6M	8	105.867937	846.943496	Sist equipamiento y chasis	54506	101241	241
7	2023	CAT-06	SC-PROD	PM02	EQUIPO	54506	Scoop Cat R1600H N° 06	MATERIALES	SIST34	4504025	7K-9220 SEAL LIP	8	56.1339022	449.071218	Sist equipamiento y chasis	54506	101241	241
7	2023	CAT-06	SC-PROD	PM02	EQUIPO	54506	Scoop Cat R1600H N° 06	MATERIALES	SIST34	4504076	9DE3270 SHIM 3.00 MM	4	98.8239271	395.295708	Sist equipamiento y chasis	54506	101241	241

Nota: Formato tomado del archivo general de base de costos anuales de Cargadores de bajo Perfil de la Unidad Minera

Anexo D

Formato de control de Costos de mantenimientos de Cargadores de Bajo Perfil

CAT - 03													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
PREVENTIVO (REAL)	1,307.4	5,606.3	755.4	1,138.4	6,332.4	1,120.5	1,042.8	853.6	3,290.2	2,381.9	783.9	1,188.6	25,801.4
CORR. PROG. (REAL)	1,068.0	5,566.2	2,587.3	4,521.2	847.2	5,308.7	4,059.4	2,278.3	333.3	9,301.0	37,216.9	16,387.7	89,475.1
CORR. NO PROG. (REAL)	6,418.1	1,419.3	1,621.8	15,729.3	312.5	2,292.5	692.0	6,958.2	249.2	460.2	540.9	1,118.5	37,812.3
REPARACION (REAL)	0.0					3,126.2							3,126.2
PREVENTIVO (PLAN)	2,406.4	9,084.2	1,087.7	783.5	1,914.5	3,331.5	1,491.5	2,214.6	13,102.9	1,635.9	4,458.6	805.7	42,316.8
CORR. PROG. (PLAN)	1,229.9	28,840.5	2,991.1	0.0	983.7	1,772.1	1,474.4	16,865.7	11,062.2	4,879.9	2,651.2	1,037.0	73,787.7
CORR. NO PROG. (PLAN)													0.0
REPARACION (PLAN)													0.0
COSTO \$/ hora	60.6	37.3	14.5	67.1	32.5	56.6	29.1	37.4	14.2	40.8	219.9	80.1	51.5
\$ ACUM REAL	8,793.5	21,385.3	26,349.7	47,738.5	55,230.6	67,078.5	72,872.6	82,962.7	86,835.5	98,978.5	137,520.2	156,215.0	156,215.0
\$ REAL - MENSUAL	8,793.5	12,591.8	4,964.4	21,388.8	7,492.1	11,847.9	5,794.1	10,090.1	3,872.8	12,143.0	38,541.7	18,694.8	156,215.0
\$ ACUM PLAN	3,636.2	41,560.9	45,639.6	46,423.2	49,321.4	54,425.1	57,390.9	76,471.2	100,636.3	107,152.1	114,261.9	116,104.6	116,104.6
\$ PLAN - MENSUAL	3,636.2	37,924.6	4,078.8	783.5	2,898.2	5,103.7	2,965.8	19,080.3	24,165.0	6,515.8	7,109.8	1,842.7	116,104.6
HRS EQUIV	145.00	337.3	341.99	318.99	230.76	209.3	199.0	269.9	272.7	297.53	175.2	233.48	3,031.1

CAT - 04													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
PREVENTIVO (REAL)	4,522.6	1,087.9	3,005.7	9,529.8	2,802.6	1,199.0	671.7	1,546.0	6,446.4	2,457.2	2,185.0	123.9	35,577.7
CORR. PROG. (REAL)	301.5	674.4	756.5	739.9	578.1	14,221.7	15,441.3	1,097.4	17,317.6	10,579.1		2,885.9	64,593.3
CORR. NO PROG. (REAL)	3,153.5	4,103.4	3,344.7	1,610.9	1,165.9	319.2	5,903.5	3,221.6	121.9	9,789.8	776.3	609.7	34,120.4
REPARACION (REAL)	0.0						825.0						825.0
PREVENTIVO (PLAN)	13,431.7	2,120.1	1,777.2	1,700.3	1,579.3	2,405.1	4,608.4	1,096.3	1,486.4	944.8	1,092.7	14,283.4	46,525.8
CORR. PROG. (PLAN)	21,269.6	911.6	1,461.8	5,716.3	1,975.8	1,043.9	1,979.4	5,454.1	17,709.5	1,270.0	1,675.1	4,842.3	65,309.4
CORR. NO PROG. (PLAN)													0.0
REPARACION (PLAN)				28,000.0							28,000.0	28,000.0	84,000.0
COSTO \$/ hora	28.2	18.6	26.8	39.9	16.4	56.0	82.1	17.9	80.3	87.7	10.8	16.1	40.0
\$ ACUM REAL	7,977.6	13,843.2	20,950.1	32,830.7	37,377.4	53,117.2	75,958.6	81,823.6	105,709.5	128,535.6	131,496.8	135,116.4	135,116.4
\$ REAL - MENSUAL	7,977.6	5,865.6	7,106.9	11,880.5	4,546.7	15,739.8	22,841.4	5,865.0	23,885.9	22,826.1	2,961.3	3,619.6	135,116.4
\$ ACUM PLAN	34,701.3	37,733.0	40,972.0	76,388.6	79,943.7	83,392.6	89,980.4	96,530.8	115,726.7	117,941.6	148,709.4	195,835.2	195,835.2
\$ PLAN - MENSUAL	34,701.3	3,031.6	3,239.0	35,416.6	3,555.1	3,448.9	6,587.8	6,550.4	19,196.0	2,214.8	30,767.8	47,125.8	195,835.2
HRS EQUIV	283.08	316.1	264.98	298.01	278.02	281.0	278.2	326.9	297.4	260.35	273.3	224.30	3,381.6

Nota: Formato tomado del archivo general de control de costos anuales de Cargadores de bajo Perfil de la Unidad Minera

Anexo E

Propuestas de Reemplazo por Fabricantes de Cargadores de Bajo Perfil

	EPIROC	CATERPILLAR	SANDVIK
Capacidad de carga	10000Kg	10200 Kg	10000 kg
Cuchara estándar	6.0 yd3	(4.8 m3) (6.3 yd3)	(5.0 m3) (6.54 yd3)
Motor diésel	Cummins QSL9 de 250 HP , Tier 3.	Motor: Caterpillar Modelo: C11 ACERT ATAAC Norma: TIER II Tecnología Ventilación Reducida Potencia: 271 HP (200 Kw)- 2,100 RPM Cilindrada: 11.1 litros Motor preparado para altura 4,500 msnm Tanque de Combustible: 730 L (192.9 gal) Torque Max Nm: 1,353 @ 1,200 rpm Purificador catalítico y silenciador	Motor:Volvo Modelo:TAD1140VE Potencia: 315 hp @ 2100 rpm Torque: 1568 Nm @ 1300 rpm Número de cilindros: 6 en línea Cilindrada: 10.84 l Turbo intercooler Tier II Sistema catalítico Silenciador
Transmission	Power shift con convertidor integrado y 4 velocidades, Funk DF250	Convertidor integrado con caja Up drive Transmisión Automática : Caterpillar Modelo: D8R Velocidades: 4 adelante y 4 reversa Velocidad 1 marcha: 5.0 km/h-5.7 km/h Velocidad 2 marcha: 8.7 km/h-9.9 km/h Velocidad 3 marcha:15.2 km/h-17.2 km/h Velocidad 4 marcha:22.1 km/h-23.8 km/h	Convertidor Dana con sistema Lock-up Transmisión de 4 velocidades Marca Dana Velocidades: 4 adelante y 4 reversa Velocidad 1 marcha: 5.3 km/h-5.5 km/h Velocidad 2 marcha: 9.9 km/h-10.2 km/h Velocidad 3 marcha: 15.0 km/h-17.5 km/h Velocidad 4 marcha: 25.5 km/h-31.7 km/h
Ejes	Kessler D102	Marca: Caterpillar Servicio: Minero Pesado Modelo: 970F Eje Delantero: Rígido Eje Posterior: Oscilante (+/- 10°)	Kessler D102 Sistema antipatinaje Frenos Posi-Stop
Neumaticos	18R25 Michelin, Slick	Neumáticos mineros: 18 x 25 – 32 ply L5S	Tires 18.00x25 L5S
Tablero de mando	Display multifunción en cabina	Pantalla digital muestra la información de motor y sistema hidráulico: Horómetro Tacómetro digital Presión de aceite	Display Multifuncional a colores: Se puede ver códigos de falla y señales para diagnóstico Se puede realizar comprobación del sistema de frenado Se puede descargar reportes a través de USB o conexión con celular directo Knowledge Box (caja negra de datos)
Cabina	Foot box manejo (Manejo con piernas es	Cabina original de fábrica tipo cerrada ROPS/FOPS. (opcional cabina abierta) Visibilidad Bidireccional Frontal, y para atrás Asiento del Operador Amortiguado y Ajustable Pedal de aceleración, frenado y neutralizador	Certificación ROPS según EN ISO 3471 Certificación FOPS según EN ISO 3449 Cabina cerrada, con supresión de ruido y sobrepresurizada con aire acondicionado y calefacción
Sistema de freno	SAHR	Freno de Servicio: Múltiple de Disco hermético inmerso en aceite	Sistema POSI-STOP (SAHR)
Tacos	Si	No	No
Circulina	Si	Si	Si
Alarma de retroceso	No	Si	Si
Cámara de retroceso	Si	No	Si
Extintor manual	Si	Si	Si
Llanta de repuesto	01 llanta de repuesto	01 llanta de repuesto	01 Aro de repuesto
Dimensiones (Ancho x Alto x Largo)	Dimensiones : 2.54x2.35x 9.69 m	2.56x2.40x10.10 m	2.50 x 2.37 x 9.8
Control remoto	No	No indica	Sistema de control remoto HBC
Periodo de vida	5 años	5 años	6 años

Nota: Propuestas realizadas de empresas proveedoras de cargadores de bajo perfil

Anexo F

Matriz de Consistencia – Modelo de Vida Remanente para Optimizar el Reemplazo de un Cargador de Bajo Perfil en una Compañía Minera Subterránea

Problema General:	Objetivo General:	Hipótesis General:	Variables
¿De qué manera realizar el reemplazo de un cargador de bajo perfil en una compañía minera subterránea?	Proponer un modelo de vida remanente para mejorar el reemplazo óptimo de un cargador de bajo perfil en una compañía minera subterránea	El modelo de vida remante influye en la mejora de reemplazo de un cargador de bajo perfil en una compañía minera subterránea	VI: modelo de vida remante VD: Reemplazo de cargador de bajo perfil
Problemas Específicos:	Objetivos Específicos:	Hipótesis Específicas:	Variables:
1. ¿De qué manera una matriz puede influir en la decisión de reemplazo de los cargadores de bajo perfil en una compañía minera subterránea?	1. Realizar una matriz de criticidad de los equipos que conforman los cargadores de bajo perfil en una compañía minera subterránea.	1. La matriz de criticidad mejora la identificación del cargador más crítico en la flota de cargadores de bajo perfil en una compañía minera subterránea.	VI: Matriz de criticidad VD: Selección del cargador de bajo perfil.
2. ¿De qué manera analizar los eventos de falla por antigüedad en los cargadores de bajo perfil en una compañía minera subterránea?	2. Preparar el número de eventos de falla por equipo de la flota de cargadores de bajo perfil en una compañía minera subterránea.	2. Mostrar el equipo que presenta los mayores eventos de fallas por antigüedad en la flota de cargadores de bajo perfil en una compañía minera subterránea.	VI: Tasa de fallas VD: Numero de equipos

3. ¿De qué manera identificar los equipos que sobrepasan el valor de compra de un equipo nuevo de bajo perfil?	3. Identificar por un diagrama de Pareto los equipos que tienen mayor costo de consumo de repuestos y requerimientos	3. La identificación de costos permite saber que cargadores de bajo perfil sobrepasan el costo de \$ 620000 (Equipo nuevo).	VI: Costo de equipo nuevo VD: Costos de repuestos y requerimientos
4. ¿De qué manera corroborar la efectividad implementada en los cargadores de bajo perfil en una compañía minera subterránea?	4. Realizar el seguimiento del modelo de mantenimiento de un cargador de bajo perfil en una compañía minera subterránea.	4. La simulación del modelo de vida remanente mejora la reducción de eventos de falla y costos de mantenimientos.	VI: modelo de vida remanente VD1: Reducción de tasas de fallas. VD2: Reducción de costos