



Propuesta Para La Gestión Eficiente De Activos Con Un Horizonte De Cierre De Operaciones De 10 Años.

Jorge David Molina Medina
Julio Enrique Cala Cala

Monografía presentada para optar al título de Especialista en Gestión de Activos

Tutor:
Juan Carlos Orrego Barrera

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería
Especialización en Gestión de Activos
Medellín, Antioquia, Colombia
2023

Cita (Molina Medina & Cala Cala, 2023)

Referencia Molina Medina, J. D., & Cala Cala, J. E. (2023). *Propuesta Para La Gestión Eficiente De Activos Con Un Horizonte De Cierre De Operaciones De 10 Años.*

Estilo APA 7 (2020) [Trabajo de grado especialización]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.



Especialización en Gestión de Activos.



Centro de Documentación de Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes.

Decano: Francisco Vargas

Jefe departamento: Pedro león Simancas

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

Este nuevo logro en mi vida profesional y laboral va dedicado principalmente a Dios y a mi familia e hijos que entendieron que para lograrlo se requería de su apoyo y comprensión por el tiempo dedicado a la especialización que demandó el uso de esos espacios que normalmente eran para ellos.

Jorge David Molina Medina

Dedico esta especialización a mi familia, esposa e hijos que me inspiran cada día a superarme y que puedan ver un ejemplo de constancia y superación para ser mejor personal y profesionalmente.

Julio Enrique Cala Cala

Agradecimientos

Nuestro sincero agradecimiento a la Universidad de Antioquia que nos seleccionó acogió como sus estudiantes para darnos la formación que nos permite tener una herramienta valiosa para el desarrollo de nuestro trabajo. A todos los excelentes profesores que tuvimos en el curso de esta especialización por su paciencia y disposición para compartir el conocimiento.

Agradecemos a la Carbones del Cerrejón Limited, la compañía en que trabajamos, por el espacio cedido y el apoyo financiero para nuestra formación en esta prestigiosa Universidad. Estamos seguros de que lo aprendido nos ayudara a generar valor para el cumplimiento de los objetivos corporativos

Nuestro especial agradecimiento a nuestro tutor y profesor Juan Carlos Orrego, por su disposición a ayudarnos y su entrega para sacar adelante esta especialización y nuestro trabajo monográfico.

Jorge David Molina Medina

Julio Enrique Cala Cala

Tabla de contenido

Resumen	12
Abstract	13
Introducción	14
1. Planteamiento del problema	16
2. Objetivos	19
2.1 Objetivo general	19
2.2 Objetivos específicos.....	19
3. Marco teórico	20
3.1 Activos	21
3.2 Gestión de Activos	21
3.3 Gestión Eficiente de Activos.....	21
3.4 Ciclo de Vida del Activo.....	22
3.5 Costo de Ciclo de Vida del Activo.....	22
3.6 Costos Programados	24
3.7 Costo nominal	24
3.8 Mantenimiento Planificado	25
3.9 Costos No Programados	25
3.10 Mantenimiento No Planificado	25
3.11 Capex.....	26
3.12 Opex	26
3.13 Valor Presente Neto	26
3.14 Confiabilidad.....	27
3.15 Tiempo Medio entre Fallas MTBF.....	28
3.16 Costos De Oportunidad	29

3.17 Puente grúa.....	30
5. Estado del arte	34
5.1 Normas Para Selección De Puente Grúas	36
5.1.1 Norma ANSI/ASME B30.2:	37
5.1.2 Norma CMAA 70:	37
5.1.3 Norma OSHA (Occupational Safety and Health Administration):.....	37
5.1.4 Norma ISO 430.....	37
5.1.5 La Norma DIN 15018	37
6. Resultados Esperados.....	38
6.1 Desarrollo Técnico	38
6.2 Evaluación Preliminar	38
6.3 Consideraciones Generales	39
6.4 Análisis Económico.....	40
6.5 Descripción Y Análisis De Alternativas Propuestas	40
6.6 Alternativa Overhaul	40
6.7 Alternativa Reemplazo De Puente Grúa.	48
6.8 Alternativa De Reemplazo - Puente Grúa Homologado Al Existente	48
6.8.1 Variador de frecuencia en la traslación del Trolley:.....	50
6.9 Alternativa De Reemplazo Por Puente Grúa Calculado.....	51
6.9.1 Criterios de selección	51
6.10 Proceso De Selección	53
6.11 Cálculos.....	54
6.12 Análisis De riesgos De Alternativas.....	57
6.13 Regulaciones Mandatorias	57
6.13.1 Calculo de Confiabilidad Y Disponibilidad De Alternativas	58

6.13.2 Datos de entrada.....	59
6.14 Resultados	62
6.15 Análisis del Costo Del Ciclo De Vida.....	62
6.16 Evaluación de Alternativas.....	64
6.17 Evaluación De Inversiones	65
7. Conclusiones	65
Referencias	67

Lista de tablas

Tabla 1. Resumen de la clasificación de servicio de la CMAA-74 en función de los ciclos de carga y el % de carga a levantar.....	32
Tabla 2. Actividades de Reemplazo de Componentes eléctricos de tablero eléctrico de potencia y control.....	41
Tabla 3. Trabajos eléctricos y repuestos requeridos.....	42
Tabla 4. Otros trabajos eléctricos en banco de resistencia.....	43
Tabla 5. Trabajos Mecánicos y repuestos requeridos.....	43
Tabla 6. Trabajos de conexión, pruebas operativas y entrega de equipo al cliente.....	45
Tabla 7. Resumen De Tiempos De Planeación Y Ejecución De Overhaul.....	46
Tabla 8. Costo de Mano de Obra y Repuestos Alternativa Overhaul de Puente grúa.....	47
Tabla 9. Costo Adicionales Alternativa Overhaul.....	47
Tabla 10. Oferta Comercial Opción Reemplazo Equipo Homologado al Existente.	51
Tabla 11. Clasificación de la grúa de acuerdo con el espectro de carga.....	53
Tabla 12. Oferta Comercial Opción Reemplazo POR Equipo Calculado.....	56
Tabla 13. tiempo medio entre fallas para cálculo de Beta.....	59
Tabla 14. estimación del OPEX del equipo 4003500.....	62

Lista de Ilustraciones

Ilustración 1. Fases del ciclo de vida.....	23
Ilustración 2. Comportamiento del Costo durante el Ciclo de Vida de un Activo.....	23
Ilustración 3. Metodología evaluación de riesgos a utilizar. Elaboración propia a partir de normas ISO 31000 y 31010.....	27
Ilustración 4. Puente Grúa Birriel y sus partes.....	30
Ilustración 5. Clasificación de la grúa basado en porcentaje de carga izada y tiempo de operación.....	54
Ilustración 6. Clasificación del Hoist basado en tiempo promedio de operación diaria y espectro de carga.....	55
Ilustración 7. Cuadro de cálculo de valores de confiabilidad.....	60
Ilustración 8. Costos de desincorporación de equipo actual.....	64
Ilustración 9. Análisis del Costo del Ciclo de Vida Equipo Nuevo/Equipo Actual.....	65

Lista De Ecuaciones

Ecuación 1. Costo Del Ciclo De Vida23

Ecuación 2. Tiempo Medio Entre Fallas.28

Ecuación 3. Tiempo Medio Para Reparar.28

Ecuación 4. Valor Presente Neto (VPN)29

Ecuación 5. Costo Anual Equivalente29

Ecuación 6. Espectro de Carga.54

Lista de Gráficos

Gráfica 1. representación gráfica de datos utilizando regresión lineal.60

Gráfica 2. Representación gráfica de costos de mantenimiento.63

Resumen

Para mantener la competitividad en el sector minero energético en el actual contexto geopolítico, donde muchos países consumidores de carbón están transitando hacia fuentes de energías sostenibles y los precios se ven influenciados por conflictos bélicos temporales, se plantea un desafío significativo para las compañías de este sector. Esto las obliga a tomar decisiones de inversión sumamente complejas que se ajusten a las necesidades reales del negocio sin descuidar los riesgos asociados a un entorno tan volátil.

En este escenario, es esencial que la compañía asegure la optimización y la prolongación del ciclo de vida de sus activos siendo costos efectivos en el OPEX y CAPEX para garantizar que estos cumplan con los requerimientos de la operación hasta el final de las operaciones.

El desarrollo de esta monografía propone una metodología sólida para el análisis del costo de ciclo de vida de los puentes grúas de los talleres de mantenimiento de flota minera y poder tomar la mejor decisión de gestión eficiente de estos activos, ya sea para extensión de vida útil o reemplazo. La gestión eficiente de activos no solo conlleva beneficios económicos, sino que también tiene un impacto positivo en la salud y seguridad de los activos y de las personas involucradas en su operación y mantenimiento.

Palabras clave: CAPEX, OPEX, costo de ciclo de vida, activo, gestión eficiente, puente grúa.

Abstract

To maintain competitiveness in the mining-energy sector in the current geopolitical context, where many coal-consuming countries are transitioning to sustainable energy sources, and prices are influenced by temporary military conflicts, a significant challenge is posed for companies in this sector.

This compels them to make highly complex investment decisions that align with the real needs of the business without neglecting the risks associated with such a volatile environment. In this scenario, it is essential for the company to ensure the optimization and extension of the lifecycle of its assets, while being cost-effective in both OPEX and CAPEX, to ensure that they meet the operational requirements until the end of operations.

The development of this monograph proposes a robust methodology for the analysis of the life cycle cost of overhead cranes in the maintenance workshops of the mining fleet, with the aim of making the best decision for the efficient management of these assets, whether for extending their useful life or replacement. Efficient asset management not only brings economic benefits but also has a positive impact on the health and safety of the assets and the people involved in their operation and maintenance.

Keywords: CAPEX, OPEX, life cycle cost, asset, efficient management, overhead Cranes.

Introducción

En el complejo escenario actual de Cerrejón, la gestión eficiente de activos ha emergido como una prioridad insoslayable que busca no solo maximizar el valor de las inversiones sino también garantizar el éxito sostenible de sus operaciones a lo largo de su ciclo de vida. Dentro de este proceso, la fase de adquisición de activos desempeña un papel insustituible, ya que las elecciones efectuadas en esta etapa inicial inciden de manera considerable en el rendimiento global y la rentabilidad de los activos en el largo plazo.

El propósito fundamental de esta propuesta monográfica es sumergirse a fondo en los elementos cruciales de la gestión eficiente de activos durante la etapa de adquisición. Exploraremos en detalle conceptos primordiales relacionados con la selección y valoración de activos, así como las estrategias y mejores prácticas delineadas en la norma ISO 5500X que permiten tomar decisiones fundamentadas y acertadas en este proceso fundamental.

Uno de los enfoques fundamentales de este análisis es la identificación precisa de las necesidades y requisitos específicos de los activos, en perfecta consonancia con los objetivos estratégicos de la organización. Además, profundizaremos en la variedad de fuentes de información disponibles para evaluar las opciones de adquisición. Entre estas fuentes, se incluyen proveedores confiables, fabricantes reconocidos, estudios de mercado exhaustivos y análisis de costos minuciosos. Cada uno de estos elementos desempeña un papel esencial en la toma de decisiones respecto a la adquisición de activos.

Asimismo, en la evaluación de los activos, se considerarán factores cruciales como el rendimiento, la calidad, la durabilidad y la vida útil de los mismos. Estos elementos se tornan aún más relevantes en el contexto actual Cerrejón, que se encamina hacia el cierre de sus operaciones en el año 2034. En consecuencia, las elecciones en cuanto a la adquisición de activos deben alinearse de manera precisa tanto con las operaciones presentes como con las futuras.

Para respaldar una toma de decisiones sólida, se explorarán diversos enfoques analíticos, tales como el análisis de costo-beneficio, el análisis de riesgos, análisis de confiabilidad, disponibilidad, demanda de utilización y el análisis de ciclo de vida. Cada uno de estos métodos brinda una perspectiva única y valiosa que contribuye a la formación de una estrategia de adquisición de activos sólida y eficaz.

Esta investigación se enfoca en destacar la importancia de la etapa de adquisición en la gestión eficiente de activos en Cerrejón. Se busca proporcionar un marco sólido para la toma de decisiones, basado en la norma ISO 5500X, que permita a la organización optimizar sus inversiones, asegurar la continuidad de sus operaciones y enfrentar los desafíos presentes y futuros de manera efectiva.

1. Planteamiento del problema

En Cerrejón, una de las minas de carbón a cielo abierto más grandes del mundo, algunos equipos industriales bajo la supervisión de la Unidad Autónoma de Servicio (UAS) de Mantenimiento Industrial, en particular algunos puentes grúas, se encuentran cerca de alcanzar el final de su vida útil. Aunque se han logrado reemplazar o modernizar la mayoría de estos Activos, es imperativo abordar la necesidad del reemplazo de los demás equipos, ya que son esenciales para el mantenimiento de la flota minera, incluyendo camiones de acarreo de carbón, camiones de estéril, tractores de oruga, cargadores, moto traíllas, tanqueros de riego de vías, entre otros. Cabe destacar que la empresa ha iniciado el proceso de cierre de la mina, el cual está programado para culminar en el año 2034. Conforme se avance en este proceso, las metas de producción disminuirán gradualmente.

Una de las tareas primordiales en el proceso de cierre de la mina implica el relleno de tajos y la rehabilitación de tierras, para lo cual se hace necesario el uso extensivo de la flota de camiones, cargadores y motoniveladoras, que requieren mantenimiento en los talleres permanentes. Por lo tanto, es esencial que los hangares de mantenimiento estén plenamente habilitados con todas sus instalaciones y equipos, siendo los puentes grúas uno de los elementos fundamentales en este contexto. La mayoría de estos puentes grúas deben mantenerse operativos durante aproximadamente 10 años, tiempo necesario para un escenario de cierre de operaciones a mediano plazo. Es importante resaltar que no es una opción viable mantener los equipos actuales sin tomar medidas, dado que la disponibilidad de repuestos es cada vez más limitada. En algunos casos, se recurre a utilizar piezas de los equipos ya reemplazados para realizar el mantenimiento, pero esta estrategia tiene sus limitaciones.

En el contexto de la toma de decisiones relacionadas con el reemplazo de activos, se presentan tres alternativas disponibles. La primera alternativa consiste en extender el período de uso de los activos actuales, la segunda opción implica la retirada inmediata de los activos existentes para ser reemplazados por otros nuevos de clasificación para trabajo pesado como los actualmente instalados (confiabilidad alta) con costo de inversión alto y la tercera retirada de los activos existentes para ser reemplazados por otros nuevos de clasificación y inversión más baja. Es importante señalar que el término "reemplazo" abarca una variedad de situaciones dentro del campo

de la ingeniería económica, y su aplicación no se limita a duplicar equipos al final de su vida útil ni a una sustitución idéntica. Además, no es necesario que el nuevo equipo sea idéntico al equipo actual en todos los aspectos, pero debe cumplir con las necesidades operativas y estar en consonancia con el contexto particular de la mina.

En vista de lo anterior, la selección de nuevos equipos u otras alternativas, basada en el contexto descrito, debe llevarse a cabo siguiendo rigurosamente las metodologías proporcionadas por la norma ISO 5500X, con un enfoque en el costo del ciclo de vida del activo en relación con la duración de las operaciones mineras.

Este planteamiento del problema sienta las bases para una investigación exhaustiva que abordará las decisiones críticas relacionadas con el reemplazo de activos, considerando el contexto de cierre de la mina, las metas de producción en declive y las limitaciones de disponibilidad de repuestos.

Pregunta del Problema principal: ¿Cuál es la estrategia de reemplazo más efectiva para los puentes grúas, considerando las metas de producción en declive y el proceso de cierre de la mina hasta el año 2034, con el objetivo de maximizar la disponibilidad y eficiencia operativa mientras se controlan los costos?

Preguntas de los Problemas secundarias:

1. ¿Cuál es la vida útil restante de los puentes grúas?
2. ¿Cuáles son las alternativas de reemplazo disponibles para los puentes grúas, teniendo en cuenta la fabricación limitada de repuestos y la necesidad de mantener la disponibilidad de los equipos actualmente instalados?
3. ¿Cuáles son los costos asociados con la extensión del período de uso de los activos actuales en comparación con la adquisición de nuevos equipos?
4. ¿Cómo se alinea la estrategia de reemplazo con las metas de producción en declive de la mina hasta el cierre en 2034?
5. ¿Cuáles son las implicaciones ambientales y regulatorias asociadas con las decisiones de reemplazo de activos en el contexto del proceso de cierre de la mina?
6. ¿Cuáles son las mejores prácticas de la ISO 5500X que pueden aplicarse para evaluar y tomar decisiones sobre el reemplazo de activos en este contexto específico?

7. ¿Cómo se pueden integrar las necesidades de confiabilidad y mantenimiento de la flota de camiones, cargadores y motoniveladoras con las decisiones de reemplazo de los puentes grúas y otros equipos en los talleres permanentes?

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Desarrollar una propuesta metodológica sólida para la toma de decisiones de inversión en la sustitución de puentes grúas en busca de maximizar la eficiencia operativa, optimizar costos y garantizar la disponibilidad de activos hasta el cierre de la mina en 2034.

2.2 Objetivos específicos

- *Evaluar el Estado Actual de los Equipos Clave:* realizar un análisis detallado de los puentes grúas en términos de su vida útil actual, condiciones operativas y mantenimiento histórico.
- *Identificar Alternativas de Reemplazo:* investigar y documentar las alternativas disponibles para el reemplazo de los equipos, incluyendo la adquisición de nuevos equipos, la modernización de los equipos existentes y la posibilidad de utilizar repuestos disponibles..
- *Analizar los Costos y Beneficios:* calcular los costos operativos y de mantenimiento asociados con la prolongación del uso de los equipos actuales frente a la adquisición de nuevos equipos.
- *Diseñar una Estrategia de Reemplazo:* evaluar los costos del ciclo de vida de los activos para determinar momentos oportunos de renovación y optimizar los costos de mantenimiento implementando las mejores prácticas de la norma ISO 5500X para la gestión de activos en el contexto de la industria minera.
- *Evaluar el Impacto en la Operación:* evaluar cómo las decisiones de reemplazo de activos afectarán la eficiencia y disponibilidad de la flota minera en el proceso de cierre de la mina hasta 2034.
- *Recomendaciones y Conclusiones:* concluir con recomendaciones basadas en el análisis y la metodología desarrollada, destacando la estrategia de reemplazo más efectiva en el contexto de Cerrejón

3. Marco teórico

En el panorama actual, donde la sostenibilidad ambiental y la rentabilidad técnico-económica son imperativos para las compañías del sector minero energético, resulta crucial que estas realicen un análisis exhaustivo del costo del ciclo de vida al considerar diversas soluciones para garantizar la continuidad de sus operaciones. El análisis de los costos del ciclo de vida se presenta como una herramienta fundamental que se basa en principios económicos, técnicos, ambientales, de seguridad física y de salud en el trabajo y su principal objetivo es ayudar a las organizaciones a seleccionar las opciones más apropiadas en cualquier etapa del ciclo de vida de un activo, ya sea para evaluar inversiones, determinar la viabilidad de mantener los activos existentes, evaluar la necesidad de implementar nuevas soluciones o identificar áreas que generen costos.

Este análisis no se limita únicamente a aspectos económicos; va mucho más allá. Además de evaluar los aspectos financieros, aborda aspectos técnicos para garantizar la viabilidad operativa de las soluciones propuestas, analizando cómo cada alternativa afecta las partes interesadas. La seguridad física y la salud en el trabajo son consideraciones igualmente importantes, ya que se busca minimizar riesgos para los trabajadores y mantener un ambiente de trabajo seguro durante la operación y mantenimiento de los activos.

En esencia, el análisis de costos del ciclo de vida se convierte en una brújula que guía a las empresas hacia soluciones efectivas y sostenibles. Desde la evaluación de las opciones de inversión más prometedoras hasta la identificación de factores que generan costos innecesarios, esta herramienta desempeña un papel esencial en la toma de decisiones estratégicas. Asegura no solo la continuidad del negocio, sino también su adaptación a los desafíos cambiantes del entorno empresarial actual, donde el equilibrio entre rentabilidad, responsabilidad ambiental y seguridad es cada vez más crítico.

Para el desarrollo de este trabajo de monografía se recopiló información de distintas fuentes. Se parte del contexto del problema asociado a la investigación y que se relacionan con los conceptos y aplicaciones de la gestión de activos, análisis del costo de ciclo de vida de un activo, gestión de mantenimiento y análisis de reemplazo masado en normas y metodologías más usadas.

Algunas definiciones importantes para este desarrollo se describen a continuación

La norma ISO 55000 y la norma PAS 55 definen un activo como recurso, elemento, entidad o cosa que posea un valor actual o potencial para una organización. (ISO 55000/PAS 55, 2014).

Por otro lado, la Norma ISO 15663:2021 lo define como un recurso propiedad de una empresa cuyo objetivo principal es generar ingresos o aumentar el valor (ISO 15663:2021, 2021).

3.1 Activos

Los activos pueden ser físicos, financieros, intangibles o combinaciones de ellos. Esta definición es amplia y reconoce que los activos pueden tomar muchas formas diferentes, y que pueda implicar riesgos u obligaciones. Por ejemplo, los activos físicos pueden incluir maquinaria, edificios, vehículos, equipos de TI, entre otros. Los activos financieros pueden incluir inversiones, valores y otros instrumentos financieros. Los activos intangibles pueden incluir marcas, patentes, derechos de autor y otros derechos de propiedad intelectual.

3.2 Gestión de Activos

Son las actividades y prácticas coordinadas y sistemáticas a través de las cuales una organización maneja óptima y sustentablemente sus activos y sistemas de activos, su desempeño y sus riesgos asociados a lo largo de sus ciclos de vida con el propósito de lograr su plan estratégico organizacional (ISO 55000, 2014)

El objetivo principal de la gestión de activos es maximizar el valor que los activos generan para la organización en el largo plazo, a través de la implementación de un proceso sistemático y estructurado que incluye la planificación, la adquisición, la operación y el mantenimiento de los activos, así como la disposición de estos cuando ya no sean necesarios.

3.3 Gestión Eficiente de Activos

La gestión eficiente de activos se refiere a la capacidad de una organización para maximizar el valor de sus activos con los recursos disponibles, reducir los costos y los riesgos asociados con su gestión y mejorar la toma de decisiones.

3.4 Ciclo de Vida del Activo

El ciclo de vida del activo es el período completo que abarca desde la identificación de la necesidad de acuerdo con los objetivos de la organización hasta su disposición final.

En otras palabras, es el período desde que se concibe la idea de adquirir un activo hasta que se desecha o se retira del servicio

La etapa de adquisición es una fase crucial en el ciclo de vida de los activos, ya que en esta etapa se establecen las bases para el desempeño futuro de los mismos, se establecen los criterios para seleccionar a los proveedores y se evalúa su capacidad para suministrar activos de acuerdo con las necesidades reales de la organización.

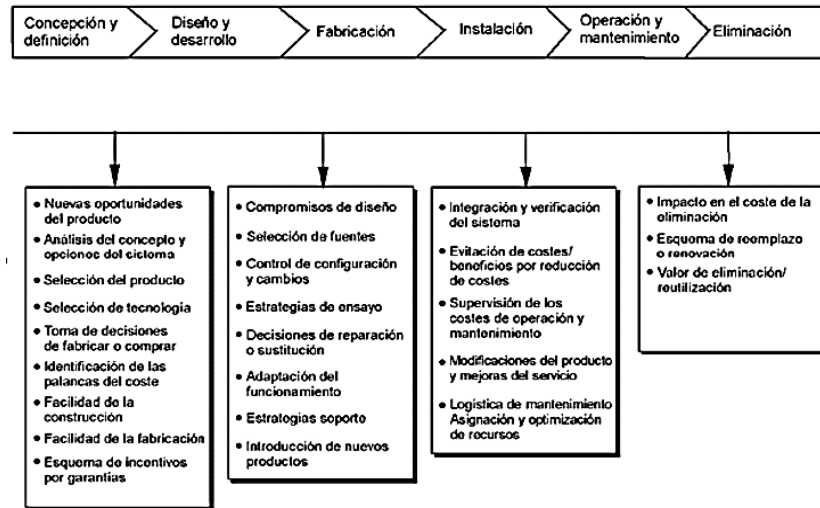
3.5 Costo de Ciclo de Vida del Activo

El objetivo del análisis del costo de ciclo de vida es evaluar y comprender de manera integral los costos totales asociados con un activo a lo largo del tiempo, lo que permite a las organizaciones tomar decisiones informadas sobre adquisiciones, mantenimiento, modernización y retiro de activos. Esto contribuye a una gestión más eficiente de los recursos y a la optimización de la inversión.

El cálculo del coste del ciclo de vida es el proceso de análisis económico para determinar el coste total de adquisición, propiedad y eliminación de un producto. Puede aplicarse al ciclo de vida completo del producto o a partes o combinaciones de diferentes fases de su ciclo de vida (UNE-EN 60300-3-3, 2009).

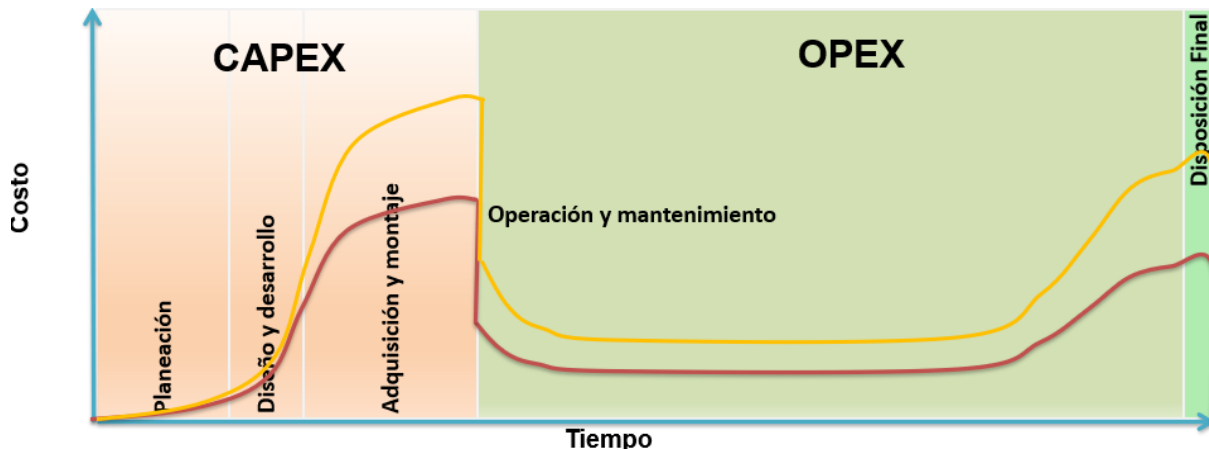
Es fundamental para el concepto del cálculo del coste del ciclo de vida una comprensión básica del ciclo de vida de un producto y de las actividades a realizar durante esas fases. También es esencial la comprensión de las relaciones de esas actividades para el funcionamiento, seguridad, fiabilidad, mantenibilidad y otras características del producto que contribuyen al coste del ciclo de vida.

Ilustración 1. Fases del ciclo de vida.



Nota: Ejemplo de las aplicaciones del cálculo del costo de ciclo de vida. *Fuente:* (UNE-EN 60300-3-3, 2009).

Ilustración 2. Comportamiento del Costo durante el Ciclo de Vida de un Activo.



Nota: El gráfico representa el comportamiento del costo durante el ciclo de vida de un activo.

Fuente: (J. Orrego Barrera, P. Silva Ardila, 2016)

El costo del Ciclo de Vida se calcula de la siguiente manera:

Ecuación 1. Costo Del Ciclo De Vida

$$CCV = \sum CI + CO + CMP + CTPC + CMM - VR$$

Donde,

CCV - Costo del Ciclo de Vida

CI - Costo de la inversión inicial.

CO - Costo operacionales.

CMP - Costo de Mantenimiento Planificado.

CTPC - Costo por baja confiabilidad. (Correctivo +penalización)

CMM - Costo por mantenimiento mayor.

VR - Valor de salvamento o de reventa.

3.6 Costos Programados

Los costos programados son aquellos costos planificados y programados en el ciclo de vida del activo, en mayor proporción estos están asociados a costos de mantenimiento planificado. Estos costos se establecen en la etapa de planificación y se programan en el tiempo, generalmente a lo largo del ciclo de vida del activo y permiten una mejor planeación financiera y toma de decisiones de acuerdo con el contexto del negocio.

Los responsables de la gestión de activos pueden anticipar y planificar los costos necesarios para mantener el activo en buen estado de funcionamiento, prolongar su vida útil y garantizar su disponibilidad.

3.7 Costo nominal

Es el precio que se paga por algo en el momento en que se realiza la transacción, sin tomar en cuenta la pérdida de poder adquisitivo de la moneda a lo largo del tiempo

La disponibilidad es un factor crítico para la eficiencia y la efectividad de la gestión de activos, ya que un activo no disponible puede causar interrupciones en los procesos, retrasos en la producción y costos adicionales.

3.8 Mantenimiento Planificado

El mantenimiento planificado es una actividad de mantenimiento planificada y periódica que se lleva a cabo en un activo con el objetivo de prevenir fallas y prolongar su vida útil. Este tipo de mantenimiento se planifica en función de los intervalos de tiempo o de uso, y se realiza independientemente del estado del activo. Permite mantener los activos en buen estado de funcionamiento, reducir el riesgo de fallas y prolongar su vida útil. Además, el mantenimiento programado también ayuda a mejorar la seguridad y la eficiencia en el lugar de trabajo, al reducir el riesgo de accidentes y garantizar que los activos estén funcionando de manera óptima.

El mantenimiento programado puede ser preventivo y se realiza antes de que se produzca una falla en el activo, con el objetivo de prevenir su aparición o predictivo el cual se basa en la monitorización y análisis del comportamiento del activo en tiempo real, con el objetivo de detectar cualquier anomalía o desviación en su funcionamiento que pueda indicar una posible falla en el futuro.

3.9 Costos No Programados

Son aquellos costos asociados a mantenimiento no programado asociados a baja confiabilidad, por lo general este tipo de costos va en aumento con el correr de las horas operativas de los activos, esto se explica por el incremento del deterioro de componentes críticos y malas prácticas operacionales.

3.10 Mantenimiento No Planificado

El mantenimiento no planificado es aquel que se realiza en un activo de manera imprevista, debido a una falla o avería inesperada en el mismo. Este tipo de mantenimiento se realiza cuando surge la necesidad de reparar o reemplazar un componente o parte del activo que ha dejado de funcionar correctamente.

Las actividades no programadas pueden ser costosas debido a que se aplican medios y recursos de forma desordenada aumentando los costos de mano de obra reparaciones y componentes

3.11 Capex

El CAPEX (Capital Expenditure) se refiere a la inversión que realiza una empresa en la adquisición o mejora de activos a largo plazo, como maquinarias, edificios, terrenos, equipos, entre otros, con el fin de aumentar la capacidad o eficiencia de una compañía.

El CAPEX es una parte importante de la planificación financiera de una empresa, ya que requiere una inversión significativa de recursos financieros y puede afectar la capacidad de la empresa para generar flujo de caja y obtener beneficios en el futuro. Por esta razón, la gestión adecuada del CAPEX es fundamental para el éxito financiero a largo plazo de una empresa.

3.12 Opex

El OPEX (Operating Expenditure) hace referencia a los costos continuos que deben ser realizados para mantener el funcionamiento de un negocio es decir se refiere a los costos asociados con el mantenimiento de equipos y gastos de consumibles necesarios para la producción y funcionamiento del negocio.

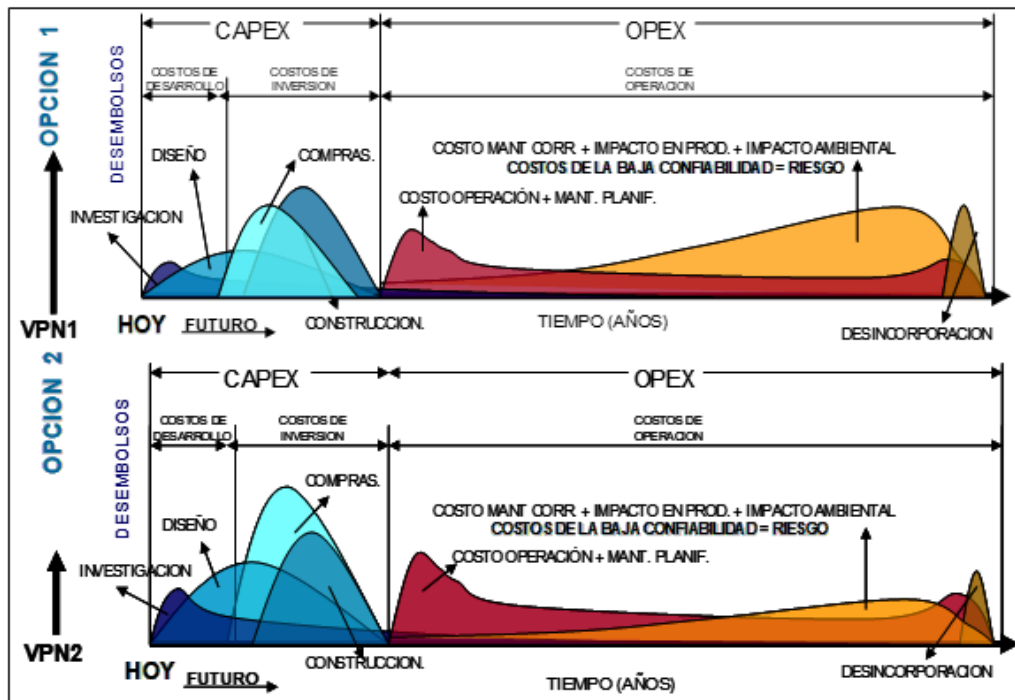
3.13 Valor Presente Neto

El Valor Presente Neto (VPN) desde la perspectiva de la gestión de activos es una métrica financiera utilizada para evaluar la rentabilidad y la eficiencia de la gestión de un activo a lo largo de su vida útil. Representa la diferencia entre el valor presente de los flujos de efectivo generados por un activo y los costos asociados a su adquisición, operación y mantenimiento a lo largo de su ciclo de vida. En otras palabras, el VPN mide si la inversión en un activo, considerando todos los costos y beneficios a lo largo del tiempo, resulta en un valor positivo o negativo para la organización

Las decisiones que se toman en las fases iniciales del ciclo de vida de los activos no solo impactan el valor de la inversión de capital inicial, también determinaran los costos de operación y mantenimiento. La gráfica siguiente ilustra que, a pesar de que la opción 1 tiene un costo inicial de adquisición más bajo en comparación con la opción 2, la opción 1 presenta costos más elevados debidos a una menor confiabilidad a lo largo de toda la vida útil. Esto señala que "lo económico al

principio resulta costoso a largo plazo". La forma tradicional de tomar decisiones de inversión de capital se centra en el costo inicial de compra (CAPEX) y comete el error de no tener en cuenta los costos influyentes durante la fase más prolongada (OPEX) del ciclo de vida del activo.

Ilustración 3. Metodología evaluación de riesgos a utilizar. Elaboración propia a partir de normas ISO 31000 y 31010.



Nota: Manual de Entrenamiento de LCC. *Fuente:* (Harry Riddell & José Durán, 2008)

3.14 Confiabilidad

Es la capacidad de un activo, sistema o equipo para funcionar de manera continua y efectiva durante un período de tiempo específico, bajo condiciones de operación y mantenimiento previstas. En otras palabras, se trata de la probabilidad de que un activo o sistema pueda realizar su función deseada sin interrupciones o fallos inesperados durante su vida útil planificada

3.15 Tiempo Medio entre Fallas MTBF

El tiempo medio entre fallas (MTBF, por sus siglas en inglés, Mean Time Between Failures) es un indicador que se utiliza en la confiabilidad y el mantenimiento de equipos, sistemas o productos para evaluar cuánto tiempo, en promedio, transcurre entre fallos o averías. En otras palabras, el MTBF es una medida que estima la confiabilidad de un activo al calcular el tiempo promedio que puede funcionar sin experimentar un fallo.

Ecuación 2. Tiempo Medio Entre Fallas.

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo Total de Funcionamiento}}{\text{Numero de Fallos}}$$

Donde,

Tiempo total de funcionamiento: El tiempo durante el cual el activo, sistema o producto estuvo en operación sin experimentar fallos.

Número de fallos: La cantidad de veces que el activo experimentó una avería o fallo durante ese período de tiempo.

Tiempo medio para reparar MTTR: El Tiempo Medio para Reparar (MTTR, por sus siglas en inglés, Mean Time to Repair) es una métrica utilizada en el ámbito de la gestión de activos y el mantenimiento para medir el tiempo promedio que se requiere para reparar o restaurar un activo o sistema después de que ha experimentado una avería o un fallo

Ecuación 3. Tiempo Medio Para Reparar.

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo Total de Reparación}}{\text{Número de Reparaciones}}$$

Dónde,

Tiempo total de reparación: La suma de los tiempos requeridos para reparar un activo o sistema en cada ocasión en que ha experimentado una avería o fallo.

Número de reparaciones: La cantidad de veces que el activo o sistema ha sido reparado debido a averías o fallos durante un período de tiempo específico.

3.16 Costos De Oportunidad

El costo de oportunidad se refiere al valor de la mejor alternativa sacrificada cuando se toma una decisión. Es decir, es el costo de lo que se deja de ganar al elegir una opción en lugar de otra.

Cada vez que se toma una decisión, se está renunciando a los beneficios o utilidades que se podrían haber obtenido si se hubiera optado por una decisión diferente. En cualquier situación, hay varias opciones disponibles y cada una ofrece diferentes niveles de utilidad o beneficio. Por lo tanto, al tomar una decisión, se están renunciando a las oportunidades y posibilidades que ofrecían las otras opciones, que podrían haber sido mejores o peores. A esto se le llama costo de oportunidad, que representa la ganancia o utilidad perdida al elegir una opción en lugar de otra. Es importante considerar el costo de oportunidad al tomar decisiones financieras, ya que permite evaluar el verdadero costo de una inversión o decisión en términos de lo que se está sacrificando en lugar de lo que se está obteniendo.

En el contexto de los modelos de análisis de reemplazo de puente grúas en cerrejón, el costo se refiere a la oportunidad o beneficio que se pierde al elegir una alternativa sobre otra. En otras palabras, se trata de la ganancia potencial que se deja de percibir al tomar una decisión en lugar de otra.

Ecuación 4. Valor Presente Neto (VPN)

$$VPN = \left[\sum_{n=1}^{n=N} \frac{(O + M)_n}{(1 + r)^n} + \text{Inversión Inicial} \right] - \text{Valor de salvamento}$$

Ecuación 5. Costo Anual Equivalente

$$CAE = VPN \times \frac{i \times (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1}$$

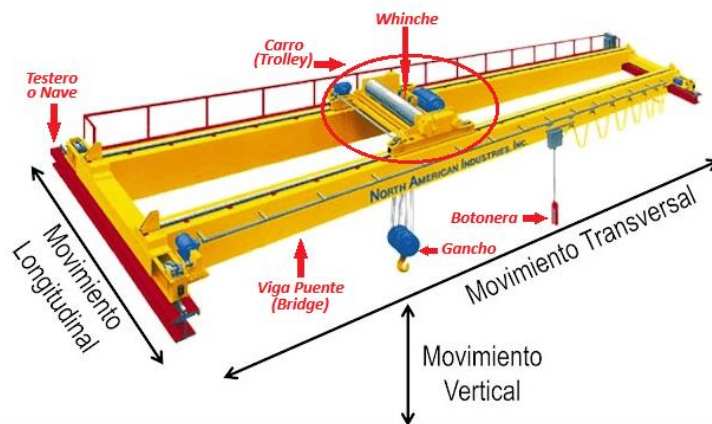
En general, para esta guía usaremos el VPN, que consiste en traer todos los flujos de caja del futuro.

3.17 Puente grúa

Un puente grúa es una máquina utilizada en la industria para levantar y mover cargas pesadas de manera eficiente y segura dentro de un área determinada. Está diseñado para desplazarse a lo largo de una estructura elevada, conocida como puente, que generalmente está soportada por columnas o pilares en ambos lados. Los puentes grúa son usados en talleres permanentes de la mina para el desmonte y montaje de componentes de los equipos mineros.

Los componentes principales d un puente grúa se ilustran a continuación:

Ilustración 4. Puente Grúa Birriel y sus partes.



Nota: Los movimientos longitudinales, transversal vertical son los únicos que se pueden realizar con un puente grúa. *Fuente:* Elaboración Propia.

Funciones De Partes Principales Del Puente Grúa:

Viga Puente: Es la estructura horizontal que se extiende a lo largo del puente y soporta el mecanismo de elevación. Puede tener una viga (monorriel) o dos vigas (Birriel), dependiendo de la capacidad de carga requerida.

Carro o Trolley: El puente grúa puede tener un carro que se mueve a lo largo de la viga principal, permitiendo que el winche o polipasto se posicione sobre la carga en diferentes puntos a lo largo de la viga puente

Winche o Polipasto: Es el componente que se encarga de elevar y bajar la carga. Puede ser un gancho, un imán, una pinza u otro dispositivo de sujeción, según la naturaleza de la carga.

Testero o nave: Van instalados sobre la zona de trabajo y en este se encuentran ubicados los rieles donde se desplaza la viga puente longitudinalmente como se muestra en la Ilustración 4

Clasificación De Servicio De Puente Grúa:

La clasificación según el tipo de servicio se realiza según la cantidad de ciclos de levantamiento de la carga que se requieren por hora y del porcentaje de carga máxima nominal que se requiere levantar.

Para este tipo de clasificación se ha tomado en cuenta lo establecido por la Asociación de Fabricantes de Grúas de América (CMAA por sus siglas en inglés) y Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME por sus siglas en inglés).

A continuación, se muestra la clasificación para puentes grúa de doble viga principal realizada por la CMAA-70

Clase A (en espera o servicio infrecuente): La clase A incluye grúas donde se requiere un manejo preciso del equipo a bajas velocidades, con largos periodos de reposo entre levantamientos de la carga

Clase B (servicio ligero): La clase B incluye grúas donde se requiere levantar la carga máxima de manera ocasional, o levantamientos con menor carga de 2 a 5 veces por hora.

Clase C (servicio moderado): La clase C incluye grúas donde los requisitos de levantamiento de carga son en promedio un 50% de la carga máxima, con 5 a 10 levantamientos por hora.

Clase D (servicio pesado): La clase D incluye grúas donde las cargas de levantamiento son cercanas al 50% de la carga máxima que serán levantadas constantemente con 10 a 20 levantamientos por hora y generalmente las velocidades de transporte de carga son elevadas

Clase E (servicio intenso): La clase E incluye grúas que levantan cargas cercanas a la carga máxima durante toda su vida útil, con más de 20 levantamientos por hora.

Clase F (servicio intenso continuo): La clase F incluye grúas capaces de manejar cargas cercanas a la carga máxima de manera continua bajo condiciones de servicio intenso durante toda su vida útil.

Tabla 1. Resumen de la clasificación de servicio de la CMAA-74 en función de los ciclos de carga y el % de carga a levantar.

Clase	Descripción	Carga máxima nominal	Ciclos por hora
A	En espera o servicio infrecuente	15%	2
B	Servicio ligero	15%	5
C	Servicio moderado	50%	10
D	Servicio pesado	50%	20
E	Servicio intenso	Cercanas a la carga máxima nominal	Más de 20

Fuente: Crane Manufacturers Association of America. Specification N°70. (CMAA, 2020).

En la ASME B30.2 se realiza una clasificación para puentes grúa según el tipo de servicio:

Servicio normal de grúa: En esta clasificación se consideran grúas que requieren levantar cerca de un 85% de la carga máxima de levante, con 10 levantamientos por hora.

Servicio pesado de grúa: En esta clasificación se consideran grúas que requieren levantar entre un 85% y 100% de la carga máxima de levante o aquellas que superan los 10 levantamientos por hora.

Servicio severo de grúa: En esta clasificación se consideran grúas bajo condiciones anormales de operación, donde se requiere levantar cerca del 100% de la carga máxima de levante más de 10

Espectro de Carga: Indica la frecuencia de la magnitud de la carga en un periodo de tiempo determinado

Clase De Utilización (U): Se define como el número de ciclos de elevación durante la vida útil del equipo.

5. Estado del arte

En la actualidad para el reemplazo de los activos, en particular los puentes grúas de la compañía, no se tiene como metodología el cálculo del LLC utilizando todas las variables consideradas y recomendadas en las diferentes normas aplicables.

Ante el escenario de cese de operaciones a mediano plazo todas las inversiones que se realicen deben estar alineados a los objetivos de la organización que buscan obtener los mejores resultados financieros sacando el mayor valor posible de sus activos. Cuando los activos que son necesarios para la ejecución de dichos objetivos están próximos a cumplir o ya cumplieron su vida útil, se deben analizar y evaluar todos los escenarios asociados al contexto de la operación, para plantear las diferentes alternativas de reemplazo que deben cumplir con los niveles de servicios que demanda la operación. Este análisis implica examinar tanto los aspectos técnicos como los financieros de las inversiones potenciales, con el objetivo de determinar su viabilidad y rentabilidad.

En 2006 la comisión europea encargo a Davis Landong, del Reino Unido, que llevara a cabo un proyecto para desarrollar una metodología europea común para el cálculo del costo del ciclo de vida en la construcción con el objetivo de mejorar la competitividad de este sector de la industria (Davis Langdon, 2007).

Las empresas con una alta capitalización en activos físicos, para alcanzar sus objetivos, requieren de estos activos una alta disponibilidad, lo que hace que la gestión de estos se convierta en una función clave de su actividad con el fin de conseguir la máxima eficacia de estos.

La finalidad última no sería otra que la de “Mejorar y garantizar el desarrollo sostenible de la Confiabilidad Operacional de forma optimizada de una instalación” (UNE-ISO 55000:2015, 2015).

Los costos del ciclo de vida de un activo son aquellos costos en que incurre un activo adquirido, durante su vida útil, con el objeto de realizar los procesos de producción incluyendo

aquellos necesarios para un correcto mantenimiento de sus componentes. Estos costos pueden variar dependiendo del tipo de activo y del contexto en el que se encuentra.

En el Oxford English Dictionary (OED) se define “activo” como toda propiedad de una persona o compañía con la cual puede responder de sus deudas. En esta definición se puede observar la existencia (a) de un objeto al cual (b) una entidad legal (persona o empresa) atribuye (c) un valor (deuda). Se introduce de esta manera la consideración de que un activo es algo más que una cosa física, sino que forma también parte del activo la relación entre el objeto y una organización, qué le asocia un valor al objeto (J. E. Amadi-Echendu, 2010)

La gestión de activos físicos surge en la década de 1990 como resultado de un enfoque interdisciplinario para proteger las inversiones significativas, tanto públicas como privadas, en activos. Más allá de comprender y controlar la condición operativa de los activos, este concepto de amplio alcance también tiene una dimensión financiera crucial. Con un enfoque sólido en el estudio del valor económico de los activos a lo largo de su ciclo de vida, ofrece nuevas posibilidades en comparación con los análisis de costos tradicionales, que suelen estar aislados en fases o períodos temporales específicos dentro de una empresa.

A partir de ese momento, se promueve una visión en la que los activos son parte de una cadena de valor y se fomenta la necesidad de adoptar un enfoque holístico de la gestión para analizar los problemas más allá de los límites o fronteras tradicionales de los negocios, las tecnologías de la información y las disciplinas de la ingeniería como resultado, se empieza a trabajar en una serie de aspectos importantes que están impulsando el desarrollo de esta área, como:

La adopción de mejores prácticas cada vez más sofisticadas para cumplir con marcos regulatorios y normativos relacionados con la calidad, el medio ambiente, la confiabilidad, la seguridad, entre otros. Esto implica que los gestores de activos deben ser profesionales cada vez más cualificados.

En el estudio (H. M. Malano, 1999), se examinan los principios fundamentales y las funciones de la gestión de activos físicos en el contexto de infraestructuras de riego y drenaje. Se destacan como elementos clave las estrategias de obtención de datos para la planificación y puesta

en marcha de los activos, así como el mantenimiento, la monitorización de su rendimiento, y también se abordan aspectos contables, económicos, auditoría y análisis para la renovación o sustitución de los activos.

Plantea como desafíos de esta disciplina la sólida integración de datos en un marco o modelo normalizado, así como el análisis del ciclo de vida. El análisis del ciclo de vida ha ido ganando cada vez más relevancia a lo largo de la década de 2000, influyendo en la gestión en contraposición a las herramientas tradicionales de mantenimiento industrial e infraestructuras. Durante ese período, también se observa un notable aumento en el número de trabajos y avances relacionados con las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC).

En el artículo Selección de un activo físico considerando sus costos en el ciclo de vida da expone que la decisión de reemplazar o mantener un equipo es clave para el desarrollo de una empresa. Un reemplazo tardío aumenta costos y problemas, mientras que uno temprano puede desperdiciar recursos. Se utiliza el análisis económico del costo de ciclo de vida para estimar los flujos de caja durante toda la vida del activo y comparar su valor económico en el tiempo (Fuenmayor, 2020). Es necesario realizar una evaluación económica comparando dos opciones: no reemplazar el equipo o hacer un reemplazo óptimo, y luego seleccionar la mejor alternativa. Este método implica calcular los efectos de no reemplazar y los costos de reemplazo durante un período de tiempo que puede ser específico o indefinido. La elección entre uno u otro depende de si se anticipa que la necesidad del equipo continuará indefinidamente o si se sabe cuánto tiempo se utilizará y se espera recuperar la inversión en ese período definido.

El CIEAM proporciona una definición de gestión de activos que se refiere al proceso de organizar, planificar y controlar la adquisición, uso, cuidado, rehabilitación y/o disposición de un activo físico de una organización. El objetivo principal es optimizar el potencial de prestación de servicios del activo y minimizar los riesgos y costos a lo largo de toda su vida útil.

5.1 Normas Para Selección De Puente Grúas

Uno de los pilares fundamentales en la selección de un puente grúa es el cumplimiento de las normativas y estándares vigentes. Esto no solo garantiza la seguridad de la operación, sino que

también evita sanciones legales y potenciales riesgos para los trabajadores y la infraestructura. Algunas de las normativas más importantes a considerar incluyen:

5.1.1 Norma ANSI/ASME B30.2: Esta norma establece los requisitos mínimos para el diseño, construcción, inspección, prueba y operación de puentes grúa. Es fundamental para garantizar la seguridad y confiabilidad de la maquinaria.

5.1.2 Norma CMAA 70: Emitida por la Crane Manufacturers Association of America, esta norma proporciona pautas específicas para la clasificación de puentes grúa en términos de capacidad, uso y aplicación.

5.1.3 Norma OSHA (*Occupational Safety and Health Administration*): Las regulaciones de OSHA establecen los estándares de seguridad laboral en Estados Unidos. Estos incluyen requisitos específicos para la operación segura de puentes grúa.

5.1.4 Norma ISO 430. Esta norma establece las características generales de los puentes grúa, así como los requisitos de seguridad y ensayos que deben cumplir

5.1.5 La Norma DIN 15018 es una normativa técnica alemana que establece estándares para el diseño y la construcción de equipos de elevación, específicamente grúas y componentes relacionados. La sigla "DIN" se refiere al Instituto Alemán de Normalización (Deutsches Institut für Normung), que es responsable de desarrollar y mantener normas técnicas en Alemania.

6. Resultados Esperados

Como resultado de la monografía se tendrá un formato guía para la gestión eficiente de los activos Puente grúas de Cerrejon Limited basados en un contexto de cierre de operaciones de mediano plazo. Con lo anterior se pretende obtener.

- Formulación de recomendaciones sólidas y basadas en evidencia para la estrategia de reemplazo más efectiva de los puentes grúas en el contexto de Cerrejón, maximizando la eficiencia operativa, optimizando costos y garantizando la disponibilidad de activos hasta el cierre de la mina en 2034.
- Evaluación de los costos y beneficios de adquirir nuevos equipos en comparación con la extensión del período de uso de los equipos actuales.
- Integración de los principios de la ISO 5500X en la metodología de toma de decisiones para garantizar una gestión eficiente de activos.
- Diseño de una estrategia de reemplazo basada en la evaluación de los costos del ciclo de vida de los activos.

6.1 Desarrollo Técnico

En este trabajo de monografía se propone un formato de evaluación de inversiones Capex en donde de acuerdo con el contexto operacional actualizado de la compañía, se puedan vincular los activos a los objetivos corporativos, es decir, su impacto desde el punto de vista técnico, operacional, financiero y legal asociado a las necesidades del negocio, para poder gestionar aquellos que cumplieron su vida útil.

6.2 Evaluación Preliminar

Para dar respuesta a algunas de las preguntas problematizadoras y empezar a desarrollar los objetivos de esta monografía, se realiza un cuestionario diseñado de tal forma que sirva de insumo en las etapas de concepción, diseño y evaluación de las inversiones asociadas a las diferentes alternativas de inversión de capital, respondiendo a de acuerdo con el contexto operacional actual.

6.3 Consideraciones Generales

¿Por qué se requiere hacer la inversión?

Los Puentes Grúas requieren actualización y reemplazo de componentes que han sufrido desgaste normal por uso y cumplimiento de su vida útil. Por lo anterior se han evidenciado simultaneidad de fallas de componentes principales que nunca habían fallado ni arrojaban signos de desgaste, por ejemplo, se ha tenido daño en un eje de Hoist por fatiga (reparación in house con pronóstico de poco tiempo estimado entre fallas) y se han registrado durante los mantenimientos preventivos medidas de bajo aislamiento en varios motores del Trolley (Riesgo de simultaneidad de fallas). En caso de que alguno de estos componentes falle y deba ser reemplazado; el tiempo de fabricación de componentes es de 6 a 12 meses debido a que se fabrican bajo pedido y el tiempo puede extenderse si se siguen presentando retrasos a nivel mundial en la cadena de suministros; inhabilitando el puente grúa durante todo este tiempo.

Los puentes grúas existentes son obsoletos y han sido reemplazados en el mercado por sistemas y componentes más eficientes, más livianos, con más sistemas de seguridad para proteger a los operadores (Botoneras Inalámbricas) y el mismo equipo (Variadores de velocidad y menor peso que disminuyen vibraciones estructurales que ayuda a alargar la vida útil), facilita las labores de mantenimiento entre otras cosas el mantenimiento y su operación, permitiendo brindar una mayor confiabilidad

A. ¿Se puede suplir la necesidad de tener el activo de una manera diferente mitigando los riesgos?

Se puede realizar un overhaul a los equipos objeto de este requerimiento, reemplazando los componentes del Trolley y Bridge que cumplieron su vida útil, reparando o reemplazando dichos componentes. Para la alternativa del overhaul se realizó una cotización de componentes a reemplazar, se elaboró un plan de trabajo para el cálculo de las horas hombre herramienta en mano y tiempo de parada del puente grúa, para poder compararla con la opción de compra

B. ¿Se puede cambiar el proceso o procedimiento?

Sí. Con grúas y montacargas, pero estas opciones serian ineficientes porque se requiere mayor espacio en los hangares para que se puedan hacer las maniobras de manejo de cargas de forma segura.

C. ¿Pueden suministrarse los equipos a través de un servicio contratado?

Estos equipos no pueden ser arrendados por la complejidad de su instalación.

6.4 Análisis Económico

¿La inversión tiene beneficio económico?

Aunque esta compra tiene beneficios económicos asociados a la reducción de costos de mantenimiento de estos equipos, su mayor justificación está en la reducción del riesgo de impacto en la operación por daño catastrófico en uno de estos. Por lo anterior, la disponibilidad de puentes grúas, incide en la productividad del departamento de Mantenimiento de equipo minero y por ende incide en la producción.

6.5 Descripción Y Análisis De Alternativas Propuestas

En esta sección, se presentan las alternativas de reemplazo o repotenciación del puente grúa que ha alcanzado el final de su vida útil. En este contexto, se detallan todos los criterios técnicos que se sustentan en las diversas normativas vigentes. Con base en las necesidades concretas del negocio, se tomará la decisión de optar por la opción que sea más rentable y que aporte el mayor valor en términos económicos y operativos.

6.6 Alternativa Overhaul

Para esta alternativa se tienen las cotizaciones de los componentes mayores a reemplazar y se realiza un plan de trabajo con estimación de recursos de personal de las diferentes disciplinas a intervenir y las herramientas necesarias para la ejecución del overhaul, cuantificando el valor estimado de esta opción.

En las siguientes tablas se especifican las labores a realizar con el recurso requerido.

Tabla 2. Actividades de Reemplazo de Componentes eléctricos de tablero eléctrico de potencia y control

REEMPLAZO DE COMPONENTES ELECTRICOS				
Ítem	Descripción de tareas	Tiempo de armado de tablero en taller (horas)	No de personas	Parte Numero
				Repuesto
1	Armado de tablero de control y potencia en doble fondo, listo para reemplazar tablero existente. Incluye la instalación de los siguientes componentes	96	2	
MATERIALES REQUERIDOS				
1,1	CONTACTOR INVERSOR DE MARCHA MOTOR HOIST 80 AMP			LC2D80AF7
1,2	CONTACTOR INVERSOR DE MARCHA MOTOR TROLLEY BRIDGE50 AMP			LC2D50AF7
1,3	RELÉ ACELERACIÓN HOIST			LC1D65AF7
1,4	RELÉ ACELERACIÓN TROLLEY/BRIDGE			LC1D50AF7
1,5	CONTACTOR 100 Y 75			LC1D50AF7
1,6	RELÉ TÉRMICO HOIST: 30 A 40 AMP (NOMINAL:30HP/34.5AMP)			LRD3355
1,7	RELÉ TÉRMICO TROLLEY: 7 A 10 AMP (NOMINAL:4HP/7.1AMP)			LRD14
1,8	RELÉ TÉRMICO BRIDGE: 7 A 10 AMP (NOMINAL:4HP/7.1AMP) 2 MOTORES			GV2P14
1,9	BLOQUE CONTACTOS AUXILIARES 2NC/2NA			LADN22
1,1	BLOQUE TEMPORIZADOS CONTACTOR ACELERACIÓN 0.1 A 30S			LADT2
1,1	CONTACTOR FRENOS HOIS/TROLLEY/BRIDGE			LC1D50AF7
1,1	PULSADOR PARADA EMERGENCIA ROJO ENCLAVADO			XB4BS542
1,1	INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO TIPO C60N (REEMPLAZO FUSIBLES)10AMP			24401
1,1	INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO TIPO C60N (REEMPLAZO FUSIBLES)3AMP			24397
1,2	INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO TIPO C60N (REEMPLAZO FUSIBLES)2AMP			24396

1,2	INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO TIPO C60N (REEMPLAZO FUSIBLES)20AMP	24404
-----	--	-------

Nota: Estos Trabajos se realizarán en el taller de mantenimiento industrial para no impactar los trabajos realizados por el equipo a intervenir. *Fuente:* Elaboración Propia.

Tabla 3. Trabajos eléctricos y repuestos requeridos

TRABAJOS ELÉCTRICOS EN EL PUENTE GRÚA					
ítem	Descripción de tareas	Tiempo de desmonte	Tiempo de montaje	No de personas	Parte Numero Repuesto
2	Desconexión y desmonte de componentes eléctricos de puente grúa	12		2	
3	Cambio de doble fondo con circuitos de potencia y control previamente armado en taller		36	2	
3,1	Montaje de componentes eléctricos cables y accesorios en el puente grúa		36	2	
MATERIALES REQUERIDOS					
3,2	CABLE REDONDO 30* 16 AWG 600V (83096)				83096
3,3	SOPORTE PARA RIEL (28512)				28512
3,4	FIJACIÓN (28513)				28513
3,5	UNIONES DE RIEL (21806)				21806
3,6	RIEL X 6 M 21805				21805
3,7	TOPE FINAL (28508)				28508
3,8	CARROS PORTA CABLE 5”(38641)				38641
3,9	TOPE FINAL (28508)				21932
3,1	CARRO DE ARRASTRE (38646)				38646
3,11	CABLE PLANO 4* 10 AWG (22542Y)				22542Y
3,12	CABLE PLANO 4* 8 AWG (26698Y)				26698Y

3,13	CABLE PLANO 8 *12 AWG (26005Y)	26005Y
3,14	CABLE PLANO 4 *12 AWG (22994Y)	22994Y
3,15	CABLE PLANO 12 *12 AWG (21813Y)	21813Y
3,16	CABLE PLANO 8 *12 AWG (26110Y)	26110Y
3,17	CONECTOR RÁPIDO HEMBRA	
3,18	CONECTOR RÁPIDO MACHO	
3,19	QUICK DISCONNECT HEMBRA Y MACHO	
3,2	ALARMA SONORA PARA DESPLAZAMIENTO	

Nota: Estos trabajos se realizan con el equipo detenido en hangar dispuesto como área de overhaul. *Fuente:* Elaboración Propia.

Tabla 4. Otros trabajos eléctricos en banco de resistencia

BANCO DE RESISTENCIAS DE VARIACIÓN DE VELOCIDAD					
	Descripción de tareas	Tiempo de desmonte	Tiempo de montaje	No de personas	Parte numero
4	Desmonte de componentes banco de resistencias	6		2	
5	Montaje de componentes banco de resistencias		6	2	
MATERIALES REQUERIDOS					
5,1	HOIST RESISTOR ASSY 3.577,00 3.577,00 7-8				
5,2	BRIDGE RESISTOR ASSY 5.817,00 11.634,00 7-8				
5,3	TROLLEY RESISTOR ASSY 5.817,00 5.817,00 7-8				
5,4	MAGNETORQUE RESISTOR ASSY				
6	INSTALACIÓN DE LÁMPARAS		6	2	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 5. Trabajos Mecánicos y repuestos requeridos

REEMPLAZO DE COMPONENTES MECANICOS					
	Descripción de tareas	Tiempo desmonte (horas)	Tiempo montaje (horas)	No de personas	Parte numero
7	Desmonte del gancho con su guaya	6	6	2	
8	Desmonte del Trolley	12		2	

9,1	Desmante de disco de freno Trolley	1	1	2	R24286D1
9,2	Cambio de bobina de freno de Trolley				981E69-6
9,3	Cambio de espárrago de sujeción bobina del freno Trolley-bridge320h1122				320H1122
9,4	Desmante de motor de Trolley para llevar a pruebas en reconstrucción	1			
9,5	Desmante reductor completo Trolley	1			3100A1437-3
9,6	Cambio de respirador reductor Trolley-bridge		1		46Z4
9,7	Amortiguador poliuretano reductor Trolley-bridge		1		16Z509D3
9,8	Cambio de rodamiento rueda de Trolley	3	3		25Z111D10
9,9	Cambio de rodamiento rueda de Trolley	3	3		25Z259D209
9,1	Montaje de motor de Trolley		3		
9,11	Montaje de reductor de Trolley		3		
9,12	Análisis estructural grupo de inspección y tecnología				
10	Cambio de componentes de Hoist				
10,1	Desmante del conjunto del freno(bobina, disco, esparrago)	2		2	
10,2	Desmante de motor de Hoist pata revisión eléctrica en reconstrucción	1			
10,3	Cambio de rodamiento rodillo tambor hois	0,5	0,5		25Z531D11
10,4	Cambio de rodamiento tambor Hoist	0,5	0,5		25Z102D5
10,5	Cambio de rodamiento de bola reductor Hoist	0,5	0,5		25T816D8
10,6	Cambio de sello retenedor reductor Hoist	0,5	0,5		18F682D75
10,7	Cambio de plato traser sistema frenos Hoist	0,5	0,5		315F139
10,8	Cambio de disco de asbesto frenos Hoist	0,5	0,5		315F121
10,9	Cambio de piñón del sistema de frenos	0,5	0,5		313F596
10,1	Montaje del freno de Hoist		1,5		
10,11	Montaje de motor de Hoist		1,5		
11,1	Cambio de rodamiento de polea superior p/grúa 30 ton	6	6	2	25Z372D3
11,2	Cambio de pin protector poleas superior				19F48D26
12,1	Desmante de conjunto reductor - motor bridge lado derecho	4		2	
12,2	Entregar motor bridge derecho en reconstrucción eléctrica para revisión	1			

12,3	Desmante de conjunto bumper, eje y rueda de bridge lado derecho	4		
12,4	Cambio de rodamiento y eje de rueda bridge derecha	6		
12,5	Montaje de conjunto bumper, eje, rueda de bridge lado derecho		4	
12,6	Montaje de reductor nuevo y motor derecho		4	
12,7	Montaje conjunto freno motor derecho		1	
12,8	Desmante de conjunto reductor - motor bridge lado izquierdo	4		2
12,9	Entregar motor bridge izquierdo en reconstrucción eléctrica para revisión	1		
12,1	Desmante de conjunto bumper, eje y rueda de bridge lado izquierdo	4		
12,11	Cambio de rodamiento y eje de rueda bridge izquierdo	6		
12,12	Montaje de conjunto bumper, eje y rueda de bridge lado izquierdo		4	
12,13	Montaje de reductor nuevo y motor izquierdo		4	
12,14	Montaje conjunto freno motor izquierdo		1	
12,15	Desmante de bumper traseros para revisar estado. Se debe cambiar el caucho	2	2	16Z510D4
13,1	Montaje de motor de Trolley		2	2
13,2	Montaje de reductor de Trolley		2	2
13,3	Montaje del Trolley (con grúa)		4	4

Nota: Los tiempos de ejecución de las tareas se estimaron con el personal técnico de mantenimiento que han realizado trabajos similares en los puentes grúas. *Fuente:* Elaboración Propia.

Tabla 6. Trabajos de conexión, pruebas operativas y entrega de equipo al cliente

CONEXIÓN ELÉCTRICA DEL TROLLEY					
	Descripción de tareas	Tiempo desmante (horas)	Tiempo montaje (horas)	No de personas	Parte numero
14	Conexión de cableado de potencia y control de trolley		12	2	
15	Pruebas de operación motores de trolley, bridge y hoist		6	2	
16	Montaje de guaya y gancho nuevo		6	2	

17	Pruebas de operación de puente grúa en vacío y con carga	6	2
18	Entrega de puente grúa al cliente	1	1
19	Entrega del área al cliente	1	1

Nota. Tiempo estimado de trabajo basado en experiencias de técnicos de mantenimiento en trabajos similares. *Fuente:* Elaboración Propia.

Una vez descrito los tiempos de ejecución de las tareas de overhaul de acuerdo con las diferentes competencias del personal involucrado, se resumen las horas hombre (HH) necesarias para cuantificarlas en esta alternativa. Todos los tiempos consignados se estiman basados en la experiencia de trabajos realizados y las consideraciones de los técnicos expertos del área.

Tabla 7. Resumen De Tiempos De Planeación Y Ejecución De Overhaul.

Resumen De Tiempos De Planeación Y Ejecución De Overhaul			
	Planeación	Horas	Días
Socialización de tareas de mantenimiento para realizar con personal técnico		96	2
Tiempo de organización y verificación de repuestos (días)		144	3
Tiempo de organización y verificación de herramientas (días)		96	2
	Ejecución		
Tiempo de adecuación de área		24	1
Horas Hombre efectivas (2 técnicos electricistas + 2 técnicos mecánicos)		388	8,1
Tiempo de entrega de área al cliente después del mantenimiento		24	1
	Tiempo De Mantenimiento	772	17,1
	Contingencia (15%) En Tiempo Efectivo De Trabajo	58,2	1,2
	Tiempo Total Incluyendo Contingencia	830,2	18,3

Nota1. Para el cálculo de los tiempos se tuvo en cuenta que el personal trabajara en jornadas de 12 horas. Para el cálculo del valor de las Horas Hombre se deben multiplicar el tiempo total incluyendo contingencia por el valor de la Hora Hombre US\$22,32.

Nota 2. Estas Tareas partes de la base de que se tienen todos los repuestos comprados disponibles en taller.

Fuente: Elaboración Propia.

Después de cuantificar los recursos de mano de obra y repuestos requeridos para el overhaul de un puente grúa de 30 toneladas, se describen y resumen:

Tabla 8. Costo de Mano de Obra y Repuestos Alternativa Overhaul de Punte grúa.

Capacidad	situación Actual	situación Propuesta	Valor US\$			Duración (días)
			Material	HH	Total	
30 Ton	Sistema eléctrico de Potencia y Control deteriorados por agotamiento de vida útil.	Reemplazar Componentes de sistema eléctrico de Potencia y control	103.729,50			
	Sistema mecánico Puente grúa, Gancho, Guayas, rodamientos, accesorios del sistema motriz, ejes espárragos y demás componentes cumplieron con su ciclo de vida útil	Reemplazar componentes del sistema mecánico del puente grúa.	151.128,63	18.530	273.338	19

Nota 1. No incluye el cambio de los motores, a los cuales se le realizara pruebas para conocer estado de aislamiento y rodamientos.

Nota 2. No incluye Mantenimiento a la estructura del puente grúa. No incluye cambio de eje del Trolley.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9. Costo Adicionales Alternativa Overhaul

Costos Adicionales Alquiler de Equipos y Herramientas Especiales				
Descripción del Servicio	Unidad	Cantidad	Valor Unitario (US\$)	Valor total (US\$)
Plataforma Man Lift JLG600 con operador	DIA	19	350	6.650
Alquiler de Camión Grúa de 30 Toneladas	DIA	2	950	1.700
Total				8.350
Total Overhaul			US\$ 281.668	

Nota: Estos costos adicionales se suman al costo de mano de obra y repuestos de la alternativa overhaul. *Fuente:* Elaboración Propia.

En conclusión, la alternativa de Overhaul:

- Requiere dejar fuera de servicio los equipos por 18 días aprox.; doblando el tiempo estimado de instalación del nuevo conjunto.
- Representa seguir con equipos obsoletos cuyos repuestos son de difícil consecución o tener que comprar repuestos costosos para tener en inventario en caso de falla.
- Esta alternativa no implica ningún tipo de actualización que permita obtener mejoras en la operación asociada a rendimiento, consumo de energía, protecciones adicionales, etc, ya que se van a reemplazar los mismos tipos de componentes.
- Mantener controles de seguridad de puente grúas vs. estándares de manejo de cargas en grúas.

6.7 Alternativa Reemplazo De Puente Grúa.

Además de considerar las alternativas de repotenciación y overhaul previamente presentadas, es necesario analizar dos alternativas de reemplazo. Estas dos opciones serán evaluadas tanto desde un enfoque técnico como financiero, teniendo en cuenta tanto los criterios de selección establecidos por las normativas vigentes como el contexto operacional que indica un cese de operaciones en el mediano plazo. Este cese de operaciones impone la necesidad de contar con niveles de confiabilidad que garanticen el desarrollo de las actividades de mantenimiento de la flota minera, las cuales dependen de la ayuda proporcionada por los puentes grúa. La costo-efectividad no debe considerarse de manera aislada, sino en relación con la confiabilidad. Optar por un puente grúa más económico pero que no cumple con las normativas o no satisface las necesidades operativas puede resultar costoso a largo plazo debido a reparaciones, accidentes laborales y tiempo de inactividad.

6.8 Alternativa De Reemplazo - Puente Grúa Homologado Al Existente

La evaluación de la capacidad del equipo actualmente en uso se estableció durante la fase de construcción de las instalaciones de los talleres permanentes hace aproximadamente tres décadas. En aquel entonces, aquellos que anticiparon el crecimiento de la mina, basándose en las expectativas de su tiempo de operación, determinaron que los puentes grúa necesarios para los talleres debían ser de tipo robusto y de trabajo pesado. Esto se hizo con el objetivo de garantizar la

máxima seguridad y confiabilidad en las maniobras durante un período estimado de 25 años. Por lo anterior los equipos son equipos Heavy Duty FEM 2M

Después de analizar el estado de la viga puente, la cual fue inspeccionada por el ente certificador contratado por la compañía, se pudo evidenciar que esta se encuentra en buenas condiciones y no requiere ser reemplazada. La viga puente es uno de los componentes principales y representa aproximadamente el 40% del total del equipo. Esta inspección se realizó en todos los equipos de la marca P&H. debido a esta condición encontrada se

De acuerdo con lo anteriormente expuesto, esta alternativa de reemplazo solo implicaría el reemplazo del conjunto Trolley – Hoist y la modernización de los sistemas de control y seguridad del puente grúa, para lo cual se solicitó al proveedor de la compañía una cotización para el suministro e instalación.

A continuación, una breve descripción de las características de seguridad y facilidades para el manejo seguro y confiable de las cargas que ofrecen los equipos Trolley nuevos:

- Límites de recorrido para Trolley, puente e izaje.
- El sistema de izaje tiene una protección de sobrecarga que evite sobrepasar la capacidad de carga nominal del equipo.
- Control Pro (mini PLC): Permite monitorear y protege el equipo. A continuación las características básicas de este sistema:

Ofrece las siguientes protecciones:

- Sobrecarga
- Sobrecalentamiento de los motores
- Caída y/o inversión de fases.

Monitorea y presenta en el display de la unidad CDI los siguientes datos:

- SWP (Safe Working Period) %: Calcula el periodo seguro de trabajo del equipo de acuerdo a normas FEM.

- SWP: Calcula el período seguro de trabajo del freno de elevación.
- Informa el número total de arranques del equipo.
- Informa el número total de ciclos de elevación.
- Informa el tiempo total de uso de la grúa.
- Presenta la carga promedio.
- Desgaste del disco del freno de elevación.

6.8.1 Variador de frecuencia en la traslación del Trolley:

Los puentes grúas KONECRANES, incluyen como equipo estándar un sistema de control por variación de frecuencia Dynamove en la traslación del Trolley y del puente. Esto ofrece ventajas tales como realizar los arranques y paradas en suaves rampas, que eliminan los cambios bruscos de velocidad y que pueden afectar la vida útil de componentes eléctricos y mecánicos, además permite un manejo más controlado y suave de las cargas, permitiendo mayor agilidad en el posicionamiento de estas. El variador realiza también el frenado dinámico del motor, reduciendo la labor de los frenos de disco a una función de retención solamente, aumentando la vida útil de los elementos de desgaste de los frenos.

Variador de frecuencia en izaje - Hoist: Nos permite tener velocidades más precisas e implementar las siguientes ayudas:

ESR (Extended Speed Range): Permite tener velocidades más altas a la nominal cuando se estén manejando cargas menores al 50% de la capacidad de carga nominal. Esto permite optimizar los tiempos de ejecución de las maniobras.

Microvelocidad: Permite tener velocidades muy pequeñas, hasta 1% de la velocidad nominal. Esto permite mayor precisión en el posicionamiento de las cargas delicadas.

Slack Rope (cable suelto): El winche se detiene cuando detecta que el gancho y su aditamento ya están soportados sobre alguna superficie. Esto evita que la guaya se siga desenrollando y se pueda enredar cuando este subiendo el gancho nuevamente.

Shock Load Prevention (Prevención de impactos): Durante el arranque del izaje, el gancho sube a una velocidad mínima hasta que las eslingas o cadenas estén tensionadas y después si aplica la velocidad nominal. Esto impide impactos en las cadenas y eslingas y que estos impactos se transfieran a la estructura del puente grúa y del edificio.

La oferta comercial presentada por el representante de la marca se describe a continuación:

Tabla 10. *Oferta Comercial Opción Reemplazo Equipo Homologado al Existente.*

Ítem	Descripción	Valor (US\$)
1	Puente grúa homologado P&H con capacidad de 30 Ton Métricas	403.304
2	Montaje y puesta en marcha	40.235
Total, Suministro e Instalación		443.539

Nota: La oferta incluye mano de obra y suministro para el reemplazo del conjunto Trolley-Hoist y modernización del sistema de potencia, control y sistemas de seguridad. No se reemplaza la viga puente (bridge ni sus motores). *Fuente:* Elaboración Propia.

6.9 Alternativa De Reemplazo Por Puente Grúa Calculado

6.9.1 Criterios de selección

La selección se hace de acuerdo con la clasificación del servicio y existen diferentes factores que determinan el tipo de puente grúa

Factores de selección inherentes a la carga Transportada:

- Presentación (Granel Empacado).
- Propiedades (Densidad Temperatura, Talud Natural, Granulometría, Corrosivo).

Factores de selección inherentes al ambiente:

- Bajo Techo / Intemperie.
- Atmosfera Explosiva.
- Polución / Corrosión

Factores de selección inherentes a la Geometría de la Carga a Transportar:

- Alturas Perdidas.
- Acercamientos laterales.
- Dimensiones del Equipo.

Factores de selección inherentes al Tipo de servicio y Operación:

- Velocidades de operación.
- Clasificación de Servicio.

De los factores de selección descritos, la clasificación del servicio es uno de los más determinantes para tomar una decisión acertada.

La clasificación del servicio es la categorización de los equipos de elevación según su tipo y condiciones de operación y está directamente relacionada con la vida útil. Al aumentar la clasificación del servicio el diseño de cada uno de los mecanismos o componentes es más robusto. La clasificación de servicio es totalmente independiente de la capacidad máxima de carga, ya que mecánicamente todos los equipos pueden soportar la carga máxima para la cual fue diseñado incluyendo su respectivo factor de seguridad independiente de la clasificación.

La clasificación de servicio es esencial cumplir con las normativas y estándares de seguridad aplicables, así como evaluar otros factores como la capacidad de carga, la altura de elevación, la longitud de la grúa y los sistemas de control para tomar una decisión informada sobre la selección del puente grúa que mejor se adapte a las necesidades específicas de la empresa. Si no se realiza una adecuada clasificación del servicio al seleccionar un puente grúa, pueden surgir una serie de problemas y desafíos que afectan tanto la seguridad como la eficiencia de la operación. Aquí se describen algunas de las consecuencias negativas que pueden surgir.

Si la clasificación es menor a la requerida se tienen los siguientes riesgos:

- Disminución dramática de la vida útil del equipo.

- Desgaste prematuro en todos los componentes de fricción como Ruedas Cables Guías de Cable Rieles etc.
- Recalentamiento. de motores, bobinados de frenos.
- Frenos con duración limitada.
- Rotura de ejes, rodamientos, alojamientos bridas.
- Falla estructural en Carros Testeros, Trolleys e incluso Vigas puente.
- Daño en sistemas de alimentación eléctrica (carros Rieles colectores etc.).
- Incremento del 80-90% del mantenimiento correctivo.
- Largos periodos de tiempo del equipo fuera de servicio.
- Aumento de la potencialidad de accidentes.
- Incremento del costo de Operación y Mantenimiento.

Si la clasificación es menor a la requerida se tienen los siguientes riesgos:

- Sobre Costo del Equipo y de su mantenimiento.
- Sobre dimensionamiento civil del edificio.
- Mayor consumo de energía.

6.10 Proceso De Selección

Las normas FEM son creadas por la Sociedad Europea de Manejo de Materiales y se aplican a la función mecánica de polipastos, carretillas y puentes con capacidades métricas estándar. De acuerdo con la norma FEM 9.511, la aplicación de servicios de los polipastos se determina por 1) el espectro de carga y 2) el tiempo de operación diario (FEM. 9.511, 1986).

La clasificación FEM que mejor se adapta al uso se determina identificando primero el espectro de carga apropiado. Las grúas se dividen en cuatro categorías por espectro de carga: ligeras, medianas, pesadas y muy pesadas.

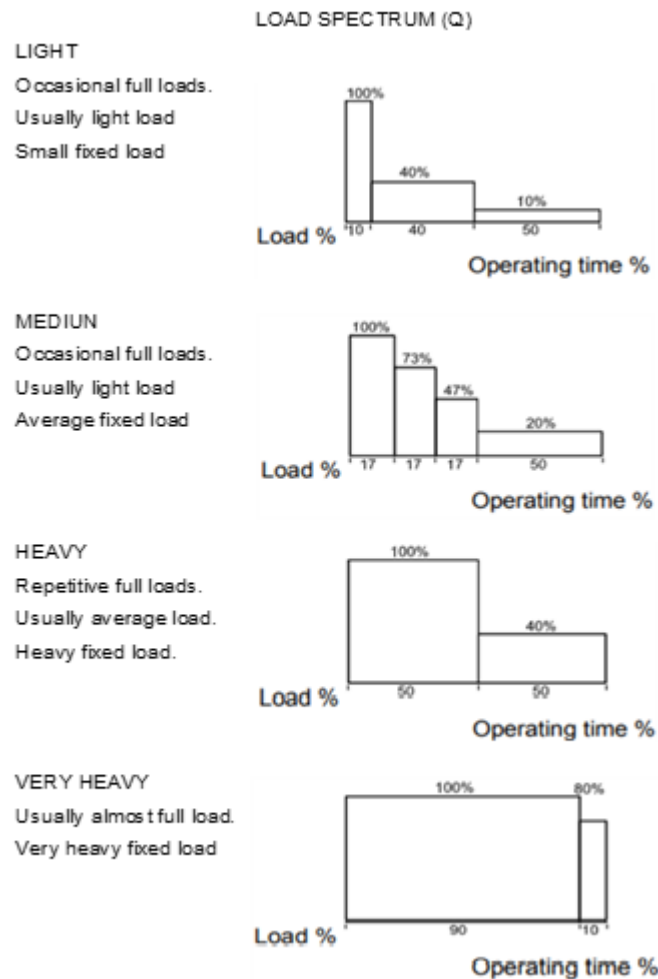
Espectro de Carga (Q), indica la frecuencia de la magnitud de la carga en un periodo de tiempo determinado.

Tabla 11. *Clasificación de la grúa de acuerdo con el espectro de carga*

LOAD SPECTRUM (Q)	
LIGHT	$K_p \leq 0.125$
MEDIUM	$0.125 < K_p \leq 0.250$
HEAVY	$0.250 < K_p \leq 0.500$
VERY HEAVY	$0.500 < K_p \leq 1.000$

Fuente: Elaboración Propia.

Ilustración 5. Clasificación de la grua basado en porcentaje de carga izada y tiempo de operación .



Fuente: (FEM. 9.511, 1986).

6.11 Cálculos

Ecuación 6. Espectro de Carga.

$$K_p = (m_1/m_{\text{máx.}})^3 * n_1/n_{\text{máx.}} + (m_2/m_{\text{máx.}})^3 * n_2/n_{\text{máx.}} + \dots$$

$$K_p = (K)^3$$

Datos Operacionales Puente Grúa de 30 Ton (m max 30Ton) durante una semana. El peso registrado es el entero próximo a la magnitud de la carga levantada.

$m_{1,2,3,4}$	$n_{1,2,3,4}$
$m_1= 1 \text{ Ton}$	$n_1= 95 \text{ Veces}$
$m_2= 3 \text{ Ton}$	$n_2= 82 \text{ Veces}$
$m_3= 5 \text{ Ton}$	$n_3= 25 \text{ Veces}$
$m_4= 9 \text{ Ton}$	$n_4= 47 \text{ Veces}$
$m_5= 15 \text{ Ton}$	$n_4= 55 \text{ Veces}$
$m_6= 21 \text{ Ton}$	$n_4= 16 \text{ Veces}$
	$n_{\max}= 320 \text{ Veces}$
	$m_{\max}= 21 \text{ Ton}$

$$K_p = (1/21)^3 * (95/320) + (3/21)^3 * (82/320) + (5/21)^3 * (25/320) + (9/21)^3 * (47/320) + (15/21)^3 * (55/320) + (21/21)^3 * (16/320)$$

$$K_p = 0,126$$

Para un valor de $K_p = 0.126$, el Q es MEDIUM.

Ya determinado el espectro de carga, el tiempo de funcionamiento diario esperado del equipo. En los talleres donde está ubicado el equipo a reemplazar se trabaja 24 horas y el uso del equipo de acuerdo con la data descargada desde el controlador nos da un promedio de 6.5 horas de trabajo diario en una semana.

Dados los datos de espectro de carga y el tiempo promedio de funcionamiento diario se puede determinar la clasificación del Hoist.

Ilustración 6. Clasificación del Hoist basado en tiempo promedio de operación diaria y espectro de carga.

Load spectrum	Average daily operating time ISO/FEM (hours per day)					
	≤ 0.5	≤ 1	≤ 2	≤ 4	≤ 8	≤ 16
	LIGHT			M3 1Bm	M4 1Am	M5 2m
MEDIUM		M3 1Bm	M4 1Am	M5 2m	M6 3m	M7 4m
HEAVY	M3 1Bm	M4 1Am	M5 2m	M6 3m	M7 4m	
VERY HEAVY	M4 1Am	M5 2m	M6 3m	M7 4m		

Fuente: (FEM. 9.511, 1986).

Si se tiene un espectro de Carga Q Medium y Tiempo promedio diario de Uso $t = 6.5$ h/day Entonces la clasificación del Hoist será 3m de acuerdo con la norma FEM.

Para la alternativa de reemplazo por un equipo calculado se tendrá las consideraciones expuestas anteriormente en donde solo se cambiará el conjunto Trolley – Hoist, ya que la viga puente (Bridge) se encuentra en buenas condiciones.

Se solicita cotización a KONECRANES COLOMBIA SAS para el reemplazo del conjunto Trolley – Hoist y modernización del puente grúa de 30 Toneladas en cuestión y se tienen los siguientes valores de cotización presupuestal.

Tabla 12. Oferta Comercial Opción Reemplazo POR Equipo Calculado.

Ítem	Descripción	Valor (US\$)
1	Polipasto dobleviga CXT 7062 de 30 toneladas Ton Métricas	355.124
2	Montaje y puesta en marcha	35.512
Total Suministro e Instalación		390.636

Nota: oferta comercial realizada por KONECRANES COLOMBIA SAS. *Fuente:* Elaboración Propia.

6.12 Análisis De riesgos De Alternativas

- ¿Qué pasa si no se nada?

Se seguirán presentando fallas asociadas a la vida útil de los componentes y se corre el riesgo de una falla mayor o falla catastrófica que además de poner en riesgo la seguridad de los usuarios, mantenedores y personas que interactúan en las áreas de operación de estos equipos, deje fuera de servicio el puente grúa por mucho tiempo, obligando su reemplazo a mayor costo, afectando en consecuencia las tareas de mantenimiento de equipos mineros que se realizan con estos puentes grúas.

- ¿Qué pasa si se realiza parcialmente?

Las tres alternativas en estudio pueden considerarse como una inversión parcial porque no se está reemplazando el 100% de los componentes de un puente grúa. Para la alternativa de reemplazo se contempla solo el reemplazo del conjunto Trolley- Hoist, dejando a un lado el bridge y viga-rieles donde se soporta el bridge, ya que para estos últimos se realizará un análisis estructural para determinar las tareas de mantenimiento requeridas para extender su vida útil.

- ¿hay opciones temporales?

Si, en caso de dañarse completamente uno de los Puentes grúas objeto de este requerimiento o en el caso de que no sea seguro operarlos, se podría utilizar grúas y montacargas, pero esto demandaría mayor tiempo en logística, más espacio para maniobrabilidad y se asumen mayores riesgos por trabajos simultáneos. Cualquier maniobra con estos equipos se convertiría en una tarea de muy alto riesgo y además ineficiente.

6.13 Regulaciones Mandatorias

- ¿se puede manejar el cumplimiento de la norma de otra forma?

No, la compañía establece como control crítico, la obligatoriedad de tener los equipos de izaje de carga, en este caso, puente grúas, debidamente certificados para poder ser utilizados y el ultimo mantenimiento preventivo ejecutado. Esta certificación garantiza que los equipos cumplan

con los estándares mínimos de integridad y seguridad para realizar una operación segura. La certificación se realiza bajo los parámetros de la norma ASME B30.2, la cual es la norma en la que se ha basado la legislación colombiana para establecer los requisitos de conclusiones preliminares sobre costos de inversión de alternativas, hasta este momento, por costos de inversión inicial, sin tener en cuenta otras variables como el costo de ciclo de vida, ni los riesgos asociados a la selección de cada alternativa, podemos recomendar el overhaul como mejor alternativa económica, sin embargo, mencionamos anteriormente que muchos de los repuestos cotizados para este trabajo ya están a puertas de la obsolescencia y solo son fabricados bajo pedido con un tiempo de entrega superior a 6 meses.

Por otro lado, si se decide reemplazar el equipo, la mejor opción es un equipo calculado tipo CXT cuya clasificación (Q) es Médium, que a pesar de no tener la misma robustez de un equipo homologado, también tiene buena durabilidad y el proveedor estima una vida útil de 15 años, tiempo suficiente para cumplir con las tareas de mantenimiento en los talleres hasta el 2034 cuando cesen las operaciones.

6.13.1 Calculo de Confiabilidad Y Disponibilidad De Alternativas

En este capítulo se aplican métodos estadísticos para estimar los indicadores de mantenibilidad, como la confiabilidad y costos de mantenimiento, de las alternativas de repotenciación y reemplazo propuestas para los puentes grúas del taller de camiones de 320 Toneladas. El taller cuenta con dos puentes grúas de 30 toneladas cada uno, identificados con los números de operación 4003504 y 4003500. El primero fue modernizado a finales de 2019 con el reemplazo del conjunto Trolley-Hoist por uno homologado de clasificación Heavy. El segundo fue puesto en operación en el año 2004 y debe ser intervenido para actualización o modernización. Para tomar una decisión de inversión basados en análisis de confiabilidad sobre el equipo 4003500, se realiza el cálculo de la confiabilidad usando la herramienta Calculos Confiabilidad Weibull Básico de Mantonline SAS. Para el cálculo se utilizaron los datos históricos de los dos equipos registrados en el software de mantenimiento de la compañía (ellipse), desde enero de 2020 hasta octubre del 2023 donde el equipo 4003500 tuvo un total de 40 fallas registradas. Los modos de fallas fueron diversos, pero con la particularidad que dejaron el equipo fuera de servicio.

Se debe justificar de forma clara y precisa como estos indicadores ponen en riesgo los objetivos corporativos. Además, se debe realizar una matriz de riesgo para evaluar dichos impactos y compararlos con los resultados esperados si se realiza la nueva inversión (Amendola, 2011).

6.13.2 Datos de entrada

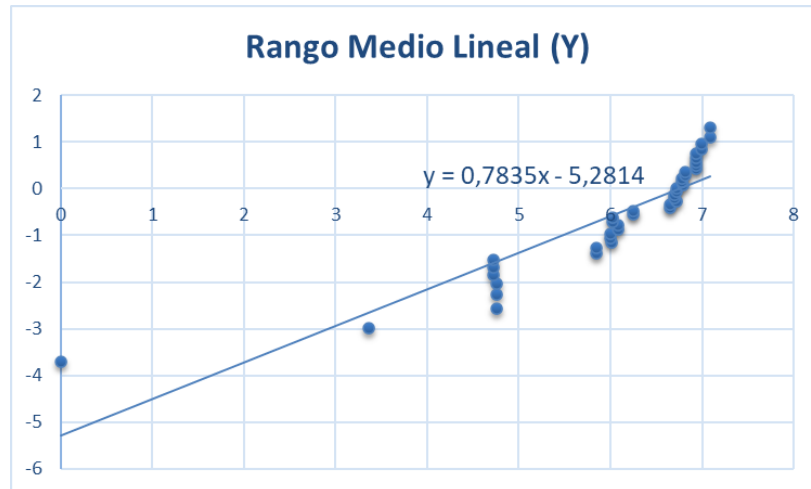
Tabla 13. Cálculo de variables Ln de TTF y rango medio lineal usando Datos de falla y tiempo hasta la falla del puente grúa 4003500 para cálculo de Beta.

TTF	Orden (i)	Rango Medio F(i)	Ln de TTF (X)	Rango Medio Lineal (Y)
1	1	0,024390244	0	-3,701,251,165
29	2	0,048780488	336,729,583	-2,995,523,884
116	3	0,073170732	4,753,590,191	-257,720,739
116	4	0,097560976	4,753,590,191	-2,276,389,668
116	5	0,12195122	4,753,590,191	-2,039,812,233
113	6	0,146341463	4,727,387,819	-1,843,743,495
113	7	0,170731707	4,727,387,819	-167,551,606
113	8	0,195121951	4,727,387,819	-152,756,071
344	9	0,219512195	5,840,641,657	-1,394,987,381
344	10	0,243902439	5,840,641,657	-1,274,449,411
408	11	0,268292683	6,011,267,174	-1,163,551,898
404	12	0,292682927	6,001,414,878	-106,051,845
404	13	0,317073171	6,001,414,878	-0,963991654
438	14	0,341463415	608,221,891	-0,872907538
438	15	0,365853659	608,221,891	-0,786413288
411	16	0,390243902	6,018,593,214	-0,703811358
411	17	0,414634146	6,018,593,214	-0,624520335
515	18	0,43902439	6,244,166,901	-0,548046729
515	19	0,463414634	6,244,166,901	-0,47396408
777	20	0,487804878	665,544,035	-0,401897038
777	21	0,512195122	665,544,035	-0,331508864
831	22	0,536585366	6,722,629,795	-0,262491259
808	23	0,56097561	6,694,562,059	-0,194555719
808	24	0,585365854	6,694,562,059	-0,127425815
832	25	0,609756098	6,723,832,441	-0,060829839
832	26	0,634146341	6,723,832,441	0,005506676
893	27	0,658536585	6,794,586,581	0,071869152
877	28	0,682926829	6,776,506,992	0,13856358
876	29	0,707317073	6,775,366,091	0,205928553
915	30	0,731707317	6,818,924,065	0,274351205
915	31	0,756097561	6,818,924,065	0,344289441
1023	32	0,780487805	6,930,494,766	0,416304476
1023	33	0,804878049	6,930,494,766	0,491110874
1023	34	0,829268293	6,930,494,766	0,569657723
1023	35	0,853658537	6,930,494,766	0,653268802
1023	36	0,87804878	6,930,494,766	0,743904054
1093	37	0,902439024	6,996,681,488	0,844699218
1093	38	0,926829268	6,996,681,488	0,961248716
1193	39	0,951219512	7,084,226,422	1,105,397,512
1193	40	0,975609756	7,084,226,422	1,311,994,235

Nota: Los datos calculados con los TTF del puente grúa 4003500 desde enero de 2020 hasta octubre del 2023. *Fuente:* Orrego.

A continuación, se representa gráficamente los datos de Ln de TTF (X) y Rango Medio Lineal (Y) hallar la pendiente.

Gráfica 1. representación gráfica de datos utilizando regresión lineal.



Nota: la pendiente representa el Valor de Beta para cálculo de confiabilidad. *Fuente:* Elaboración Propia.

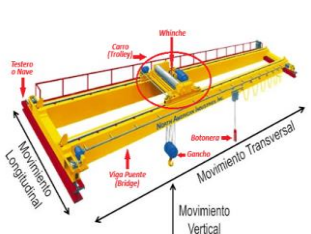
Teniendo en cuenta el valor de Beta igual a 0.7835, menor a 1, a partir del análisis de los datos de falla del equipo, este valor indica que el fallo puede ocurrir de forma prematura. Lo anterior si tenemos en cuenta que estos datos se usan para estimar la confiabilidad para los próximos 10 años que le quedan a la operación y estos serían el punto de partida, lo que nos permite concluir que el equipo en las condiciones actuales tiene baja confiabilidad

Se calculan los valores de confiabilidad usando nuevamente la herramienta Cálculos Confiabilidad Weibull Básico de Mantonline SAS. A fecha de 25 de noviembre de 2023 la última falla se presentó hace 126 días. Con el mantenimiento preventivo programado cuya frecuencia es mensual, se espera que el equipo no falle en 180 días. El valor de Beta calculado con los datos es 0.78 y el valor de Eta es 845.9.

Ilustración 7. Cuadro de cálculo de valores de confiabilidad

CONFIABILIDAD
EQUIPO
PUENTE GRUA NUMERO 4003500

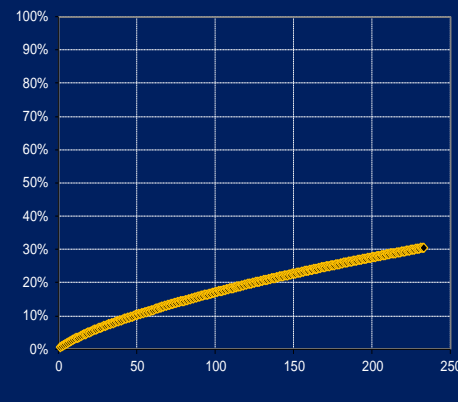
Orden de la Falla	Probabilidad de Falla
#N/A	0%
32	7%
79	14%
138	21%
209	28%
295	35%
327	42%
327	49%
327	56%
327	63%
327	67%
327	71%
327	75%
327	79%
327	83%
327	87%
327	91%
327	95%
327	99%



EQUIPO-PARTE QUE FALLA

Este Puente grúa a presentado 40 fallas en los tims 46 meses desde enero de 2020. Para verificar la confiabilidad hasta la nueva intervencion, introduzca los datos de la tabla siguiente.

Probabilidad de Falla

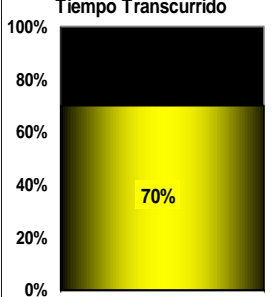


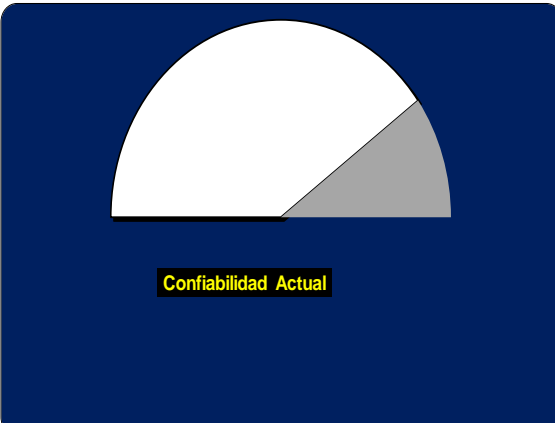
PREDICCIÓN DE LA FALLA

PARAMETROS DE ENTRADA	
Beta	0.78
Eta (Dias)	845.90
Tiempo de Trabajo Esperado (Dias)	180
Tiempo de Servicio a la fecha (Dias)	126

PARAMETROS CALCULADOS	
Confiabilidad Incondicional	63.71%
Confiabilidad Actual	79.86%
Confiabilidad Condicional	79.78%
Probabilidad Condicional de Fallar (En tiempo de trabajo esperado)	20.22%
Probabilidad Actual de Falla (En tiempo de trabajo esperado)	20.14%

Tiempo Transcurrido





Confiabilidad Actual

PARAMETROS DE ENTRADA : (Ingrese los datos en las casillas verdes)

Tiempo de Trabajo Esperado (Dias): Los dias que espera le trabaje el Activo evaluado.

Tiempo de Servicio a la fecha (Dias) : La cantidad de dias que ha trabajado el activo desde su ultima intervencion y que soluciono el problema igualmente analizado.

Resultados :

Confiabilidad Incondicional: Probabilidad mas alta de que el Activo no falle bajo las condiciones actuales.

Confiabilidad Actual : Probabilidad de que el Activo no falle no falle bajo las condiciones actuales.

Confiabilidad Condicional : Probabilidad mas alta de que el Activo no falle bajo las condiciones actuales, con la incertidumbre que sugieren los datos.

Probabilidad de Fallar (Para el tiempo de trabajo esperado) : Como su nombre lo indica

www.mantonline.com
v_conf w1 revisado Junio 2008

Fuente: Herramienta Cálculos Confiabilidad Weibull Básico de Mantonline SAS.

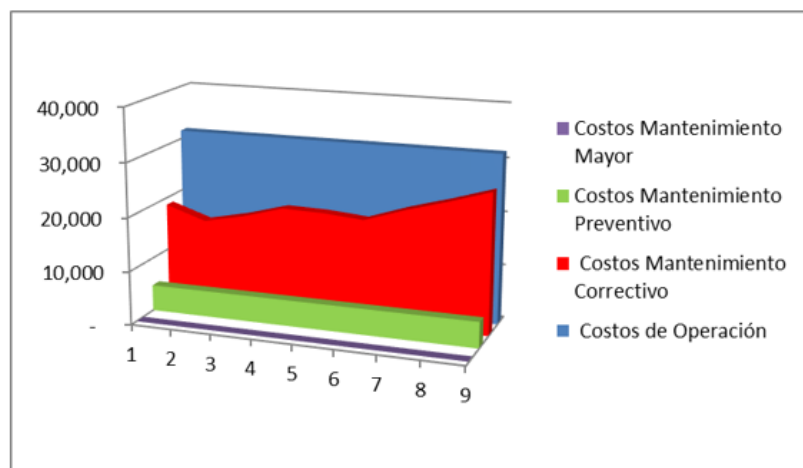
PROPUESTA PARA LA GESTIÓN EFICIENTE DE ACTIVOS CON UN HORIZONTE DE CIERRE DE OPERACIONES DE 10 AÑOS.

	Formación continua.	268	268	268	268	268	268	268	268	268
	Costos de Operación	31,586	31,586	31,586	31,586	31,586	31,586	31,586	31,586	31,586
Costos Mantenimiento Preventivo	Herramientas.	1,759	1,759	1,759	1,759	1,759	1,759	1,759	1,759	1,759
	Costos de mano de obra.	2879	2879	2879	2879	2879	2879	2879	2879	2879
	Consumibles.	201.3	221.43	221.43	221.43	221.43	221.43	221.43	221.43	221.43
	Costos Mantenimiento Preventivo	4,839	4,859	4,859	4,859	4,859	4,859	4,859	4,859	4,859
	Horas de Mntenimiento Preventivo	64	64	64	64	64	64	64	64	64
Costos Mantenimiento Correctivo	Herramientas.	1,906	518	569	709	519	367	767	843	928
	Costos de mano de obra.	3,120	848	932	1,160.00	850	600	1,255.00	1,380.50	1,518.55
	Repuestos.	13,540	14,738	16,212	17,954	18,265	18,040	19,538	21,492	23,641
	Consumibles.	100	110	121	133	147	161	177	195	215
	Costos Mantenimiento Correctivo	18,666	16,214	17,834	19,956	19,781	19,168	21,737	23,911	26,302
	Horas de Mantenimiento Correctivo 528	70	19	21	26	19	13	28	31	34
	Costos OPEX Equipo Actual (US\$)	55,092	52,660	54,280	56,401	56,226	55,613	58,183	60,356	62,747
	Total horas de Mantenimiento	134	83	85	90	84	78	93	95	99

Nota: Modelo de análisis de ciclo de vida LCC tomado del curso de confiabilidad en la práctica.

Fuente: Orrego.

Gráfica 2. Representación gráfica de costos de mantenimiento.



Modelo de análisis de ciclo de vida LCC tomado del curso de confiabilidad en la práctica..

Fuente: Orrego.

En esta se observa un comportamiento creciente de los costos asociados a mantenimiento correctivo. Los valores de mantenimiento preventivo se mantienen en el tiempo debido a que la estrategia de intervención aplicada a todos los puentes grúas es la misma sin importar los valores de confiabilidad. Los costos de operación están asociados al consumo de energía y tiempo dedicado por el personal a la operación del equipo, esta no varía de acuerdo con los valores de confiabilidad.

6.16 Evaluación de Alternativas

Para la evaluación de alternativas se tiene en cuenta los costos de mantenimiento estimado para el equipo actual y para la opción de modernización y cambio del conjunto Trolley–Hoist del equipo nuevo calculado.

Se estima el valor de inversión del equipo actual haciendo una actualización del valor de adquisición en el 2004 trayendo dicho valor al tiempo presente y luego se hace el cálculo de la devaluación de forma lineal hasta el tiempo presente después de 19 años.

El valor de desincorporación del equipo actual se calcula con el valor de los servicios asociados a la desconexión, desmonte y traslado a bodega de excedente, es decir, alquiler de grúa, plataforma tipo Man Lift, montacarga cuyos valores son tomados de contratos activos en la compañía. También se incluye el valor de la Hora Hombre del personal que realizaría la tarea.

Ilustración 8. Costos de desincorporación de equipo actual

DESINCORPORACIÓN		
		Años
		9
Costos desincorporación	Parada del sistema.	-
	Retirada de servicio ó desmantelamiento.	4,364
	Desmontaje y retirada.	3,000
	Reciclado o eliminación segura.	-
Costos Desincorporación		7,363.60

A continuación, se muestra el análisis del costo de ciclo de vida de las dos opciones mencionadas.

Ilustración 9. Análisis del Costo del Ciclo de Vida Equipo Nuevo/Equipo Actual.

Análisis del Costo del Ciclo de Vida Equipo Nuevo / Equipo Actual										
Costo Equipo Nuevo	\$ 390,636.00									
Valor en Libros Equipo Existente (Tomado como Inversión de este escenario)	\$ 13,789.00									
Costos Desincorporación	\$ 7,363.60									
Tasa de Descuento	4%									
Horizonte Económico (Años)	9									
% Optimización Mantenimiento Preventivo	40%									
% Optimización Mantenimiento Correctivo	90%									
% Optimización Mantenimiento Mayor	20%									
% Optimización Operación	20%									
Escenario Base (Equipo Actual)										
Años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Inversión	\$ 262,971.00									
Costos de Mantenimiento Preventivo (\$/AÑO)	\$ 4,839.22	\$ 4,859.25	\$ 4,859.25	\$ 4,859.25	\$ 4,859.25	\$ 4,859.25	\$ 4,859.25	\$ 4,859.25	\$ 4,859.25	\$ 4,859.25
Costo de Mantenimiento Correctivo (\$/AÑO)	\$ 18,666.26	\$ 16,214.19	\$ 17,834.32	\$ 19,955.93	\$ 19,780.86	\$ 19,167.78	\$ 21,737.07	\$ 23,910.78	\$ 26,301.86	\$ 26,301.86
Costos de Mantenimiento Mayor (\$/AÑO)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costos Mtto \$		\$ 23,505.48	\$ 21,073.44	\$ 22,693.57	\$ 24,815.18	\$ 24,640.11	\$ 24,027.03	\$ 26,596.32	\$ 28,770.03	\$ 31,161.11
Días por Mantenimiento Preventivo		22.00	22.30	22.50	22.20	24.00	26.00	25.20	22.10	22.00
Días por Mantenimiento Correctivo		4.30	4.10	3.90	3.60	3.80	3.80	4.20	4.10	4.20
Días por Mantenimiento Mayor		30.00	-	30.00	-	30.00	-	30.00	-	-
Total Días		56.30	26.40	56.40	25.80	57.80	29.80	59.40	26.20	26.20
Costo de Oportunidad por Actividades de Mtto \$		-	-	-	-	-	-	-	-	-
Costos de Operación \$		31,586.30	31,586.30	31,586.30	31,586.30	31,586.30	31,586.30	31,586.30	31,586.30	31,586.30
Costos Desincorporación \$		-	-	-	-	-	-	-	-	7,363.60
Costo Total Actual \$		55,091.77	52,659.74	54,279.87	56,401.48	56,226.41	55,613.32	58,182.62	60,356.32	70,111.00
VPN Costo del Ciclo de Vida (Equipo Actual) \$ 688,838.44										
Escenario Propuesto (Equipo Nuevo)										
Años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Inversión	390,636.00									
Costos de Mantenimiento Preventivo (\$/AÑO)		2,903.53	2,915.55	2,915.55	2,915.55	2,915.55	2,915.55	2,915.55	2,915.55	2,915.55
Costo de Mantenimiento Correctivo (\$/AÑO)		-	-	2,100.00	300.00	500.00	2,200.00	500.00	800.00	1,000.00
Costos Mtto \$		2,903.53	2,915.55	5,015.55	3,215.55	3,415.55	5,115.55	3,415.55	3,715.55	3,915.55
Días por Mantenimiento Preventivo		13.20	13.38	13.50	13.32	14.40	15.60	15.12	13.26	13.20
Días por Mantenimiento Correctivo		0.43	0.41	0.39	0.36	0.38	0.38	0.42	0.41	0.42
Días por Mantenimiento Mayor		-	-	24.00	-	24.00	-	24.00	-	-
Total Días		13.63	13.79	37.89	13.68	38.78	15.98	39.54	13.67	13.62
Costo de Oportunidad por Actividades de Mtto \$		-	-	-	-	-	-	-	-	-
Costos de Operación \$		25,269.04	25,269.04	25,269.04	25,269.04	25,269.04	25,269.04	25,269.04	25,269.04	25,269.04
Costos Desincorporación \$		-	-	-	-	-	-	-	-	7,363.60
Costo Total Nuevo \$		28,172.57	28,184.59	30,284.59	28,484.59	28,684.59	30,384.59	28,684.59	28,984.59	36,548.19
VPN Costo del Ciclo de Vida (Equipo Nuevo) \$ 611,299.84										

Nota: Modelo tomado del curso Confiabilidad en la Práctica. Fuente: Orrego

6.17 Evaluación De Inversiones

De acuerdo con el análisis anterior, el reemplazo del equipo es la mejor alternativa, tanto por mantenibilidad como por costo de ciclo de vida.

7. Conclusiones

- **Desarrollo de una Guía Integral:**

Como resultado de esta investigación, se ha logrado desarrollar una guía integral para la gestión eficiente de los activos de puente grúa en Cerrejón Limited. Esta guía servirá como una herramienta valiosa para orientar la toma de decisiones relacionadas con el reemplazo de equipos, especialmente en el contexto de cierre de operaciones a mediano plazo.

- **Recomendaciones Estratégicas Fundamentadas:**

Las recomendaciones formuladas se basan en evidencia sólida, respaldada por el análisis detallado de datos y la integración de principios de gestión de activos según la norma ISO 55000. Estas recomendaciones están diseñadas para guiar la estrategia de reemplazo de los puentes grúas en Cerrejón, con el objetivo claro de maximizar la eficiencia operativa y optimizar costos hasta el cierre de la mina en 2034.

- **Evaluación Integral de Costos y Beneficios:**

Se ha llevado a cabo una evaluación exhaustiva de los costos y beneficios asociados tanto con la adquisición de nuevos equipos como con la extensión del período de uso de los equipos existentes. Esto proporcionará a Cerrejón Limited una visión clara de las implicaciones financieras de las decisiones de reemplazo, permitiendo una toma de decisiones informada.

- **Integración de Principios ISO 55000:**

La metodología de toma de decisiones se ha mejorado significativamente al integrar de manera efectiva los principios de la norma ISO 55000. Esta integración garantiza que la gestión de activos en Cerrejón esté alineada con estándares internacionales reconocidos, promoviendo así las mejores prácticas y la eficiencia operativa.

- **Estrategia de Reemplazo Basada en el Ciclo de Vida:**

La estrategia de reemplazo desarrollada se fundamenta en la evaluación de los costos del ciclo de vida de los activos. Esto implica no solo considerar los costos inmediatos de adquisición, sino también los costos operativos, de mantenimiento y los beneficios a lo largo de toda la vida útil del equipo. Esta perspectiva a largo plazo asegura una gestión sostenible y rentable de los activos.

Referencias

- [1] 31000, I. (2018). *Gestión de riesgo- Directrices*.
- [2] Amendola, L. (2011). *La madurez como factor de éxito en la Gestión Integral de activos físicos*. Obtenido de Asset Management PAS 55: <http://www.mantenimientomundial.com/notas/Factor-PAS55.pdf>
- [3] CMAA, C. M. (2020). CMAA. Specification No. 70 - 2020. *Multiple Girder Cranes*. Copyright ©2020 by Crane Manufacturers Association of America, Inc. All rights reserved.
- [4] Davis Langdon, M. C. (Mayo de 2007). Life cycle costing (LCC) as a contribution to sustainable construction: a common methodology. 82. Obtenido de http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/construction/competitiveness/life-cycle-costing/index_en.htm
- [5] FEM. 9.511, f. E. (1986). Rules for the design of series lifting equipment: Classification of mechanisms. Serienhebezeuge (PG Krane und Hebezeuge - vormals teilweise Sek IX).
- [6] Fuenmayor, E. (13 de Febrero de 2020). Selección de un activo físico considerando sus costos en el ciclo de vida. Reability Connect.
- [7] H. M. Malano, N. C. (13 de Junio de 1999). Asset Management for irrigation and drainage infrastructure - Principles and case study. 109-129. Springer Link. doi:<https://doi.org/10.1023/A:1006254924281>
- [8] Harry Riddell & José Durán, T. W. (2008). Curso de Adiestramiento Costos de Ciclo de Vida. THE WOODHOUSE PARTNERSHIP LIMITED. Obtenido de www.twpl.com
- [9] ISO 15663:2021, O. i. (2021). *Petroleum, petrochemical and natural gas industries - Life cycle costing*. Zuiza: Zuiza: ISO copyright office.
- [10] ISO 31000. (2018). *Gestión de riesgo- Directrices*.
- [11] ISO 55000/PAS 55, I. O. (2014). *Gestión de activos*. Ginebra - Suiza: Standars ITEH. Obtenido de <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/55088/bf0026cab063456dbf8838e2e92ce917/ISO-55000-2014.pdf>

- [12] ISO 55001, O. I. (2014). Gestión de activos - Sistemas de gestión - Requerimientos. Ginebra, Suiza: ISO copyright.
- [13] J. E. Amadi-Echendu, R. W. (2010). Definitions, concepts and scope of engineering Asset Management. Pretoria, South Africa.
- [14] J. Orrego Barrera, P. Silva Ardila. (2016). Confiabilidad en la práctica. 2. Barranquilla/Medellín, Colombia.
- [15] UNE-EN 60300-3-3, A. E. (2009). *Gestión de la confiabilidad - Calculo del coste del ciclo de vida*. Madrid, España: AENOR - Asociación española de normalización y certificación.
- [16] UNE-ISO 55000:2015, A. E. (2015). Gestión de activos. Aspectos generales, principios y terminología. Asset management. Overview, principles and terminology. España. Obtenido de <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0054766>