

# PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

## Escuela de Posgrado



Optimización de la Gestión de Activos Móviles mediante  
Metodologías Predictivas y Planeamiento Estratégico: Caso de  
éxito en Unidad Minera Cerro Lindo

Trabajo de investigación para obtener el grado académico de  
Magíster en Regulación, Gestión y Economía Minera que presenta:

*Moisés Francisco Molina Cadenillas*

Asesor:

*Luis Fernando Gala Soldevilla*

Lima, 2022

## Informe de Similitud

Yo, Luis Fernando Gala Soldevilla, docente de la Escuela de Posgrado de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor del trabajo de investigación titulado “Optimización de la gestión de activos móviles mediante metodologías predictivas y planeamiento estratégico. Caso de éxito de unidad minera Cerro Lindo”, del autor Moisés Francisco Molina Cadenillas, dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 5%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 06/04/2023.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis o Trabajo de Suficiencia Profesional, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha:

Lima, 05 de mayo de 2023

Apellidos y nombres del asesor: <u>Gala Soldevilla, Luis Fernando</u>	
DNI: 09997663	Firma 
ORCID: 0000-0001-6147-5630	

## Resumen

La presente investigación tiene como principal objetivo conocer cuál es el impacto de la implementación de una metodología de planeamiento estratégico, metodologías de confiabilidad de mantenimiento, y metodologías de análisis de costos dentro de los indicadores principales de una organización. Se busca determinar cuánto puede mejorar el costo operacional es el área de mantenimiento de una unidad minera mediante la implementación de estrategias definidas por un estudio del contexto de la organización, reconociendo aquellos elementos o factores internos y externos y su relación entre ellos, aprovechándonos para realizar acciones, y controlarlas adecuadamente para conseguir un mejor desempeño en comparación con otras empresas del mismo porte. Se utilizó una metodología de estudio de caso en una unidad minera. Al final del trabajo podremos percibir la importancia de aplicar un mantenimiento predictivo en los equipos móviles de una organización, entender que es posible obtener un beneficio tanto comercial como técnico mediante la estandarización de la flota de activos móviles, que también es factible optimizar el flujo de caja de la empresa mediante la toma de decisiones asociadas a los equipos móviles, que a su vez mediante el tratamiento de contratos podemos mejorar la performance del mantenimiento de rutina, la importancia de la confiabilidad aplicada a los equipos móviles, la optimización que se puede tener mediante una perspectiva o visión a largo plazo, y finalmente que es importante mantener una tendencia a desarrollar iniciativas ESG con el fin de mantener un desarrollo sustentable y sostenible para la empresa en la que se aplique el proyecto.

## Abstract

The present investigation has as main objective to understand what's the impact of the implementation of a strategic planning methodology, maintenance reliability methodologies, and cost analysis methodologies within the main indicators of an organization. It seeks to determine how much the operational cost can improve in the maintenance area of a mining unit through the implementation of strategies defined by a study of the context of the organization, recognizing those elements or internal and external factors and their relationship between them, taking advantage of us to carry out actions, and control them properly to achieve a better performance compared to other companies of the same size. A case study methodology was used in a mining unit. At the end of the investigation, we will be able to perceive the importance of applying predictive maintenance in the heavy mobile equipment of an organization, understand that it is possible to obtain both a commercial and technical benefit through the standardization of the fleet of mobile assets, that it is also feasible to optimize the flow of cash flow of the company through decision-making associated with heavy mobile equipment, which in turn through the treatment of contracts we can improve the performance of routine maintenance, the importance of reliability applied to mobile equipment, the optimization that can be had through a long-term perspective, and finally that it is important to maintain a tendency to develop ESG initiatives in order to maintain a sustainable development for the company in which the project is applied.

# ÍNDICE

	<b>Pág.</b>
Resumen	ii
Índice	iv
Lista de Figuras	vii
 Introducción	 1
 <b>PRIMERA PARTE: MARCO DE LA INVESTIGACIÓN</b>	
 <b>CAPÍTULO I</b>	
<b>ESTADO DEL ARTE: PRINCIPALES FACTORES RELACIONADOS AL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN</b>	<b>6</b>
 1.1. Introducción	 6
1.2. Gestión de Activos Móviles Mineros	7
1.2.1 Indicadores Empleados en la Gestión de Activos	8
1.2.1.1. Confiabilidad.	8
1.2.1.2. Mantenibilidad.	9
1.2.1.3. Costos.	10
1.2.2. Metodologías De Gestión De Activos Móviles	11
1.2.2.1. LCC – Life Cycle Cost.	11
1.2.2.2. TCO – Total Cost of Ownership.	13
1.2.2.3. Otras Metodologías Aplicables.	14
1.3. Conceptos de Planeamiento Estratégico	15
1.3.1. Tipos De Planeamiento	15
1.3.1.1. Planeamiento Operativo.	15
1.3.1.2. Planeamiento Táctico	15
1.3.1.3. Planeamiento Estratégico	15

1.3.2.	Etapas para la Implementación de Planeamiento Estratégico	16
1.3.3.	Planeamiento Estratégico aplicado a Equipos Móviles	17
1.4.	Procesos Mineros Subterráneos y Equipos Móviles Asociados	18
1.4.1.	Diagrama de Procesos Mineros	18
1.4.2.	Tipos de Equipos Móviles e Indicadores	18
1.4.2.1.	Proceso de Perforación	18
1.4.2.2.	Proceso de Carguío y Acarreo	19
1.4.2.3.	Proceso de Desate de rocas	20
1.5.	Estabilidad Operacional por Medio del Área de Compras	21
1.5.1.	Proceso de Compras	21
1.5.2.	Modelos de Servicio y Tipos de Contratos	22
1.6.	Marco Teórico	23
<b>CAPÍTULO II</b>		
<b>ANÁLISIS DE PROBLEMÁTICA: PROBLEMÁTICA EN EL SECTOR MINERO RELACIONADA A GESTIÓN DE ACTIVOS. CONTEXTO DE LA EMPRESA ANALIZADA</b>		<b>26</b>
2.1.	Descripción de la realidad Problemática	26
2.2.	Alcance de la aplicación de Investigación	27
2.3.	Enfoque metodológico y disciplinas aplicadas	28
2.4.	Principales fuentes de información	29
2.5.	Benchmarking con otras empresas del rubro minero	30
2.6.	Estudio del caso en Unidad Minera Cerro Lindo	30
2.6.1.	Escenario Actual de la Unidad	31
2.6.2.	Indicadores y desempeño operativo y de mantenimiento	33
2.6.3.	Partes Involucradas	33
2.6.4.	Principales complicaciones reconocidas	34
2.6.5.	Metodología actual aplicada para Gestión de Activos Móviles	36
2.7.	Relevancia principal en la aplicación de la investigación	37

2.8.	Descripción de Proyecto de mejora	38
2.9	Determinación de Estrategias	40
2.10.	Resultados de Implementación	41
<b>CAPÍTULO III</b>		
<b>ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS</b>		<b>45</b>
3.1.	Detalle de Implementación	45
3.2.	Interacción con Partes interesadas	48
3.2.1.	Análisis Cualitativo de Resultados	49
3.2.1.1.	Análisis Cualitativo de Etapa de Diagnostico	49
3.2.1.2.	Análisis Cualitativo de Etapa de Implementación	51
3.2.1.3.	Análisis Cualitativo de Etapa de Control	52
3.2.2.	Análisis Cuantitativo de Resultados	53
3.2.2.1.	Costos operacionales del área de Mantenimiento	53
3.2.2.2.	Indicadores de Productividad	55
3.2.2.3.	Otros indicadores afectados	56
3.3.	Discusión General de la Hipótesis	57
Conclusiones		60
Bibliografía		64
Anexos		68

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Taller de Mantenimiento Unidad Cerro Lindo	7
Figura 2: Ejemplo gráfico de LCC	12
Figura 3: Distribución estimada del Costo Total Operacional para Equipos	13
Figura 4: Equipo Scoop de Cerro Lindo en taller de proveedor	20
Figura 5: Equipo Scaler de Cerro Lindo en taller de proveedor	21
Figura 6: Cálculo de Costo Anual Equivalente para escenarios de LCC - Scoop 14t	42
Figura 7: Cuantificación de Escenarios en términos de Costo por hora	43
Figura 8: Comparativo de escenarios para Scoop evaluado	44



## Introducción

Actualmente, el Perú es uno de los países que tiene un gran potencial de crecimiento en cuanto a recursos se refiere. Esto lo podemos notar evaluando el impacto de las distintas actividades dentro del producto bruto interno del país, siendo una de las actividades que aporta más a este indicador la minería. La minería es una actividad que sigue principios sencillos de entender, pero con una gran cantidad de procesos que ocasionan que sea una industria o rubro muy interesante de evaluar y con muchas oportunidades de mejora. Para entender la magnitud de esta actividad, podemos ver diversos pilares que se encuentran involucrados directamente en esta, como por ejemplo los aspectos sociales, políticos, ambientales, económicos, y de calidad. Al ser una actividad que tiene mucho impacto en la economía del país, muchas empresas compiten para ubicarse como una de las mejores dentro del rubro. La competencia se puede dar de diversas formas, siendo una de ellas la obtención de un mejor margen económico como resultado del proceso y de las acciones realizadas para atender los objetivos.

El margen económico en pocas palabras se rige como la diferencia entre los ingresos de la actividad minera, y todos los costos o gastos realizados como parte del proceso. Como sabemos, los ingresos muchas veces se rigen por factores que no dependen directamente de la empresa minera, como por ejemplo el precio del metal que se va a comercializar o extraer, la capacidad de extracción o producción de la empresa o de la unidad minera, las ventas realizadas del producto asumiendo la existencia de clientes continuos, y la estabilidad en la calidad del mineral dentro del macizo rocoso. Por ende, es muy común mantener una competencia, con las demás empresas de este u otros sectores, relacionada a los costos, siendo estos un factor muy dependiente a la empresa que realiza esta actividad. Para poder comparar entre diversas empresas, existe una escala de costos en las cuales cada empresa tiene una posición con respecto a las otras, y se divide en cuartiles de costo. Las empresas buscan siempre posicionarse entre el primer y segundo cuartil de los mejores costos, por lo que siempre se va a ver motivada a desarrollar nuevos proyectos de mejora para poder reducirlos y

poder asegurar un puesto adecuado comparado con sus competidores. Estos costos son determinados por muchos factores, siendo la gran parte y los que tienen mayor impacto aquellos factores directamente relacionados a la operación, explotación, y exploración de reservas mineralizadas. Al ver que estas actividades tienen un alto impacto, es muy recomendable buscar un factor en común entre estas para poder trabajarlo en conjunto y poder maximizar la reducción de costos. Una de las consideraciones que podemos observar que es muy común entre todas esas actividades es la presencia de equipos o maquinaria pesada. La gestión de los activos móviles juega un papel muy importante dentro de la determinación de los costos operativos y costos de inversión de toda unidad minera, siendo uno de los pilares a ser considerado dentro de la estrategia de reducción de estos. Sin embargo, es también importante resaltar que, al ser los equipos directamente utilizados en la parte de producción, muchas veces se busca aprovechar el activo al máximo con el fin de maximizar la producción. Esta es una práctica muy común dentro de la minería, y ésta ocasiona que aquellos activos móviles involucrados dentro de la operación se terminan consumiendo en una velocidad extremadamente alta. Dhillon (2008) aborda esto indicando que la minería usa muchos equipos sofisticados y específicos, los cuales se encuentran expuestos a una presión muy grande para atender cuotas de producción y a su vez tienen una evolución grande en costos, debido a que estos solo se encuentran en incremento a lo largo de los años. (p. 1)

Al tener este consumo excesivo de los activos relacionados a la minería, tanto los gerentes de mantenimiento como de mina frecuentemente tienen decisiones de forma reactiva, debido a que ya se encuentran con los problemas en la parte del mantenimiento y la operación de los equipos evaluados. Esta interacción y toma de decisiones genera que exista un atraso en el planeamiento estratégico de estos equipos, debido a que muchas empresas que suministran dichos activos no cuentan con una disponibilidad y tiempos de entrega adecuados para atender la necesidad de la operación, visto que ya los equipos se encuentran completamente consumidos. Esto genera un incremento dentro de los costos de mantenimiento

para buscar rescatar o mantener una estabilidad de estos activos en el tiempo. Además, esto no permite que tomemos una decisión estratégica al momento de valorar los activos, ya que sólo nos concentramos en solucionar el problema y no vemos de forma global todo el negocio y perdemos muchas oportunidades de negociación comparado a una adquisición de forma masiva de estos equipos.

Por ende, es lógico pensar que todos estos problemas ocasionados por una deficiente decisión realizada por los gestores cuya visión del problema y de la oportunidad se ve limitada a obtener una mayor producción, incrementaría exponencialmente los costos de mantenimiento relacionados a estos activos, siendo está la principal pregunta realizada al momento de iniciar la investigación. Con el fin de evitar una mala decisión dentro de las categorías de equipos móviles mineros, la propuesta de solución sería el desarrollo de un plan estratégico que involucre la adquisición de estos activos móviles, el mantenimiento de estos, y diversos parámetros de operación que aseguren una estabilidad dentro de los costos. Es por esto también que la principal hipótesis del presente trabajo es que se puede generar una reducción de los costos operacionales en al menos 5% a través de un adecuado diagnóstico predictivo del mantenimiento usando metodologías de gestión de activos móviles con el soporte de contratos mineros. Y observándolo desde varios pilares de la teoría, hace sentido que esta presunción sea verdadera. Para esto, será necesario realizar un análisis de causa raíz en los principales problemas de pérdida de producción en la operación, compararlos, ponderarlos y generar una priorización para así entender el impacto en estos factores.

El problema presentado en la presente investigación es el impacto perjudicial que tenemos en los costos de las operaciones mineras al tener un mantenimiento deficiente, sin considerar una estrategia a medio o largo plazo, donde exista una mala previsibilidad de los activos y una gobernanza adecuada que pueda ser aplicada para una empresa con varias operaciones mineras, perdiendo la oportunidad de ganar conocimiento mediante el compartir de experiencias entre equipos de mantenimiento, y en paralelo mediante la explotación de los

activos móviles sin considerar los indicadores de control relevantes en el mantenimiento como lo son la vida del activo, la disponibilidad, confiabilidad, los costos de mantenimiento, costos de propiedad, y la depreciación. Este será abordado mediante las metodologías de control de indicadores y metodologías de mejora continua para atender cada arista de este problema.

El objetivo principal es evaluar el impacto que se obtiene al implementar metodologías de Planeamiento Estratégico para Gestión de Activos en el desempeño en costos, financiero y operativo de la empresa minera. Esto puede ser determinado mediante indicadores de gestión, performance y desempeño de los equipos móviles en la operación. Serán considerados criterios cuantitativos y cualitativos para asegurar el buen desempeño de la operación.

Los objetivos secundarios son el evaluar la respuesta de los involucrados ante un proceso de cambio dentro del planeamiento de flota, del modelo de mantenimiento, de modelo de adquisición y del modelo presupuestario. Buscamos entender cuánto afecta la costumbre y la rutina de varios años en las propuestas de innovación y cambio en procesos de soporte. A su vez, se busca como objetivo complementario evaluar la variabilidad de previsión con relación a la realidad de la operación referente al mantenimiento de equipos. Se busca también obtener un beneficio económico y financiero con los nuevos modelos de mantenimiento para los equipos considerados.

Como principal estrategia metodológica de esta investigación, se empleará un estudio de caso junto con una herramienta cuantitativa para demostrar los impactos generados por la implementación. Se usa como metodología principal el estudio de caso debido a que muchos de los factores involucrados tienen una relación con el ser humano y la respuesta ante una gestión de cambios planteada por la implementación de un sistema de soporte en la operación. Para esto, se presentarán todas las dificultades materializadas en la implementación de la investigación, los representantes o individuos que participaron de la implementación y control, el mecanismo de seguimiento, y las respuestas a la implementación. Lora, Patiño. y Ruiz (2022) muestran que mantener un método de control de los indicadores brindan grandes

resultados en la investigación final, por lo que será planteado una metodología similar de control. (p.190)

Se usará el caso de una unidad minera en la cual se tiene una accesibilidad en la información. La colección de datos será mediante los reportes presentados por el área de gestión de la misma unidad, por las actas de las reuniones planteadas por la gobernanza de esta implementación, y mediante un mapeo de los indicadores del área de compras para el seguimiento de rutina de los pedidos de compra. Habrá un monitoreo de tiempos de atención y un impacto por la implementación del sistema. Las partes que participarán de este control serán las áreas de gestión, mantenimiento, mina, compras, financiero, contraloría, comité de inversiones y de venta de activos. A su vez, se aprovechará una investigación preliminar realizada por mi persona (2020) para adquirir la información automatizada mediante sistema PI, mostrándose como conclusión de este trabajo que los indicadores de equipos móviles pueden ser compilados en este servidor y disponibilizados en paneles de control (p. 94).

El presente trabajo será dividido en tres capítulos principales y un capítulo adicional con las conclusiones de la investigación. En el capítulo uno se realizará todo el detalle de la bibliografía relacionada al tema y haremos un resumen de todas las conclusiones o teorías vertidas por distintos autores. Buscaremos trabajos anteriores que tenga criterios similares a los que serán aplicados dentro del presente. En el capítulo dos, plantearemos todo el problema de la investigación y daremos detalles del estudio de caso considerado en la presente investigación. Mostraremos a su vez un comparativo de la situación actual de esta problemática en otras unidades mineras y a su vez evaluaremos las metodologías aplicadas para poder evitar inconvenientes con la aplicación de estas. Finalmente, el tercer capítulo hará un análisis de todas las opiniones vertidas por los diversos autores comparado con los resultados de la aplicación de la presente investigación en el caso presentado en el capítulo anterior, siendo esto una premisa muy importante para el planteamiento de las conclusiones y recomendaciones vertidas por el autor.

## **Capítulo I: Estado Del Arte: Principales Factores Relacionados al Problema de Investigación**

### **1.1. Introducción**

El presente capítulo tiene como objetivo compilar toda la información brindada por diversos autores con respecto a los temas principales que se van a tratar en la presente investigación. A su vez, será complementado con información dada por la experiencia en la materia tratada y por medio de diversos comparativos en el rubro minero relacionados a este tema. Como primer punto vamos a dar a conocer diversos conceptos relacionados a las metodologías de gestión de activos móviles mineros, las cuales tienen como punto principal la gestión de costos y el análisis preventivo y predictivo de la flota de mina. Procederemos a detallar cuáles son los costos involucrados, la interrelación entre cada uno de ellos, y cómo se puede llegar a una toma de decisiones adecuada mediante los indicadores que éstos determinen. Posterior a esto buscaremos entender los conceptos generales del planeamiento estratégico, detallar cuáles son los pasos para poder tener una planificación adecuada, y entender cuáles son los tipos de planeamiento que podemos tener en el rubro minero.

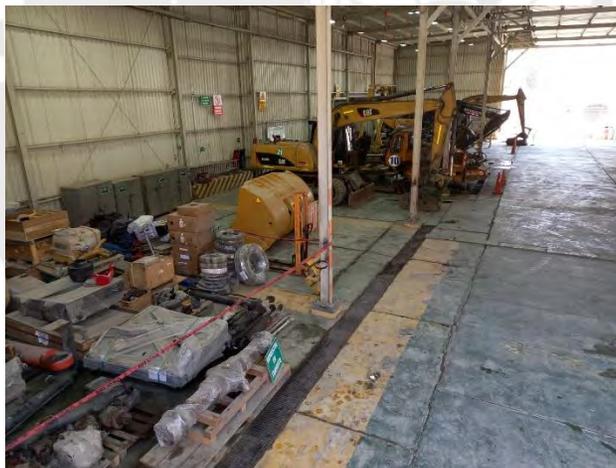
Después vamos a mencionar con respecto a los procesos mineros, entender la relación que tiene cada proceso con los equipos móviles, y evaluar los impactos que podríamos tener mediante el control de indicadores operativos. Esta sección servirá para colocar en contexto a todos los lectores que no pertenecen al rubro minero, pero buscan relacionar los posibles impactos trabajados dentro del proyecto asociados a lo que se podría tener para cada una de las actividades del proceso minero metalúrgico. Finalmente, como último capítulo vamos a dar un enfoque del proceso de compras y cadena de abastecimiento para asegurar una estabilidad en los costos involucrados para cada uno de estos equipos. Detallaremos distintos modelos de servicio, formas de negociación, y dando un enfoque en la gestión de contratos para materializar todos los acuerdos que se tengan producto de este análisis. Esta sección es muy importante para entender que, dentro del proceso de compras, es clave conocer a la operación

y las necesidades que puedan tener para cubrir el mantenimiento de la flota de activos móviles que se tiene en la empresa.

## 1.2. Gestión de Activos Móviles Mineros

Dentro de la rutina operativa por parte de la mina, las gerencias encargadas del mantenimiento y de la gestión de activos frecuentemente necesitan decidir cuando un activo mayor tiene que ser reemplazado. La gran incertidumbre dada en este contexto es que, dentro de la rutina, muchas veces no existe el tiempo suficiente para analizar preventivamente estas necesidades de cambio. A su vez, la forma más visible de determinar el tiempo de cambio es mediante el rendimiento del activo en el presente, siendo que cuando un equipo móvil presenta varios problemas mecánicos, y genera paradas mayores a las que históricamente se tenían monitoreadas, es mayormente el único indicador que se toma en cuenta para determinar el fin de la vida de este activo.

Figura 1. Taller de Mantenimiento Unidad Cerro Lindo



Fuente: Fotografía propia

Es por esto por lo que el rubro minero ha desarrollado muy bien la gestión de indicadores, y con el objetivo de tener una mejora continua en el tiempo, ha desarrollado distintas metodologías que consideran parámetros cualitativos y cuantitativos para determinar el punto óptimo de sustitución de estos equipos. Tal y como menciona Kirstein (2017) en su

artículo, una de las formas para determinar la vida óptima de reemplazo de una máquina, es cuando esta máquina tiene la menor cantidad de pérdidas, ya sea por costos directos, inversiones de capital, riesgos a la seguridad y al medio ambiente, y rendimiento productivo en la rutina (p. 67). En la presente sección vamos a hablar con respecto a los indicadores que están considerados dentro de esta toma de decisión, los cuales clasificaremos en indicadores de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad; vamos a dar una descripción de las diversas metodologías que se plantean en diversos estudios para calcular aproximadamente cuál es el tiempo óptimo de sustitución de un activo, y finalmente haremos un análisis de cuáles son los métodos con mayor confiabilidad y que fueron utilizados en la siguiente investigación.

### **1.2.1. Indicadores Empleados en la Gestión de Activos**

#### **1.2.1.1. Confiabilidad.**

Tal y como menciona Dhillon (2008), a medida que los equipos de minería se vuelven más complejos y sofisticados, el costo de éstos incrementa rápidamente. Esto ocasiona que se vuelva ineficaz contar con varias unidades de equipo. Es por esto por lo que las empresas exigen cada vez una mejor confiabilidad de cada equipo (p. 57). La confiabilidad es un buen indicador de desempeño del equipo y tiene como concepto principal la probabilidad de que un repuesto cumpla su función satisfactoriamente en el tiempo de vida deseado.

El objetivo principal de optar por monitorear la confiabilidad de un equipo es maximizar las ganancias, reducir los costos operativos, proveer mejor previsión del planeamiento en el corto plazo, lograr una competitividad en la minería global y nacional, y aprovechar los errores para obtener nuevos aprendizajes y aplicarlos en la rutina. El primer indicador es la disponibilidad, la cual mide el porcentaje de tiempo en el cual el equipo móvil se encuentra habilitado para uso en la operación. El siguiente indicador es el tiempo medio entre fallas, o también llamado MTBF. Este indicador mide el tiempo que tomará como media un equipo en fallar desde su última reparación. El otro indicador por excelencia es la utilización, la cual controla el porcentaje de uso que se le da al activo mientras se encuentra disponible. Como

indicador adicional, se considera la eficiencia de producción, el cual controla el ratio de productividad empleado en la operación, considerando la producción real versus la producción estimada por la capacidad máxima del sistema minero. Finalmente, como indicador clave en este criterio se encuentra la efectividad global del equipo, el cual se calcula como el producto de la disponibilidad con la eficiencia de producción y a su vez con la utilización.

#### **1.2.1.2. Mantenibilidad.**

Dhillon (2008) también define la mantenibilidad como una característica integrada de diseño instalación que proporciona el sistema o equipo resultante con una capacidad inherente para ser mantenido lo que lleva a reducir los costos de mantenimiento, los niveles de habilidad requeridos, las herramientas necesarias, y las horas hombre de trabajo (p. 47). En resumen, la confiabilidad es una característica de diseño que conduce a la durabilidad del sistema a medida que realiza una función específica de acuerdo con la condición y el periodo de tiempo establecido. Éste se logra a través de diversas medidas incluida la selección de principios óptimos de ingeniería, el control de procesos, el dimensionamiento satisfactorio de componentes, y las pruebas realizadas.

Para tener un buen análisis en la mantenibilidad de los equipos normalmente se utiliza el monitoreo de tiempos y se distribuyen mediante diversas funciones matemáticas que ayudan a estudiar el comportamiento de estos eventos. Con estos modelos podemos predecir o anticipar cualquier falla que pueda haber en el equipo. Entre las funciones o distribuciones que podemos hallar, encontramos la distribución de Weibull, distribución exponencial, distribución normal, y distribución gamma.

Haifeng Ge, Asgarpoor y Hou (2011) demuestran en su investigación que es posible generar nuevos modelos para evaluar el comportamiento de los distintos equipos. En su investigación indican que como el envejecimiento y el mantenimiento de estos equipos impactan en el rendimiento de estos, es necesario desarrollar modelos matemáticos que permitan incorporar factores de confiabilidad de activos tanto para los equipos como para los

sistemas. También indican que, con el fin de hacer frente a incertidumbres asociadas a falta de datos o ambigüedad de estos, se utilizan técnicas de simulación de datos que ayudan a demostrar el comportamiento del modelo.

Como concepto general podemos decir que la mantenibilidad busca entender el comportamiento de todos los datos involucrados en la gestión de mantenimiento y poder dar una previsibilidad a las fallas que anteriormente se creían que ocurrían de forma aleatoria.

### **1.2.1.3. Costos.**

En varias operaciones mineras podemos percibir que todos los trabajos de reparación y mantenimiento son necesarios. Es importante reconocer que cuando hay un trabajo crítico dentro de la operación, éste debe realizarse cuanto antes. Sin embargo, pocos gerentes se dan el tiempo de averiguar o identificar cuáles son los trabajos importantes para hacer. La planificación en costos es clave para poder identificar cuáles son los trabajos que se deben priorizar, y tiene como único objetivo la reducción de costos de operación en la mina.

Podemos diferenciar varios tipos de costo cuando hablamos de equipos móviles. El primero de ellos es el costo de inversión. El costo de inversión es aquel valor comprometido en la adquisición o en la reparación mayor de un equipo. Yatsenko & Hritonenko (2015) muestran en su investigación un detalle muy claro de cuáles son los costos e indicadores que se involucran en este análisis. Su trabajo emplea fórmulas específicas para el cálculo de análisis de sustitución de los activos mediante un algoritmo práctico, donde podemos observar costos operativos, costos de mantenimiento, valor de salvataje del equipo, número máximo de vidas mediante Overhauls, horas de vida máxima por cada período, costo anual equivalente, y valores de reventa del activo (p. 2925).

La forma de controlarlos es frecuentemente con la vida del equipo, siendo generado un indicador que puede ser comparable con otros equipos del mismo tipo. Para ecualizar, simplemente se tiene que tomar el costo de inversión y dividirlo entre la vida en horas de utilización que esta inversión puede generar en el equipo. También hay el costo de repuestos,

el cual se genera por la compra de aquellas partes del equipo que se necesitan reemplazar en el mantenimiento de rutina diaria. Hay que considerar que este reemplazo requiere también de una mano de obra y de un servicio especializado para la ejecución. Considerando esto, otro costo involucrado es el costo del servicio. Este normalmente se calcula con el valor por técnico o persona, considerando carga indirecta, costo de las herramientas, y otros costos que se puedan incurrir en la ejecución de ese servicio. Entre otros costos que podemos reconocer son los costos por reemplazo de componentes mayores, costo por consumo de combustible, costo por reemplazo de llantas, costo por elementos lubricantes, y costos financieros en caso si hay optado por una medida de financiamiento con un agente externo.

Tomlinsong (2009) ha identificado formas para evitar etapas de reducción de costos arbitrarios. Menciona que el incremento dramático de costos en mantenimiento está generando un gran revuelo entre los gerentes. En el pasado, la gran parte gerentes han sido forzados para hacer reducciones arbitrarias en la mano de obra del mantenimiento para reducir los costos. Cuando la producción resurgió, ellos mismos se dieron cuenta que estas acciones arbitrarias habían reducido las capacidades del mantenimiento de su misma planta. Haciendo un análisis en retrospectiva, la acción más apropiada hubiera sido determinar precisamente donde se podría reducir los costos de mantenimiento y apuntar los esfuerzos en esa zona. El resultado hubiera sido una reducción del costo en las áreas correctas con un enfoque correcto en el esfuerzo de mantenimiento, en vez de debilitar al departamento de mantenimiento como un todo.

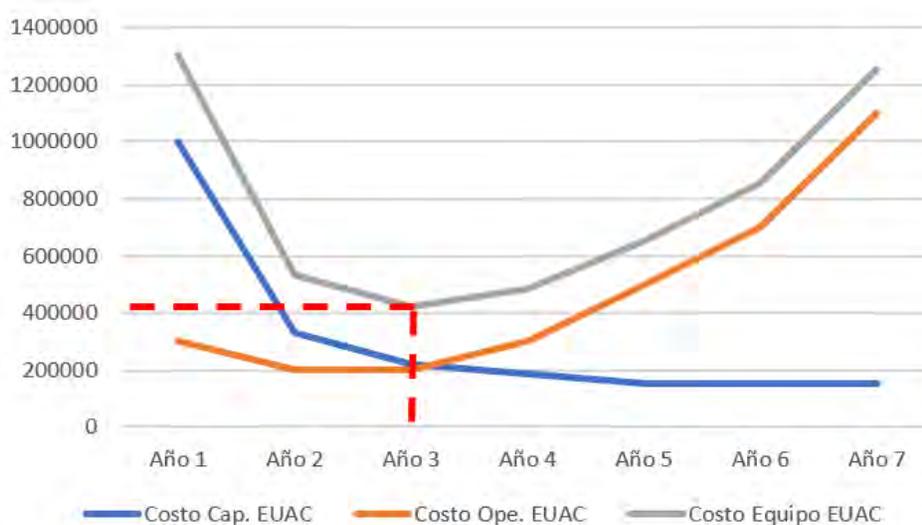
## **1.2.2. Metodologías De Gestión De Activos Móviles**

### **1.2.2.1. LCC – Life Cycle Cost.**

Du Plessis (2007) nos ha mostrado que diversos gerentes deciden de diversas maneras el momento en el cual el equipo debe ser reemplazado, pero una gran mayoría lo hace principalmente mediante la minimización del costo del ciclo de vida del equipo o también llamado LCC. El LCC es el proceso por el cual se busca predecir los costos de algo durante su

vida desde la adquisición, durante la operación y mantenimiento, hasta la disposición final de este. La minimización del LCC tiene como objetivo mantener la función costo a través de toda la vida de la mina en el menor punto posible. Mientras que los costos operativos regularmente son estables, los costos de mantenimiento son muy volátiles e incrementan con el tiempo del activo. Es por esto por lo que los costos de mantenimiento son más importantes que los costos operativos en un análisis LCC (citado en Kirstein. 2017, p. 67).

Figura 2. Ejemplo gráfico de LCC



Fuente: Elaboración Propia

Una forma de simplificar esta metodología es entendiéndola mediante sus componentes en costo. Primero tenemos el costo de inversión del activo el cual durante la vida comienza a bajar debido a la misma depreciación del equipo. Esto lo vamos a comparar con la curva del costo de mantenimiento. El mantenimiento tiene una función similar a una curva creciente. Esto es debido a que, al inicio de la vida del equipo, el equipo es tan nuevo que los repuestos y componentes no requieren ser reemplazados, y el equipo de por sí tiene poca probabilidad de Falla. Mientras más avanza el tiempo, se vuelve más común la paralización por un problema en un componente o repuesto de este activo. Al ser una periodicidad mucho mayor de mantenimiento, el costo comienza a ser incremental. Considerando estas dos curvas nos

vamos a dar cuenta que, al momento de sumar estos dos costos, se va a generar otra curva formando una especie de U. El objetivo de este análisis es determinar el punto en el cual nosotros tenemos el costo más bajo para así saber en qué momento es adecuado reemplazar este equipo.

### 1.2.2.2. TCO – Total Cost of Ownership.

Al momento de tomar una decisión en equipos móviles, cuando tenemos que comparar dos equipos similares de diferentes marcas, un error muy común es basarse solamente en el costo de adquisición. Al momento de hacer esto, podemos cometer un error grave debido a que un equipo de menor costo no necesariamente es el que va a traer más ahorros para la operación. Es muy frecuente que aquellos equipos que tienen un costo de adquisición bajo tengan una calidad menor y por ende se genere un incremento en los costos asociados al mantenimiento. Por ejemplo, si nosotros comparamos dos camiones, uno que cuesta 300,000 USD y el otro que cuesta 350,000 USD; es muy probable que a primera vista se decida optar por el primer camión. Cuando vemos las especificaciones de estos equipos, podemos darnos cuenta de que el primer equipo consume el doble de combustible que el segundo recorriendo la misma distancia. En caso de haber elegido el primer equipo, estaríamos posiblemente gastando en combustible 100,000 USD más en los 3 años de vida que tendría este camión. Y esto no solamente ocurre con el combustible, también puede haber un impacto en otros indicadores como llantas, repuestos, componentes, servicio, entre otros.

Figura 3. Distribución estimada del Costo Total Operacional para Equipos



Fuente: Elaboración Propia

La metodología TCO busca identificar todos los costos que están asociados al mantenimiento y operación de este equipo, y traducirlos en un solo indicador para que así podamos comparar correctamente el rendimiento en costo de cada uno de estos equipos, y podamos tomar una decisión adecuada que genere sustentabilidad a la operación minera. para poder calcular el costo total de propiedad del equipo, sólo procederemos a hacer la suma de cada uno de los componentes en costo de este activo, y lo dividiremos entre la vida del equipo para poder determinar un costo por hora. existen equipos que se pueden vincular directamente con la parte de producción, es por esto por lo que muchas veces vamos a identificar indicadores que dependen de parámetros de producción, como por ejemplo toneladas de producción, metros perforados, kilómetros recorridos, entre otros.

### **1.2.2.3. Otras Metodologías Aplicables.**

Yatsenko y Hritonenko (2020) realizan una investigación en la cual buscan generar un modelo estocástico que permita calcular el momento óptimo de reemplazo de equipos. Realizaron un algoritmo en el cual se podía utilizar fórmulas con variables imprecisas. Plantean una situación en la cual una empresa o corporación utiliza muchas máquinas que realizan la misma función, pero difieren en los costos de reemplazo y operación. Los costos operativos son medidos mediante intervalos de tiempo discreto y los costos operativos también varían para diferentes máquinas que tienen la misma vida, lo cual naturalmente genera una incertidumbre en la estimación del costo dependiendo de la edad. Asumiendo que la máquina tiene unos costos operativos que estocásticamente incrementan mientras se hace más obsoleta. Con el fin de clarificar y simplificar el cálculo, ellos desconsideran la dependencia de los costos operativos con el tiempo presente y la escala de producción. Al hacer esto lo que generan es un comportamiento que no depende del tiempo, sino de un modelo matemático que sigue una distribución estadística. Al realizar esto, se puede reemplazar toda la información colectada por los equipos y calcular el punto adecuado para poder hacer la sustitución de este. Así como esta metodología, existen muchas que están siendo implementadas a la fecha.

Frecuentemente se utilizan indicadores de tiempos, probabilidades, riesgos, e indicadores de confiabilidad o mantenibilidad.

### **1.3. Conceptos de Planeamiento Estratégico**

#### **1.3.1. Tipos De Planeamiento**

##### **1.3.1.1. Planeamiento Operativo**

El planeamiento operativo es aquel conjunto de procedimientos que son los más adecuados para poder llevar a cabo las diversas actividades operativas de la misma unidad minera. Esta puede estar conformada por estándares de operación, diagramas de proceso, instructivos de trabajo, y procedimientos que indican el paso a paso para la ejecución de cada una de las actividades. frecuentemente este tipo de planeamiento queda en un nivel inferior a la Jefatura de los procesos mineros metalúrgicos principales.

##### **1.3.1.2. Planeamiento Táctico**

Podemos definir al planeamiento táctico como el conjunto de programas de acción dirigido a objetivos intermedios que son supeditados a objetivos supremos de la organización. Son aquellos planes que buscan interrelacionar procesos y generar un mejor control como unidad minera. Su principal enfoque es en los objetivos a corto y mediano plazo, por lo que es muy común ver los asociados con metas de producción, costos, hasta incluso con indicadores de seguridad. Este tipo de planeamiento queda a un nivel gerencial de las áreas operativas.

##### **1.3.1.3. Planeamiento Estratégico**

El planeamiento estratégico es aquel conjunto de planes de acción de diversas áreas de la empresa que se formulan para establecer en forma permanente pautas fundamentales del comportamiento de la organización. Estas acciones tienen un impacto directo en los objetivos de la organización, tienen a su vez una percepción a largo plazo, y tiene como objetivo fundamental estandarizar los procesos que serían aplicables para toda una corporación.

Geraghty et al. (1984) mencionan que el planeamiento estratégico es el proceso que determina las metas y objetivos a largo plazo de los cursos de acción y la distribución de recursos necesarios para cumplir esas metas (citado en Lassila et al., 2011, p. 447).

Lassila et al. (2011) también hacen referencia a las preguntas clave que se requieren para hacer un análisis estratégico. Las principales preguntas que surgieron fueron: ¿Cuáles son los factores más convincentes que impulsan la renovación de equipos? ¿Qué otras alternativas de desarrollo de equipos existen? ¿Cuál es el potencial técnico-económico? ¿Cuáles son los efectos de la confiabilidad y los costos en los diferentes métodos de sustitución? ¿Cuáles son los parámetros utilizados en el proceso estratégico? Y ¿quiénes son los dueños de los objetivos, y cuáles son las oportunidades y herramientas provistas por el dueño del proyecto de desarrollo? (p. 453)

### **1.3.2. Etapas para la Implementación de un Planeamiento Estratégico**

Dentro de esta sección podemos identificar seis etapas principales para poder implementar un planeamiento estratégico adecuado en cualquier empresa. La primera es realizar un adecuado análisis de escenarios. Consiste en estudiar todas las circunstancias que rodean al proyecto para detectar cualquier oportunidad que pueda existir y buscar anticipar todos los riesgos que puedan materializarse dentro de la ejecución de este planeamiento. Como segundo punto se busca formular una visión a futuro. Se trata de saber hacia dónde queremos dirigirnos, estableciendo el objetivo al que se desea llegar. Como tercera etapa debemos seleccionar las estrategias. Las estrategias se entienden como los caminos que se pueden tomar para alcanzar las metas y objetivos que se identificaron en la visión a futuro. Como cuarto punto se debe asignar una misión. La definición de misión va a responder a 2 preguntas principales. La primera pregunta es ¿qué se hará?, mientras que la segunda pregunta es ¿dónde se hará? La misión, por ende, es el producto de una visión preliminar que nos indica el camino hacia dónde se desea dirigir la empresa. Como quinto punto lo que buscamos es diseñar la estructura principal de la organización. Cada empresa necesita contar

con una estructura que se adecúe a la misión definida previamente. Esta estructura puede tener diversas propiedades, pudiendo ser funcional, por proyecto, divisional, en forma de holding, internacional, o siendo una microempresa que trabaja en conexión con empresas de mayor porte. Como última etapa se requiere preparar el plan de acción. En éste se definen los objetivos asignados a cada persona y a cada área, se obtienen y asignan los diversos recursos humanos, tecnológicos y económicos. Además, se pone en marcha las actividades diarias, y se monitorean los resultados.

### **1.3.3. *Planeamiento Estratégico Aplicado a Equipos Móviles***

Muchas tomas de decisiones enfocadas en equipos móviles son realizadas de forma local. Existen diversas necesidades que cada unidad minera tiene, y actividades operativas que son condicionadas a la realidad e historia de la operación. Esta decisión ocasiona que las empresas mineras adquieran equipos que son de diferentes marcas. Al hacer esto, el principal problema se da en la gestión de la posventa, ya que se requiere de un servicio especializado para cada tipo de equipo, y además se requiere tener una gestión de materiales o repuestos que atiendan a las diferentes necesidades de ambas marcas. El planeamiento estratégico para aplicar en equipos móviles tiene que partir de una iniciativa corporativa, en la cual se evalúen todas las necesidades de la operación u operaciones que posee a la compañía, y se decida adquirir una flota estandarizada que permita tener beneficios tanto en la parte comercial como en la parte técnica. Además, la visión de equipos móviles tiene que ser mínimo de 5 años, debido a que en promedio los equipos móviles tienen una vida muy alineada a este número. Esto no quiere decir que vayamos a prevalecer la parte económica a las condiciones de cada unidad, quiere decir que debemos involucrar de forma más próxima a los proveedores para que nos puedan brindar soluciones adecuadas a nuestro negocio.

## **1.4. Procesos Mineros Subterráneos y Equipos Móviles Asociados**

### **1.4.1. Diagrama de Procesos Mineros**

La minería subterránea se puede ejecutar con ayuda de un ciclo de actividades que se necesitan realizar para poder cumplir labores de desarrollo o producción. A su vez, vamos a poder identificar que los macroprocesos de la mina también se pueden disponer en una forma de sistema, el cual nos permite identificar cuáles son los procesos preliminares, *inputs* o ingresos, actividades a ser realizadas, *outputs* o salidas, y finalmente procesos sucesores. dentro del proceso minero general podemos identificar como primer punto a la exploración o prospección de mina. seguidamente identificaremos al proceso de operación mina, en el cual nos vamos a enfocar principalmente en esta investigación. posterior a este podemos distinguir los procesos de planta concentradora, transporte de concentrado, refinamiento, entre otros. Cabe resaltar que este proceso minero va a depender mucho del metal que se esté extrayendo. pese a esto, el proceso de operación mina subterránea es muy similar sea cual fuere el metal. Dentro de la operación mina vamos a identificar algunas actividades que se desarrollan de forma continua, como por ejemplo: la perforación, el carguío de frentes con explosivos, la detonación, la ventilación, la extracción de mineral, el desatado de rocas y el sostenimiento.

Existe una amplia gama de equipos móviles que ayudan a realizar un proceso minero de forma adecuada. Éstos tienen diversas características que se ajustan a las condiciones que puede haber en cada una de las minas presentes a nivel nacional. A su vez, dentro de una misma operación se pueden emplear diversos tipos de equipos que soportan a cada uno de los procesos, y que dan como resultado la producción del concentrado de mineral.

### **1.4.2. Tipos de Equipos Móviles e Indicadores**

#### **1.4.2.1. Proceso de Perforación.**

La primera flota para tratar es la flota de equipos de perforación. Como proceso, la perforación nos permite separar la roca del macizo rocoso de forma adecuada junto con los explosivos involucrados en la voladura de rocas. Existen diversos tipos de perforación, y para

cada uno de estos se les asigna un tipo de equipo específico. La perforación horizontal es clave para el desarrollo minero y para ejecutar labores como galerías o cruceros. El equipo por excelencia para realizar este tipo de perforación es el denominado Jumbo. Consiste en un equipo que tiene dos lanzas en la parte frontal, las cuales son controladas gracias a un operador que calcula los puntos donde se tiene que hacer los taladros. Existen diversos tipos de Jumbos, los cuales se diferencian por alcance de sección, por tecnología, e incluso por la velocidad de perforación y penetración en la roca.

El siguiente tipo de perforación es la perforación radial, la cual sirve principalmente para liberar masivamente el mineral por medio de explotación por subniveles. El equipo para emplear es el Fandril, el cual permite hacer taladros de hasta 30 metros gracias al tambor que permite acoplar Lanzas de perforación en serie, y se puede hacer de forma vertical o inclinada.

Finalmente existe la perforación para el sostenimiento con pernos, la cual es realizada por los equipos emperadores o también llamados Bolter. Estos perforan taladros radiales de corto tamaño, lo suficientemente grandes para insertar un perno de sostenimiento.

Los indicadores que más se emplean para controlar la perforación son: número de taladros, metros perforados, eficiencia de perforación, diámetro de perforación, rendimiento por hora, consumo de brocas, horómetro de perforación, horómetro de Powerpack, y horómetro diésel.

#### **1.4.2.2. Proceso de Carguío y Acarreo.**

El otro proceso es el proceso de carguío y acarreo, el cual solo emplea dos equipos principales: los equipos Scoop, y los camiones. La Society for Mining, Metallurgy and Exploration (2011) detalló que los scripts o cargadores trasladan mineral y desmonte desde un frente de desarrollo, producción, cruceros, o stockpile a los siguientes subprocesos involucrados en la minería (p. 1276). Los Scoop son equipos de perfil bajo que permiten ingresar a excavaciones subterráneas para poder recoger el mineral por medio de una pala que se encuentra en la parte frontal del equipo. Estos recogen el material y los pueden depositar

tanto en tolvas de extracción, como en camiones o volquetes. Estos volquetes permiten trasladar el material hacia puntos de mayor distancia, para así disponerlos previo al procesamiento de mineral.

Figura 4. Equipo Scoop de Cerro Lindo en taller de proveedor



Fuente: Fotografía propia

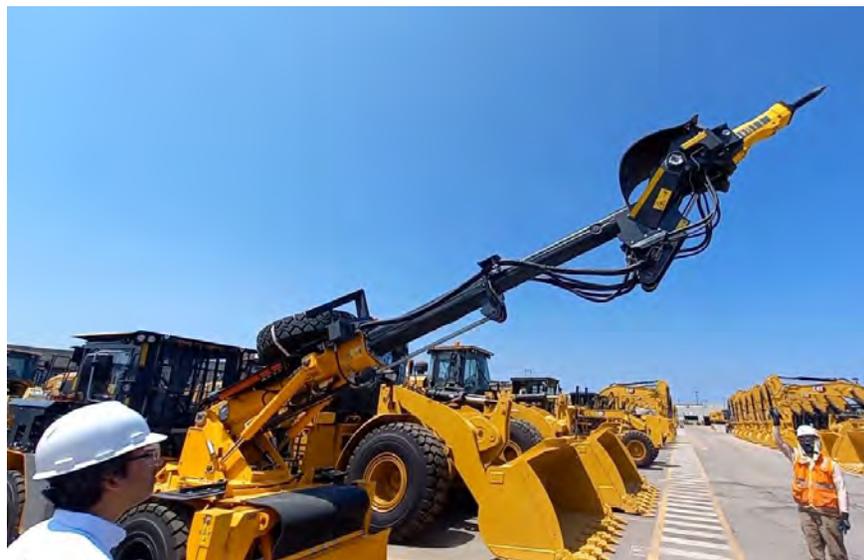
Los indicadores que se relacionan al proceso de carga y acarreo son: toneladas de extracción, toneladas de producción, distancia recorrida, consumo de combustible, desgaste de llantas, número de ciclos de traslado, factor de carga, densidad de mineral, velocidad, ciclos por hora, y capacidad.

#### **1.4.2.3. Proceso de Desate de Rocas.**

Finalmente, el último proceso principal es el desate de rocas, el cual se realiza gracias a un equipo llamado Scaler. El desastre de rocas es aquella actividad en la que una persona o equipo identifica bloques de roca que se pueden encontrar sueltas en los alrededores de la excavación minera. El objetivo de esta actividad es realizar percusiones cercanas o directamente al mismo bloque, con el objetivo de liberar este material, y evitar que sea un potencial riesgo de seguridad en un futuro. Así buscamos dejar los perímetros de la excavación con roca sólida para poder aplicar una medida de sostenimiento adecuada. Este es un equipo que tiene un cincel en un brazo junto a un martillo hidráulico el cual por medio de vibración y

contacto con la roca comienza a separar bloques de roca que se encuentran sueltos o libres en las paredes de la excavación. El principal objetivo de esto es hacer caer la roca suelta para así evitar accidentes con personas o con equipos.

Figura 5. Equipo Scaler de Cerro Lindo en taller de proveedor



Fuente: Fotografía propia

Los indicadores que más se asocian a esta actividad son: Toneladas desatadas, vibración, presión neumática e hidráulica, horómetro de Powerpack, y horómetro diésel.

## **1.5. Estabilidad Operacional por Medio del Área de Compras**

### **1.5.1. Proceso de compras**

El proceso de compras es aquel proceso que se realiza previo a que un producto llegue a su destino o cliente final. este proceso puede iniciar con la necesidad de la compra, levantamiento de requisitos, definición de proveedores, negociación, evaluación de riesgo, evaluación técnica, evaluación financiera, y finalmente la adquisición del bien. Este proceso no es indiferente para los equipos móviles, donde se tiene que evaluar la adquisición del mismo equipo, adquisición de los repuestos, del servicio de mantenimiento brindado, de los insumos que se consumen por la operación del mismo equipo, y de la venta o disposición final de este activo. Tratar con equipos móviles dentro del área de compras es un asunto muy sensible,

debido a que estos elementos impactan directamente en la producción, y por ende en el producto final. Para poder asegurar un buen rendimiento y una buena calidad al momento de recibir las propuestas, existen mecanismos que ayudan a asegurar una estabilidad dentro del cumplimiento de los indicadores comprometidos en el servicio o en el suministro.

Entre los indicadores que podemos mapear en el proceso de compras son: tiempos de entrega, precio del producto o servicio, garantías aplicables al servicio, indicadores de control, OTIF, compras bajo contrato, fugas de contrato, MRBR, y seguros aplicables al servicio. todos esos indicadores requieren ser cumplidos, y para esto se emplean documentos legales conocidos como contratos para dejar en claro cuáles son los criterios y parámetros como acuerdo entre las dos partes, siendo estas el cliente y el proveedor.

### **1.5.2. Modelos de servicio y tipos de contrato**

Para tener una óptima gestión de contratos, debemos conocer a cada uno de nuestros proveedores y las particularidades que tiene cada uno de estos. entre estas particularidades se pueden reconocer distintos tipos de servicio, distintos alcances brindados por servicio, distinta calidad de producto otorgado, y diferentes condiciones asumidas contractualmente para asegurar un adecuado desempeño de la actividad.

De acuerdo con el Restatement of Contracts de Estados Unidos de Norteamérica, “un contrato es una promesa, o un conjunto de promesas, ante cuyo incumplimiento el derecho otorga un remedio o ante cuyo incumplimiento el derecho reconoce la existencia de un deber”.

Relacionado a equipos móviles, primero vamos a hablar de los modelos de contratos para servicio de mantenimiento de los equipos actualmente las empresas se encuentran trabajando en modelos que juntan los beneficios de la ejecución profesional del servicio con la provisión de repuestos principales para estos. A este modelo de mantenimiento se le conoce como full Service. es un modelo en el cual se realiza el facturamiento del proveedor por medio de un costo horario proporcional al horómetro de operación de cada uno de estos equipos. El

producto final de este tipo de contrato es su mantenimiento con una disponibilidad que atiende a la necesidad operativa de la unidad minera.

El otro modelo de mantenimiento es un servicio de mantenimiento con personal especializado para una marca en específico. en este modelo el proveedor solo se responsabiliza de ejecutar el servicio de mantenimiento relacionado a mano de obra. se puede vincular este tipo de contratos a indicadores operacionales; sin embargo, lo más utilizado es el control por cumplimiento de los planes de mantenimiento de los equipos.

El siguiente modelo de contrato es el de suministro de repuestos. En éste, el proveedor realiza un acuerdo de precios a los repuestos principales de la marca que cotiza. Estos acuerdos pueden tener diversas condiciones de reajuste de precios los cuales se puede calcular por medio de fórmulas paramétricas, que vincula a los principales insumos de estos repuestos. Esto nos permite tener una estabilidad dentro de los costos de mantenimiento rutinario, y nos permite tener un control de tiempo para la llegada de estos materiales.

Finalmente, el último modelo de contrato es el de adquisición o reparación de equipo, en el cual se pacta con el proveedor un precio estándar para los modelos de equipo que se requieren en la unidad. Éstos muchas veces garantizan una vida de equipo mínima, una reducción de impacto por variación de precios, y una previsibilidad mayor al momento de ejecutar cualquier estrategia de equipos móviles.

La gestión de contratos debe involucrar los principales indicadores negociados con los proveedores, con el objetivo de mejorar la performance y tener resultados adecuados para la operación minera.

## **1.6. Marco Teórico**

Con el fin de complementar la base teórica de la presente investigación, vamos a detallar la metodología a ser empleada desde el punto de vista teórico. En un estudio realizado por Dobrović y Tomičić (2020), ellos indican que el planeamiento estratégico es el conjunto de acciones que permiten pasar de un escenario inicial (As-Is) a un escenario futuro (To-Be),

teniendo que realizarse un análisis de las principales fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas de un proceso complejo para asegurar la atención de todos los puntos críticos para tener un plan estratégico que atienda por todos los frentes posibles.

Este plan estratégico puede estar compuesto de diversas fases, las cuales facilitarán en el control y acompañamiento de los entregables y avances del plan en el paso del tiempo. Lo que indican es que no podemos solo quedarnos con los elementos principales de este método FODA, sino que debemos poder interrelacionar estos elementos entre sí para definir estrategias que serán usadas para conseguir las metas de la organización. Las estrategias son un orden de emparejamiento de los elementos FODA, pudiendo ser: FO, FD, FA, OD, OA y DA. Se pueden clasificar en estrategias correctivas, estrategias agresivas (FO) y estrategias implícitas (DA). A nosotros reconocer cuáles son los factores internos y externos que hacen parte de este contexto, podremos definir diversas acciones que nos ayudarán directamente a atender o resolver el problema que estamos buscando tratar en la presente investigación. La metodología fue aplicada en el presente trabajo como un direccionador y como un mecanismo para facilitar el entendimiento de la organización y cuáles son los pilares que estaríamos tratando. considerando esta premisa, mostraremos cuáles son las acciones mapeadas categorizadas en pilares estratégicos que se encuentran completamente vinculados a los objetivos que estos consiguen. Al final de esta etapa de definición de las acciones, procederemos a utilizar diversas herramientas para el control y para asegurar el cumplimiento de los objetivos o metas conforme al avance de la ejecución de estas acciones. Tal y como indican Lora, H., Patiño, J. & Ruiz, A. (2022) , "... este tipo de herramientas utilizadas por las empresas ... obtienen un rendimiento superior dada la pertinencia de las estrategias por el diagnóstico previo y conocimiento del entorno", por lo que podemos confirmar que la herramienta anterior es aplicable para cualquier industria y de hecho la maximización del conocimiento con respecto al entorno y al contexto son claves para definir un plan estratégico.

Dentro de la aplicación de conceptos contractuales, vamos a aprovechar un previo análisis de Porter para determinar nuestras ventajas con respecto a otros competidores incluso con respecto a los proveedores y clientes que tenemos en el negocio esto servirá de pieza clave para poder ejecutar un compromiso a largo plazo con las partes interesadas para desde un inicio mostrar cuáles son los avances y cuál es el potencial de ganancia con esta implementación. Es por esto que para el presente trabajo utilizaremos un modelo específico de contrato el cual se denomina contrato Full Service, el cual ya considera los servicios mediante un costo fijo y un facturamiento mensual, y los repuestos mediante un costo horario. Con todos esos puntos anteriormente mencionados al final de la implementación utilizaremos mecanismos de control como lo son las reuniones periódicas, los reportes de rutina y los paneles de gestión a la vista.

Para la determinación del TCO o costo total operacional, se presentará una planilla dónde se consideran parámetros de adquisición, desempeño, costos variables propios del equipo, y finalmente incluiremos aquellos costos que involucren reparaciones mayores o también conocidos como *Overhauls*. Esto será presentado en el Capítulo 2 como un resumen del estado de los equipos en relación con costos previo a la implementación y cuáles fueron los impactos específicos de cada uno de los elementos involucrados en este análisis.

## Capítulo II: Problema de Investigación

Dentro del rubro minero todas las empresas se encuentran en una lucha continua por la optimización de los costos operativos. Con el fin de mantenerse competitivos, se enfocan principalmente en uno de los indicadores en el cual tienen mayor control. Los ingresos generalmente son independientes al desempeño de la operación, debido a que muchas veces esto depende del precio del metal, el cual se rige al mercado internacional o también conocido como precio LME.

Tomando en cuenta esto, es muy importante para los accionistas incrementar el margen operacional mediante la reducción de costos. Estos costos parten de las actividades que se realizan para mantener la producción de la mina. Los costos principales son aquellos que se generan con el fin de extraer el material de la mina. Uno de estos costos es el costo de mantenimiento, el cual depende directamente de la situación de los equipos móviles y de la periodicidad en la ejecución del mantenimiento. Sin embargo, el comportamiento de estos equipos muchas veces se rige a parámetros estadísticos los cuales son, en muchas ocasiones, difíciles o tediosos para pronosticar. Considerando esto, las empresas dejan del lado cualquier iniciativa relacionada a esta área, pese a que existen muchas oportunidades ser tratada para optimizar esta actividad.

En el presente capítulo vamos a detallar cuál es la situación actual de una empresa minera con relación a la gestión de sus activos móviles, describiremos cuál es el estado actual con relación a su desempeño, detallaremos cuáles son sus procedimientos relacionados a activos móviles, explicaremos si cuentan con alguna metodología, mostraremos en qué otro escenario se puede aplicar esta misma investigación, y procederemos a hacer un detalle de todo el contexto relacionado a esta investigación.

### 2.1. Descripción de la realidad Problemática

La presión por obtener una extracción adecuada a las metas de la organización genera que se pierda el foco en diversas oportunidades que se pueden dar para mejorar los costos de

la operación mediante una mejor coordinación del mantenimiento de equipos. Las decisiones con relación a nuevas adquisiciones o mantenimiento necesario no son evaluadas de forma estratégica, dando una falsa percepción de lo que serían los costos operativos. Al tener un mal control de estos costos, y al estar acompañado de decisiones apresuradas con relación a estos equipos, existe una falta de visión relacionado a esta categoría.

Al ser la actividad de mantenimiento tan variable, muchas veces las empresas antes priorizan esta actividad, siendo que es una de las que tiene mayor impacto en los costos operacionales. Se deja de lado a la ingeniería del mantenimiento como una ciencia clave para lograr los objetivos de la empresa, y se prioriza al proceso productivo por ser la parte visible de la operación. Este es un problema sistemático en las empresas de minería subterránea, ya que se tiene la falsa percepción de que, para tener una adecuada gestión del mantenimiento, se requiere tener datos o información en tiempo real, siendo que para esto se requiere una gran inversión en infraestructura para mantener la conectividad dentro de una mina subterránea. las personas se escudan en la confiabilidad de información para evitar generar una toma de decisiones alineadas al escenario óptimo.

## **2.2. Alcance de aplicación de Investigación**

La presente investigación puede ser aplicada a cualquier empresa minera que tenga operaciones en minas subterránea, que empleen maquinaria pesada dentro de las operaciones y en el proceso productivo, y que cuenten con un sistema de gestión que permita el control adecuado de indicadores. Se puede abordar principalmente en minería de mediana y gran escala, y que cuente con una flota de equipos propios, cuya decisión de inversión y mantenimiento sea íntegramente responsabilidad de la empresa. Es importante resaltar que, para obtener un mejor resultado en este análisis, la empresa podrá optar por un servicio de mantenimiento tercerizado, los cuales se pueden regir tanto por un mantenimiento a costo fijo y repuestos adquiridos por parte de la empresa, como por un servicio a todo costo en el cual incluye los repuestos y se paga mediante un costo horario.

También está enfocada en los equipos que impactan directamente a la producción minera, siendo excluido de estos equipos auxiliares de menor escala. Si bien es cierto los principios y metodologías aplicados en este trabajo se pueden utilizar en minería superficial, la facilidad que ésta tiene con relación a infraestructura de datos y conexión a redes genera un panorama diferente, que permite utilizar otras herramientas como recursos analíticos automatizados o aprendizaje computarizado, también conocido como *machine learning*.

### **2.3. Enfoque metodológico y disciplinas aplicadas**

Vamos a describir las ciencias que se encuentran relacionadas a la materia de investigación. Como primer punto podemos notar que los análisis a ser considerados en la implementación de este proyecto requerirán de una aplicación directa de las ciencias sociales conocidas como economía y finanzas. Por parte de las ciencias formales utilizaremos a las matemáticas para determinar el comportamiento de los equipos y realizar una proyección de lo que nos espera en la implementación. Estas últimas ciencias implican la estadística, el análisis cuantitativo y cualitativo, y un estudio de probabilidades. Dentro de las disciplinas asociadas a la ingeniería, podemos reconocer a la ingeniería de minas y la ingeniería mecánica como los principales miembros. Finalmente, en la gestión podemos reconocer diversas disciplinas académicas, siendo éstas la gestión del mantenimiento de rutina, gestión de inversiones, la gestión de información, la gestión de costos, y la gestión de los activos de la empresa.

Como metodología, para poder demostrar los impactos que se generan dentro de la implementación de este proyecto vamos a utilizar el estudio de caso acompañado de un análisis de impacto. el estudio de caso lo aplicaremos acompañado del uso del Método Harvard con el fin de reconocer cada una de las partes involucradas en este caso, la participación entre ellas, y cómo se atienden los objetivos de la investigación analizando todas las interacciones y las implementaciones realizadas. dentro de esto utilizaremos indicadores tanto cuantitativos como cualitativos, siendo los cuantitativos la evaluación del impacto en costos de la operación, y el impacto en los indicadores de producción, como por ejemplo disponibilidad de equipos,

pérdidas de producción, horas inoperativas, y productividad de los equipos de forma individual. los criterios cualitativos serán las dificultades en la implementación de este proyecto y los mecanismos de control para asegurar un cumplimiento a largo plazo.

#### **2.4. Principales fuentes de información**

Para este trabajo vamos a utilizar información directa de la fuente, siendo estos reportes operacionales, reportes hechos al directorio, sistemas de gestión de control de indicadores, y reportes realizados por los operadores. A su vez se hizo el levantamiento de la información en campo, participando de visitas a la misma unidad minera, revisando los reportes diarios por cada uno de los equipos, entendiendo el programa a medio y largo plazo para sustitución de equipos, registrando los horómetros actuales y analizando los reportes de fallas generados por los operadores y por el personal de mantenimiento.

En la unidad no se cuenta con un sistema automatizado para organizar indicadores relacionados a equipos móviles, por lo que mucha de la información a ser considerada para la toma de decisiones será de acuerdo con los reportes operacionales hechos a mano por el mismo personal de la mina. Esto deberá ser contrastado con los reportes disparadas o fallas registrado por el área de mantenimiento, con el fin de evitar divergencias o errores en digitación de la información. Tomando en cuenta esta premisa, se realizará un análisis mediante balances estadísticos para determinar la confiabilidad de la información vertida.

Con relación a los indicadores de costos, estos serán mapeados de acuerdo con las valorizaciones mensuales hecha por los proveedores y por la misma empresa que son cargados al área de mantenimiento a través de la plataforma SAP. Esta información procederá de los centros de costo asociados a equipos móviles. Se tomará periodos de tiempo como referencia donde no haya variabilidad correlación un escenario estándar, es decir, serán descartados todos aquellos datos que puedan tener influencia de factores externos no propios de la realidad operacional.

## **2.5. Benchmarking con otras empresas del rubro minero**

Un análisis interesante que se realizó en la presente investigación es que las metodologías propuestas no son comúnmente usadas en otras empresas de minería subterránea. Si comparamos con operaciones de minería superficial, la diferencia que tenemos con relación a los indicadores que se pueden monitorear es mucho mayor a la que podemos obtener analizando operaciones de minería subterránea. Es por esto que el benchmarking se hizo considerando empresas de mediana minería y cuyo método operativo sea minería subterránea. Si consideramos este alcance para hacer el benchmarking, podríamos aseverar que la empresa Nexa sería pionera con la implementación de este proyecto. En los últimos meses, hubo una alta rotación de personal incluyendo ingenieros o coordinadores que vinieron de otras empresas semejantes a donde se aplicó la presente investigación. De acuerdo con los comentarios dados por estas personas, se mencionó que nunca se ha tenido tanta prioridad y tanto detalle al momento de tomar decisiones para los equipos móviles, visto que no se han tomado el tiempo para dar un detalle específico a estos activos. La visión de estas personas era priorizada en la producción y en el cumplimiento de los costos, y muchas veces no se llegaba a analizar cuáles eran las causas raíz para poder atacar estos problemas o implementar proyectos de mejora que ayuden a la organización donde trabajaban. Considerando esto hemos recibido muchos comentarios y retroalimentación positiva en relación con la implementación de este proyecto. Si hablásemos de minería superficial, sabemos que la diferencia se genera netamente por la posibilidad de obtener datos a tiempo real por la facilidad en la conectividad en toda el área de la operación.

## **2.6. Estudio del caso en Unidad Minera Cerro Lindo**

La investigación está desarrollada en los próximos capítulos fue implementada mediante una iniciativa corporativa la cual buscaba mejorar la gestión de la categoría de equipos móviles mediante un adecuado control al momento de tomar decisiones con relación a sustitución o mantenimiento de los equipos de la empresa. La empresa donde se implementó

esta iniciativa se llama Nexa Resources, y esta cuenta con operaciones tanto en Brasil como en Perú. El objetivo de esta investigación fue minimizar los costos de mantenimiento de cada operación, eliminar improductivos en el área de mina, mejorar la previsibilidad de sustitución de activos móviles, mantener una estabilidad en los costos de mantenimiento mediante contratos mineros, y minimizar el número de nuevas negociaciones las cuales generan muchos tiempos muertos relacionados a la decisión de gestión en los equipos.

Con el fin de reconocer cuál fue el impacto de este proyecto en los costos operacionales considerando las premisas del mercado nacional, se tomó como referencia a una unidad operativa ubicada en Perú. Adicional a esto, se tomó como referencia una unidad minera que haya tenido un inicio de operación reciente, con el fin de eliminar el sesgo que se genera por la costumbre de las personas que realizan esta toma de decisiones. Utilizando estas premisas se tomó la decisión de realizar el levantamiento de los resultados en la Unidad Minera Cerro Lindo, siendo esta la mayor unidad minera de esta empresa en el país, y con sólo 16 años de operación.

### **2.6.1. Escenario Actual de la Unidad**

La unidad minera Cerro Lindo es una operación que forma parte de la cartera de la empresa Nexa Resources, anteriormente conocida como Milpo. Cerro Lindo es una mina subterránea, considerada como la más grande mina subterránea del Perú. Sus operaciones iniciaron en el año 2005 donde se realizó la firma del convenio marco entre la Compañía Minera Milpo, la Municipalidad Distrital de Chavín, y la Comunidad Campesina de Chavín. Su extracción se basa principalmente en el zinc, plomo, cobre, y plata. Esta se encuentra distribuida en 3 tipos de concentrados, siendo estos el concentrado de zinc con una producción anual esperada de 152000 toneladas métricas secas por año, el concentrado de cobre con una producción de 123000 toneladas métricas secas por año, y el concentrado de plomo con 21000 toneladas métricas secas por año. El yacimiento minero cuenta con una ley de cabeza de zinc de 1.61%, y sumado con todos los otros metales, el mineral tiene un valor económico de

aproximadamente 74.4 USD por tonelada. La unidad cuenta con una planta concentradora, la cual realiza el proceso de conminución y acumulación del mineral, teniendo una recuperación promedio de zinc equivalente a un 88%. Los concentrados producidos tienen una calidad de 57.9% en el caso del zinc, 26% en el caso del cobre, y 64% en el caso del plomo. Cerro Lindo maneja una producción diaria de 20500 toneladas métricas secas. Su método de explotación se llama Sublevel Stopping, siendo este uno de los métodos masivos más populares en el mercado minero global. Es importante resaltar que las operaciones trabajan a un 95% de su capacidad máxima, dando a percibir el aprovechamiento y la criticidad para atención de la planta por parte de mina subterránea.

Considerando estos procesos dentro de mina subterránea, podemos percibir la importancia que tiene la utilización de los equipos móviles adecuados dentro del ejecución y cumplimiento de la parte productiva. La unidad cuenta actualmente con 32 equipos móviles para poder atender la producción actual, siendo estos 12 equipos cargadores, 12 equipos de perforación, 6 equipos para el desatado de rocas, y 2 equipos auxiliares que cumplen la función de rompebancos. Durante muchos años, la unidad minera ha trabajado con una flota mixta, siendo parte de estos equipos de la marca Caterpillar, Sandvik, Epiroc, BTI, Doosan, Hyundai, y Komatsu. Varios de estos equipos se han mantenido operativos incluso posterior a lo determinado en la vida útil recomendada por el fabricante. la estrategia para soportar a la operación buscando disminuir costos de inversión en los equipos fue ejecutar una estrategia de reparación mayor, también conocida como *overhaul*. Este procedimiento otorga a los equipos móviles tanto una segunda como hasta una tercera vida, la cual no necesariamente tiene el mismo rendimiento operacional que un equipo nuevo. la toma de decisiones para reemplazar a estos equipos se realiza de forma perceptiva, siendo que cuando existe un desempeño bajo acompañado de paradas continuas para realizar el mantenimiento de estos equipos, es en ese momento que se considera una reparación mayor o un reemplazo total del equipo.

### **2.6.2. Indicadores y desempeño operativo y de mantenimiento**

Actualmente los equipos de la unidad tienen en promedio 78% de disponibilidad, mientras que el valor adecuado para poder cumplir la cuota de producción se encuentra en torno a los 81% de disponibilidad. Este valor se calcula de acuerdo con el dimensionamiento de la flota estimado por el área de planeamiento para atender el plan de producción. Al tener una disponibilidad menor a esta, se incrementa la utilización de los equipos disponibles para atender a la operación, generando un consumo rápido de estos activos. A su vez, esto genera que los equipos tengan paradas con mayor frecuencia, lo cual es controlado mediante indicadores de confiabilidad los cuales determinan un valor promedio de 20 horas entre cada falla, y un tiempo de reparación de 4.5 horas. Estos valores dependen mucho de la flota que se analice, pero podemos notar que existe una frecuencia alta de paralizaciones estos equipos, y a su vez los tiempos de reparación son amplios, generando que el costo por el mantenimiento de estos equipos incremente mientras más aumenta la vida de estos. La unidad trabaja con un cash cost aproximado de 28.6 dólares la tonelada, siendo utilizado para el mantenimiento de los equipos un valor de 5.13 dólares la tonelada. Esto totaliza un valor de 17.9% con relación al costo operacional total de la unidad (OPEX). A su vez, la inversión en equipos móviles como costo de capital suman un valor de 13.2 millones de dólares anuales.

### **2.6.3. Partes Involucradas**

Como primera parte involucrada de esta implementación, se puede reconocer al área de compras corporativa de la empresa Nexa. Esto se debe a que el área de compras es la principal encargada de la gestión de nuevos contratos, negociación de precios de los nuevos activos, negociación de los costos relacionados a reparaciones, y contratación de los servicios relacionados a esta categoría. El área de compras tiene como objetivo optimizar los costos y asegurar un adecuado proceso de compliance. A su vez, es la principal área que tiene una percepción global de todas las decisiones generadas en esta categoría, pudiendo implementar diversos proyectos de estandarización para asegurar una mejor negociación por volumen.

La segunda parte involucrada es el área de mantenimiento, la cual cumple una función de cliente y de área gestora de los equipos móviles, siendo principalmente controlada por los indicadores de desempeño en mantenimiento, confiabilidad, y disponibilidad. Podemos mencionar dentro de este alcance al área de operaciones mina, que cumple con el control operacional dentro de la mina, asegurando la gestión adecuada de los indicadores que permitirán tomar las decisiones. Como tercera parte involucrada podemos resaltar la participación del área de inversiones CAPEX, los cuales aseguran contar con un presupuesto adecuado para cumplir con la toma de decisiones con relación a los equipos. Como cuarta parte involucrada podemos reconocer a los proveedores de equipos móviles, los cuales aseguran un análisis de la necesidad operacional, plantean propuestas de solución mediante propuestas técnicas y comerciales, ayuda en la evaluación para tomar la mejor decisión, y cuentan con el conocimiento pleno de los equipos que ofrecen como suministro. Finalmente podemos reconocer como parte involucrada a los accionistas de la empresa, los cuales se aseguran de brindar el capital para poder optimizar los costos, reemplazar equipos, y ejecutar toda la planificación conforme a la expectativa de la operación.

#### **2.6.4. Principales complicaciones reconocidas**

Compilando algunos detalles que se mencionaron en párrafos anteriores, podemos resaltar como una de las complicaciones más comunes para la implementación de un proyecto de optimización en gestión de activos móviles para minería subterránea es el acceso a la información de los equipos. Asegurar una adecuada confiabilidad de información es un reto, debido a que depende mucho del llenado de varios formatos que son realizados por el mismo operador. Muchas veces la implementación de formatos o controles relacionados a tiempo de productividad se ven alterados por las mismas personas que cumplen esta función, debido a que existe un miedo a que se emplee lo informado en este formato para controlar la productividad o el trabajo realizado por estas personas. A su vez muchas veces las personas justifican una falta de trabajo indicando una falta de disponibilidad del equipo, siendo que en

muchos casos la realidad es otra. Otro ejemplo es cuando los operadores alteran los motivos de parada de los equipos para evitar tener que sustentar alguna falla por un problema operacional, y no por el mantenimiento propio del equipo. Cabe resaltar que una dificultad también presente es el registro de estos formatos, debido a que muchas veces los documentos terminan deteriorados y otras veces los formatos son ilegibles debido a algunas manchas o deficiente caligrafía de los operadores.

Otra dificultad que se ha mostrado dentro del desarrollo de la investigación han sido las modificaciones continuas que se han tenido al plan debido a la misma dinámica operacional que tienen las minas subterráneas. Existe una dificultad al momento de predecir lo que puede ocurrir en un equipo para los próximos años, ya que cualquier mínimo evento, accidente patrimonial, o alta rotación de personal pueden generar modificaciones. Actualmente en la unidad no se cuenta con una revisión periódica del plan de adquisición de equipos móviles; sin embargo, el período en el cual sí evalúan las adquisiciones del año siguiente es en los meses de agosto y septiembre. Esto se debe a que durante este periodo se realiza y el presupuesto para el próximo año, teniendo que ser considerado todo proyecto de inversión dentro de este.

Con la premisa mencionada en el anterior párrafo, podemos reconocer una complicación adicional. Los equipos móviles tienen una particularidad diferente a la realidad de adquisición de repuestos para estos. Esto es que los tiempos de entrega para estos activos pueden ser de entre 7 a 12 meses. Entendiendo que durante el mes de octubre estaríamos haciendo las solicitudes para el próximo año, es algo muy común en la misma unidad que los equipos se encuentren llegando siempre durante final de año, generando diversas complicaciones para el cumplimiento de los indicadores de producción.

Finalmente considero que la gestión de cambios fue un tema crítico para la implementación de este proyecto, debido a que estamos trabajando con la implementación de una gestión de activos que ha sido desarrollada de forma diferente durante los últimos 16 años. Es por esto por lo que un punto clave es convencer a las partes involucradas esclareciendo los

objetivos principales de la implementación para hacerlos parte del equipo y soportar en las decisiones a ser tomadas dentro del proyecto.

### **2.6.5. Metodología aplicada para Gestión de Activos Móviles**

La gestión de los activos en la Unidad Minera Cerro Lindo se realiza solo tomando en cuenta los indicadores de disponibilidad y utilización de la flota. La disponibilidad sirve para determinar el momento en el cual se debe reemplazar el equipo, realizándose una gráfica donde se aproxima la tendencia de la disponibilidad en el tiempo y en el momento en el cual el valor llega a un punto mínimo histórico, se decide hacer alguna intervención en el equipo. Otro factor que consideran para la toma de decisiones es el horómetro de los motores y horómetros de las perforadoras de algunos equipos. Para el caso de los Scoops, se realiza la sustitución del equipo o la reparación mayor a las 15000 horas. En el caso de los equipos de perforación se realiza la sustitución a las 11000 horas de perforación. Finalmente, para los equipos de desate de rocas, el horómetro considerado es de 12000 horas. Existen momentos en los cuales se tienen que reemplazar los equipos con una cierta antelación a estos criterios, los cuales son en momento de accidentes, problemas de operación con un costo de reparación elevado, O incluso por una variación de las condiciones actuales de la operación minera. Es relevante resaltar que la evaluación de los equipos móviles no se realiza de forma continua. Solo se realiza un reconocimiento de los indicadores, mas no se plantean acciones para poder controlarlos. El único momento en el cual se evalúa la flota es en la época presupuestal, siendo ésta una etapa de riesgo para cualquier proyecto minero, debido a que se priorizan diversos temas y no se da un espacio para verificar detalladamente cualquier proyecto u oportunidad de mejora dentro de la categoría de equipos móviles.

Haciendo un análisis crítico de la metodología actual, podemos notar que muchos criterios son empíricos, y no se realiza un análisis detallado tal y como el mismo comportamiento de los equipos móviles lo permiten. Un ejemplo de este mal análisis es el hecho de que la disponibilidad mecánica de los equipos no solamente dependa de la necesidad

de sustitución de este, sino también puede ser un indicador de un problema en el mantenimiento rutinario de la flota, pudiendo ser un indicador que demuestre un mal dimensionamiento de la flota, un mal dimensionamiento del número de personal a ser empleado en el mantenimiento, o incluso una mala gestión de los repuestos. Además, el hecho de considerar sólo los horómetros de los motores genera que dejemos de lado uno de los indicadores clave para el negocio minero, como lo es el costo operacional. La gestión de activos móviles en Cerro Lindo actualmente no cuenta con una gobernanza que permita aprovechar al máximo la capacidad analítica de las partes involucradas en este análisis, por lo que será considerado como prioridad al momento de analizar la investigación actual.

## **2.7. Relevancia principal en la aplicación de la investigación**

La presente investigación tiene una gran importancia para la empresa donde se aplica, debido a que tiene un impacto directo en el flujo de caja y en los estados financieros que esta muestra el mercado. Toda implementación de proyectos en equipos móviles tiene incidencia en los balances de activos y pasivos de la organización, con el cual se puede determinar la valorización relativa de la empresa. a su vez, mostrar al mercado una adecuada implementación de una gestión de activos permite dar una percepción e imagen institucional que ayudan a valorizar positivamente a la empresa. para la empresa privada, este proyecto también permitirá mantener una excelencia operacional y una estabilidad de los indicadores de producción, costos, confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad.

Esta investigación tiene también relevancia en el aspecto público, debido a que una adecuada gestión de activos permitirá tener un mejor manejo fiscal y tributario, permitiendo un adecuado reconocimiento de los impuestos, los cuales sirven de ingreso a las instituciones públicas para el desarrollo de proyectos de mejora a nivel local, regional, e incluso nacional.

Esto también abre la oportunidad para desarrollar iniciativas que beneficien al medio ambiente, a la seguridad, y a la gobernanza de la empresa. Una oportunidad que se puede generar es el desarrollo de proveedores locales para atender a los equipos móviles. Otra

oportunidad que se puede mapear, y es de interés de todas las partes, es el reaprovechamiento de los equipos o repuestos para generar una disminución de los residuos. Finalmente evaluar los costos en el mantenimiento permite comparar escenarios en los cuales se puede implementar un nuevo modelo de energización de equipos, como por ejemplo el uso de equipos móviles a batería, los cuales disminuyen el consumo de combustibles derivados del petróleo, minimizando el impacto ambiental que se genera por la combustión de estos; y a su vez disminuyendo los costos operacionales, debido a que estos equipos utilizan menos repuestos mecánicos y más componentes eléctricos los cuales tienen un costo menor comparado con un modelo convencional. A su vez el costo fijo del mantenimiento también disminuye, ya que se necesitarían menos personal, pero con mayor especialidad en sistemas eléctricos y electrónicos.

## **2.8. Descripción de Proyecto de mejora**

Para poder atender todos los problemas operativos relacionados a equipos móviles, se decidió implementar un nuevo modelo de gestión de activos móviles denominado "Plan 60". Este modelo consiste en realizar la contratación por 5 años de todo un plan de sustitución, reformas, servicio de mantenimiento, y atención en repuestos de toda la flota de equipos móviles pesados de la empresa Nexa Resources. El objetivo principal de este modelo es realizar una optimización de los costos operativos y a su vez buscar una estabilidad operacional dentro del proceso de minería subterránea en las unidades mineras donde se implemente. Los posibilitadores de este proyecto fueron la definición del ciclo de vida de los equipos junto con la operación, la evaluación o estudio de oportunidades de mercado, y la inteligencia financiera. Partimos mencionando que este proyecto se implementó analizando 140 equipos de toda la empresa conformados por equipos de carguío y acarreo, perforación y equipos de soporte. Las unidades mineras donde se implementó el proyecto fueron Vazante, Cerro Lindo, El Porvenir y Morro Agudo. El proyecto involucro un total de capital de 206 millones de dólares, siendo aproximadamente el 33% utilizado por medio de CAPEX, y el resto

por OPEX. El presente proyecto tuvo 3 etapas relevantes: la etapa de diagnóstico, la etapa de implementación, y la etapa de control. Previa a la etapa de diagnóstico es relevante mencionar que se tuvo un trabajo preliminar para poder validar si el modelo aplicado tendría un impacto positivo en las operaciones. Esto se dio en el año 2019 aplicándose en la unidad minera Aripuanã, dándose una contratación de los repuestos, servicios de mantenimiento, e inversión en equipos para los próximos 5 años. Posterior a eso, tuvimos el diagnóstico de todas las unidades mineras de la empresa NEXA. El control se hizo en cuatro unidades durante el mes de agosto del 2019 mediante el desarrollo de un modelo del costo del ciclo de vida de los equipos y una consolidación de las curvas de este costo por equipo. Esto se dio mediante visitas a las unidades, observaciones en campo del desempeño de los equipos, y un estudio de las disponibilidades, utilizaciones y costos generales de cada flota. Este diagnóstico también vino acompañado de un análisis del costo total de propiedad del equipo y tomó aproximadamente 6 meses. Ya en agosto del 2020, después de la reapertura de las operaciones por la pandemia del COVID-19, se realizó la definición del comité Plan 60 y la definición del plano de sustitución para los próximos 5 años. Aquí ya entramos en la parte de implementación, donde iniciamos un estudio de los modelos de financiamiento para cada uno de los equipos, realizamos la presentación al directorio de la empresa de toda la estrategia global y realizando la aprobación del plan de adquisición para el 2021 en julio de ese año. Durante los últimos meses del 2021, se realizó un detallamiento de las especificaciones técnicas y necesidades de cada operación para la contratación del mantenimiento de la flota de equipos móviles. Esto comenzó con la flota de carguío y acarreo, posteriormente a ello nos enfocamos en la flota de perforación, y finalmente en la flota de soporte dando por concluido todo el proceso de contratación de los próximos 5 años en diciembre del 2021. Finalmente llegamos a la etapa de la implementación del control, donde se definió una gobernanza de forma anual y mensual para el seguimiento de la flota de equipos móviles. Esta gobernanza de forma anual definió los periodos de análisis de indicadores y actualización de planes, la

aprobación presupuestaria para la adquisición de los nuevos equipos, la revisión del estatus de los contratos y servicios de mantenimiento, y el acompañamiento de la llegada de los equipos móviles. En cambio, la gobernanza mensual realizaba el seguimiento de los indicadores, de los planes de acción por cada uno de los equipos o flota en general, y el acompañamiento del cumplimiento del presupuesto anual mediante actualización del *forecast* mensual.

## **2.9. Determinación de Estrategias**

Tal y como se mencionó en el capítulo anterior, utilizaremos la herramienta del FODA Cruzado para establecer las estrategias a ser realizadas en esta investigación. Entre las principales acciones o estrategias podemos considerar las siguientes:

- Negociación global de la flota de equipos móviles mediante comparativos usando el costo total de operación.
- Actualizar la evaluación técnica de cada uno de los equipos por parte del área de mantenimiento en la Unidad Minera Cerro Lindo.
- Elaborar una eculización técnica de todos los equipos móviles y marcas que se encuentran en el mercado minero.
- Ejecutar un estudio del y sin financiero y operacional para aplicación en los equipos móviles.
- Utilización del WACC de la empresa al momento de analizar viabilidad de adquisiciones.
- Asegurar en contratos garantías de rendimiento y desempeño con una penalidad asociada.
- Inclusión obligatoria de entrenamientos de operación y mantenimiento en los alcances negociados para los equipos móviles.
- Ejecutar la evaluación periódica del desempeño de los proveedores principales de la categoría.
- Medición de los indicadores de confiabilidad (MTBF y MTTR) mediante contrato.

- Cumplimiento obligatorio de los programas de mantenimiento conforme manual del fabricante.
- Aplicar una penalidad contractual asociada al cumplimiento de los planes de mantenimiento.
- Realizar un análisis con información actualizada de costo de ciclo de vida para la sustitución de los equipos.
- Implementación de gobernanza de acompañamiento mediante reportes y exposición de indicadores.
- Realizar un estudio de factibilidad para nuevos sistemas de energización de equipos.
- Realizar un análisis de inversión para todos los equipos a batería que hay en el mercado.
- Desarrollo de proveedores locales y de repuestos alternativos para reducción de costos y mejoras del tiempo de entrega.

Como punto importante de la implementación y de la definición de las estrategias, podemos reconocer 6 principales objetivos estratégicos del área de mantenimiento que reúnen a estas 16 estrategias macro: estandarización de flota, optimización del flujo de caja, rendimiento o desempeño del mantenimiento, confiabilidad de la flota, visión a largo plazo, e iniciativas ESG. En la siguiente sección procederemos a mostrar cuáles fueron los resultados de la implementación de todas esas estrategias realizando un comparativo básico entre el escenario anterior y el escenario actual de los equipos involucrados.

## **2.10. Resultados de Implementación**

En esta sección vamos a mostrar cuáles fueron los principales números que se obtuvieron al momento de analizar la flota de equipos móviles posterior a la implementación de las estrategias mencionadas en la parte de arriba. Como primer punto vamos a mostrar los resultados del análisis mediante la determinación del punto óptimo de sustitución usando la

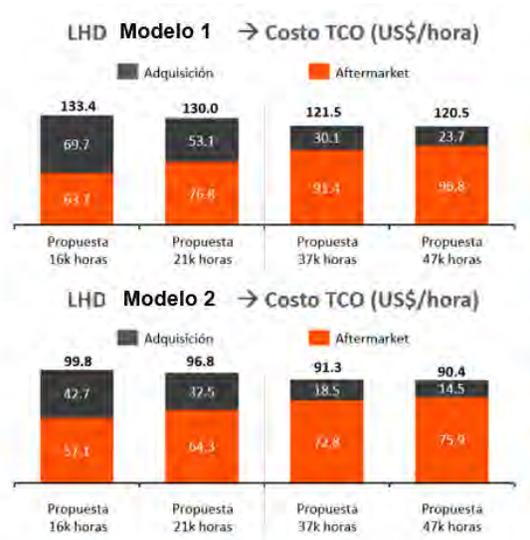
metodología LCC. Podemos notar que mientras más extendíamos la sustitución de un activo, éste poseía un costo anual equivalente cada vez menor, visto que se reducía el costo de adquisición de este activo pizarras lazada por un costo de mantenimiento o de reparación que era mucho menor al valor de compra de un equipo nuevo manteniendo las condiciones de performance y los costos operacionales. Dando como ejemplo un equipo cargador scoop, podemos observar que para una propuesta elaborada hasta las 16000 horas de operación del motor diésel tenemos un costo anual equivalente de 712860 USD como costo total. Si ejecutamos un mantenimiento para llevar este equipo hasta las 21000 horas, el costo anual equivalente está reducida hasta el margen de 685480 USD. Esto a su vez reducía aún más si llevábamos el equipo hasta las 37000 horas con un mantenimiento completo al sistema de tren de fuerza. Llevar el equipo hasta las 37000 horas implicaba un costo anual equivalente de 645010 dólares, siendo aproximadamente un 7% menor que el escenario anterior. Finalmente podemos notar que si hacemos una reparación más llevándolo a las 47000 horas, tendremos un costo no el equivalente de 643030 USD, no siendo una diferencia significativa para poder tomar la decisión de esta medida. Recordemos que si extendemos el equipo unas 10000 horas adicionales y el costo anual equivalente se reduce ligeramente, podemos colocar en riesgo la operación al tener un equipo con un oro m muy extendido y arriesgando los parámetros operacionales por posibles problemas de disponibilidad o confiabilidad de la flota.

Figura 6. Cálculo de Costo Anual Equivalente para escenarios de LCC - Scoop 14t

	VPN 24 meses	C.A.E.
Propuesta a 16000 hrs.	\$ -7,829.36	\$ -712.86
Propuesta a 21000 hrs.	\$ -7,528.58	\$ -685.48
Propuesta a 37000 hrs.	\$ -7,084.15	\$ -645.01
Propuesta a 47000 hrs.	\$ -7,062.41	\$ -643.03

Fuente: Elaboración Propia

Figura 7. Cuantificación de Escenarios en términos de Costo por hora



Fuente: Elaboración Propia

Otro escenario que podemos analizar también para esta flota es el costo por hora de los repuestos y componentes. Hemos podido notar que previo a la implementación de las otras estrategias para soportar la rutina del mantenimiento, el costo por hora para estos componentes y repuestos de este específico modelo de Scoop era de 24.96 USD la hora. Posterior a la implementación de las estrategias, llegamos a mapear un costo horario de repuestos y componentes equivalente a 23.12 USD la hora. Un factor interesante que vamos a analizar también en el siguiente capítulo será el hecho de que posterior a la implementación de estas estrategias hubo un incremento de precio en los aceros y repuestos generales considerados para la flota. Pudimos notar que existió una variación de aproximadamente 21.4% determinados netamente por el acero inoxidable, ferro cromo, ferro manganeso, e incremento en los costos logísticos. Posterior a este evento tuvimos un nuevo costo de 27.34 USD la hora; sin embargo, esto tendría que ser comparado con el escenario previo a la implementación asumiendo esta misma inflación aplicada al costo antiguo. Por ende, al aplicar esta ratio de inflación al escenario previo a la implementación, obtuvimos un costo relativo de 29.89 USD la hora. Tal y como se menciona en el párrafo anterior, vamos a analizar todas las variaciones y

todos los resultados obtenidos en este ejemplo para validar nuestra hipótesis; sin embargo, presentaremos en un anexo a la presente investigación algunos cálculos realizados en este proyecto que sustentan la variación por componente del costo total de operación.

Figura 8. Comparativo de escenarios para Scoop evaluado



Fuente: Elaboración Propia

### Capítulo III: Análisis y Discusión de Resultados

#### 3.1. Análisis de Hipótesis por diversos autores

En el presente capítulo vamos a evaluar las distintas posturas o comentarios que existen por parte de diversos autores con respecto al problema mencionado. Adicional a esto, discutiremos las concordancias y discordancias que existen con relación a la hipótesis planteada en la presente investigación. A modo de recordatorio, mencionaremos que la hipótesis planteada inicialmente fue el hecho de que se puede generar un margen de utilidad positivo controlando los sobrecostos en equipos a través de un adecuado diagnóstico predictivo del mantenimiento usando metodologías de gestión de activos móviles con el soporte de contratos mineros. Con respecto a esta hipótesis, podemos notar que una gran cantidad de autores se encuentran de acuerdo con lo mencionado con relación al margen de utilidad y control de sobrecostos. Un claro ejemplo es lo planteado por Yatsenko y Hritonenko (2016) asegurando que con la aplicación de su método para gestión de activos genera una estabilidad en el cálculo de las proyecciones para los costos operativos y costos de capital, logrando así que podamos enfocarnos en diversos proyectos de reducción de costos con una mayor facilidad, dado que conocemos una visión a medio y largo plazo de lo que nos espera en los indicadores de mantenimiento (p. 2931). Pese a esta premisa, los mismos autores presentan una incertidumbre al final de su investigación, la cual se justifica por distintos factores externos que podrían afectar en estos costos, como por ejemplo variaciones en el mercado, imprecisión de colecta de información, imprecisión por cambios tecnológicos, y toma de decisiones por parte de la misma operación. Esta última incertidumbre fue presentada también por Dixit y Pindyck (1994) mostrando distintos tipos de incertidumbre existentes en cualquier proceso de inversión. Con el fin de evitar cualquier riesgo al momento de hacer las comparaciones con respecto al escenario anterior y el escenario actual, es muy importante realizar una adecuada equalización considerando todas las incertidumbres o variaciones que ocurrieron en el periodo, minimizando así cualquier problema de interpretación en los datos presentados. Con los

aportes de ambos autores, podremos considerar estos factores al momento de hacer el análisis de los resultados de forma cuantitativa.

Otra postura presentada fue la de Noorbakhsh (2019), quien aseveró que los resultados de su investigación demostraron que el análisis de costo total de operación, método similar al empleado en esta investigación, es muy beneficioso para la gestión de reducción de costos mediante la correcta medida del retorno de la inversión, pese a esto indica que este no considera el riesgo de suministros en la cadena de abastecimiento los cuáles deberían ser evaluados mediante la aplicación de otras metodologías (p. 3). Esta postura marca un concepto muy interesante, el cual se puede aplicar a la realidad ocurrida durante la ejecución de la investigación. Entrando en el contexto de la aplicación, hemos podido percibir que este proyecto ha sufrido de diversos contratiempos producto de una pandemia acontecida durante los años 2020 y 2022. Esta pandemia afectó a la logística internacional y a una volatilidad muy fuerte en los precios del mercado global por las materias primas de diversos productos empleados en la fabricación de equipos móviles. Con el fin de discutir esta aseveración, vamos a retomar lo mencionado en el capítulo uno de la presente investigación, dónde colocamos en contexto los diversos beneficios y métodos que se aplican en la cadena de abastecimiento de una empresa para mantener una estabilidad en los costos de diversos contratos. Considerando que uno de los factores clave para la aplicación de esta investigación fue los sistemas de contratación aplicando un planeamiento estratégico de la flota de equipos móviles, es posible mitigar los distintos riesgos indicados por el autor anterior. Este es un factor clave debido a que muchas condiciones contractuales podrían permitir un reajuste de las condiciones por factores externos a ambas organizaciones. Es muy importante poder tener el soporte de un analista en las negociaciones para minimizar cualquier impacto que pueda ser sustentado por los proveedores por un concepto de fuerza mayor, siendo la pandemia anteriormente mencionada un evento que tranquilamente podría ser considerado dentro de este concepto. Cabe resaltar que el autor en su texto sólo se enfocó en la aplicación de la metodología de análisis de costo

total de propiedad en la gestión de activos, no llegando a plantear una propuesta de solución, gobernanza de implementación, o alguna gobernanza de control, no teniendo un comparativo de un escenario inicial y final para poder dar como conclusión lo mencionado en la hipótesis de la presente investigación.

Para poder entender el verdadero impacto que se podría generar con la aplicación de una metodología directamente en los costos, utilizaremos de referencia a la investigación realizada por Godoy (2014) donde se evalúa los diversos impactos que hay en costos y los beneficios que se podrían dar mediante la implementación del mantenimiento predictivo y la coordinación directa con cadena de abastecimiento para la optimización de los costos operacionales. En su texto, si bien nos indica que existió como resultado una mejora dentro de la calidad del mantenimiento, productividad del proceso, y disminución de los costos, también nos indicó que uno de los factores importantes para asegurar beneficio es la aplicación de penalidades o bonos en los contratos y en la gestión operacional de estos (p. 84). Dicho esto, volvemos a notar que los pilares considerados en la presente investigación conversan con las conclusiones dadas por Godoy en su investigación anterior.

Entrando más al detalle de lo vertido por los autores en los párrafos anteriores, podemos notar que existe una idea semejante de qué la aplicación de diversos métodos para la gestión de activos impacta positivamente en los indicadores de costos, productividad, y gestión de rutina diaria de la empresa. A su vez, notamos que estos autores también están de acuerdo en que es necesario realizar proyectos de implementación para la optimización de costos con el fin de aprovechar al máximo los beneficios que se podría entender. Es interesante notar que en estas literaturas notamos como una parte interesada clave al área de cadena de abastecimientos, visto el impacto que este tiene en la toma de decisiones para la gestión de activos móviles y cumplimiento de los proyectos que involucran costo de capital.

Haciendo un análisis preliminar de los resultados obtenidos en la implementación del proyecto que exponemos en el presente trabajo, podemos notar que todo lo indicado por esos

autores es completamente válido, y conversa directamente con la realidad operacional pese a que estos trabajos no necesariamente fueron implementados en el rubro minero. De toda la literatura evaluada, sólo la tesis de Godoy especifica claramente que el alcance de esta aplicación se da en las industrias de uso de activo intensivo como lo son la minería, aeronáutica, y defensa (2014, p. 85). Muy a pesar de esto podemos notar que el comportamiento en el mantenimiento de los equipos móviles no varía entre industria e industria. Hay que resaltar que existen algunas condiciones diferentes entre los distintos sectores, dando como ejemplo la minería subterránea donde tenemos condiciones de humedad, temperatura, altitud con respecto al nivel del mar, presión, espacio de trabajo e iluminación completamente diferente a lo que nosotros podríamos observar en una industria desarrollada al aire libre. Además, las condiciones de accesibilidad en minería subterránea son muy diferentes y hasta muchas veces limitadas. Con el fin de evaluar mejor todas esas diferencias y poder asegurar una relación positiva con lo dicho por la mayoría de autores, procederemos a continuación con la realización de un análisis de todos los resultados obtenidos en la implementación de este trabajo, iniciando con un análisis cualitativo detallando la percepción de las personas que participaron de la presente investigación, y a su vez un análisis cuantitativo donde analizaremos los resultados expuestos en el capítulo 2 conforme el estudio de caso desarrollado para la presente implementación.

### **3.2. Análisis de Resultados**

Con la intención de demostrar o refutar lo mencionado en la hipótesis planteada en la introducción del presente trabajo, vamos a comenzar a discutir todos aquellos resultados que hemos obtenido mediante la implementación. Esta discusión será realizada en dos partes principales. La primera parte consistirá en realizar el análisis de aquellas características o resultados no cuantificables que fueron consolidados mediante conversaciones con las partes involucradas en el proyecto. Haremos un análisis de los distintos agentes que participaron en la toma de decisiones, en el análisis de los indicadores, en la gobernanza de control, y en el

cumplimiento de la ejecución de cada una de las etapas de implementación. Como segundo punto vamos a tomar en consideración los resultados cuantificados del proyecto, siendo el primordial el costo operativo dentro del área de mantenimiento, la distribución del costo de capital en el tiempo, el cumplimiento o adherencia de la ejecución del presupuesto, y los beneficios que se pudieron tener en la productividad de la operación minera. Es relevante resaltar que durante este análisis se deberán considerar aquellos factores externos que pudieron alterar el resultado. Esto con el objetivo de tener una ecualización y evitar un análisis erróneo de aquellos factores relevantes que sustentan el presente proyecto.

### **3.2.1. Análisis Cualitativo de Resultados**

#### **3.2.1.1. Análisis Cualitativo de Etapa de Diagnóstico**

Procederemos a realizar un análisis y una discusión de todos los resultados que se mostraron durante la etapa inicial de la implementación del proyecto, es decir, la etapa de diagnóstico. Una de las principales dificultades que se presentaron en este momento fue la falta de información con relación al estado actual de los equipos móviles de toda la empresa. Pudimos notar que no existía una base estandarizada para poder hacer el registro de cuáles eran los códigos de cada uno de los equipos, cuál era el horómetro del motor diésel, en caso de equipos de perforación cuál era el horómetro de percusión o eléctrico, ni tampoco se podía mapear cuando fue realizada la adquisición o reparación mayor para este equipo. Esto demostró una dificultad inicial para poder entender cuáles eran los momentos adecuados para poder proceder con una actuación en el equipo dentro del año. Lo que se pudo observar es que anteriormente la gestión del mantenimiento se realizaba de forma interna en el área, y no se consideraba una sinergia entre las diversas unidades mineras. A su vez, la información no se encontraba en una base sólida y confiable, pudiendo ser fácilmente manipulada o incluso eliminada por algún error humano. Otro punto relevante es la falta de separación de los costos por equipo móvil, frecuentemente siendo solo considerado el costo por flota, no permitiendo hacer una toma de decisiones adecuada y generando una falsa imagen de la realidad actual

por una dilución del rendimiento con relación a los otros equipos. Tomando esto como premisa, pudimos ver un gran cambio dentro de la gestión de rutina diaria para estos equipos, involucrando a su vez a diversas personas responsables de cada una de las flotas tanto en operaciones como en mantenimiento. Este cambio de forma de ver las cosas fue relevante para iniciar con la implementación. Haciendo un recordatorio a lo mencionado por Yatsenko y Hritonenko (2016), notamos la importancia en la gestión de activos y la presencia de buenos resultados al momento de gestionar o generar una buena base de datos, si bien es cierto los autores hacen referencia netamente a los costos, podemos entender que este mismo concepto aplica incluso para información básica de la flota.

Con respecto a la gestión de personas, hemos notado una gran participación por la mayoría de los responsables del control de estos indicadores, incluso las respuestas que recibíamos eran ágiles y nos permitían tomar decisiones de forma adecuada sin afectar los plazos. Sin embargo, también pudimos notar que había ciertas diferencias entre distintos valores que pasaban distintas personas. Esto nos demostró que el sistema de gestión de información para el área de mantenimiento no tenía la suficiente confiabilidad para poder acompañar la rutina de forma adecuada. Solo recordando que este análisis y en particular es previo a la implementación del proyecto de mejora, por lo que es normal encontrar estos eventos. Ya al culminar la etapa de diagnóstico pudimos notar que hubo una mejora en la gestión de cada una de las unidades, debido a que tomaron conciencia de cuál era el estado actual de la flota y dando una apertura a la posibilidad de poder desarrollar mayores proyectos de innovación y de optimización de indicadores tales como costos o performance. de esta forma fue posible también mantener un solo estándar para el reporte de estos estados entre las unidades mineras de Brasil y Perú. También pudimos ver que hubo iniciativa de todas las unidades para poder separar bien los costos aplicados en el mantenimiento de cada uno de los equipos, ya que fue claramente notoria la falta de información para proceder con una toma de decisiones adecuadas en estos casos. fue reconocido que habría un trabajo adicional el cual

debería ser hecho por la parte operativa; sin embargo, los beneficios y posibilidades que se podrían tener al realizar este trabajo sustentaba con creces esta posibilidad.

### **3.2.1.2. Análisis Cualitativo de Etapa de Implementación**

Vamos a evaluar la implementación desde tres puntos de vista relevante: la dificultad de la implementación, la participación de las personas, y una discusión de los resultados. Con relación a la dificultad de la implementación, podemos mencionar que inicialmente hubo una reactividad por parte de las mismas personas para ejecutar distintos seguimientos o controles a los equipos. Uno de los casos fue para la implementación del reporte de control de tiempos en la ejecución de actividades operacionales. Se tuvo un retorno reactivo por parte de los trabajadores operativos y del mismo sindicato de estos, asumiendo que se estaba teniendo este reporte con el objetivo de controlar las actividades de las personas en el trabajo, pudiendo ser utilizado en su contra. Se tuvo un trabajo de sensibilización fuerte para poder evitar esos comentarios y entender el objetivo primordial de esta implementación. A modo de entregable de esta investigación, me gustaría mencionar que el sustento dado para las personas fue que toda la información recolectada y proyectos implementados eran íntegramente por el bienestar del trabajador, debido a que muchas veces ellos estaban en riesgo por utilizar equipos que no se encontraban en condiciones adecuadas y no tenían el rendimiento suficiente para que ellos puedan realizar un trabajo tranquilo y seguro. Con ese sustento posteriormente se pudo trabajar con cada operador hasta poder tener resultados adecuados y una adherencia de implementación de 93% considerando los plazos y porcentajes de ejecución. Otro punto de vista relevante fue el de las gerencias de las unidades, en este caso el gerente de la unidad Cerro Lindo. Al momento de ejecutar y acompañar la implementación de acciones, él se mostró muy dispuesto para poder soportar y dar énfasis en los trabajos necesarios para poder atender los plazos conforme indicados. Por ende, si consideramos hacer un balance con respecto a la dificultad de la implementación, podemos resumir que se tuvo bastante facilidad dentro de la

línea gerencial, y se estuvo cierta reactividad desde la parte obrera. Pese a esto, se pudo desarrollar el proyecto sin complicaciones adicionales.

Ahora discutiendo los resultados, podría mencionar que al inicio sólo con la implementación de algunas acciones se pudo notar una mejora significativa en los costos operativos de mantenimiento. Esto se dio por dos principales factores: el mejor conocimiento de los costos aplicados a los equipos móviles, y el cambio de enfoque por parte de la gerencia de mantenimiento yendo hacia un mantenimiento de forma predictiva. Más adelante haremos un comparativo de cuanto fue el impacto de forma cuantitativa en los resultados operativos tanto de costos como de producción.

### **3.2.1.3. Análisis Cualitativo de Etapa de Control o Seguimiento**

Comenzaremos a discutir cuáles fueron los resultados en la etapa de control o seguimiento. Este punto es muy interesante en la investigación, debido a que marca el hito para determinar si este proyecto continúa en el tiempo o tiene un riesgo de detención por algunos factores. Durante el comienzo de esta etapa pudimos percibir que las personas tenían una gran ansiedad por seguir viendo cuáles oportunidades podríamos reconocer con la implementación del proyecto. A su vez, notamos que hubo iniciativa de las coordinaciones de las distintas áreas para poder disminuir aún más los costos, y de la misma forma evaluaron diversas posibilidades para poder aplicar estas mismas metodologías en otras categorías de la unidad minera, como por ejemplo la gestión de stocks, la misma operación minera, el área de proyectos, geología, entre otros. Esta intensidad por desarrollar más proyectos se notó primordialmente durante las tres primeras semanas posteriores a la conclusión de la implementación. Posterior a eso, pudimos notar que varios factores fueron apagando esa intensidad, mostrando que la rutina del mantenimiento puede opacar implementación de varios proyectos. Es por esto por lo que fue clave la implementación de la gobernanza con un seguimiento anual y mensual, la cual mantuvo vivo el interés de todas las personas involucradas con la implementación de este proyecto. Es importante resaltar que no todo salió

como se esperaba, visto que en algunos casos durante periodos de presupuesto o de alta solicitud hacia las unidades mineras para definir la expectativa de consumo de dinero a medio plazo, había ausencia de las personas durante las reuniones de seguimiento. Por ende, una de las recomendaciones que se podrían dar para la correcta implementación de este proyecto es el acompañamiento mediante un comité de inversiones específicamente para equipos móviles. La propuesta sería conformada por el gerente corporativo de minería, el gerente corporativo de cadena de abastecimiento, el analista de la categoría de equipos móviles corporativo, y el gerente corporativo financiero.

Escenario Anterior a Implementación	Escenario Actual posterior a Implementación
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Discrepancia entre horómetros de percusión, diésel y Powerpack al momento de controlar indicadores</li> <li>• Desconocimiento de costos individuales por equipo y flota</li> <li>• Reclamos constantes por la falta de equipos y mal manejo de la gestión de flota</li> <li>• Costos elevados por mantenimiento y repuestos no controlados</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conciencia de control de horómetros en reportes de seguimiento y análisis de indicadores</li> <li>• Determinación de TCO mediante lecturas de indicadores en SAP</li> <li>• Trabajo conjunto con personal operacional y mantenimiento alineado a directivas corporativas</li> <li>• Optimización de costo por equipo y por flota global</li> </ul>

### 3.2.2. Análisis Cuantitativo de Resultados

#### 3.2.2.1. Costos operacionales del área de Mantenimiento.

Discutiendo los costos operacionales de cada uno de los equipos, inicialmente pudimos notar una reducción del costo en promedio de 8,7% con relación al escenario anterior a la implementación. Esto lo pudimos notar aproximadamente durante los 3 primeros meses de control. Sin embargo, posterior a este periodo hubo un incremento de los costos relacionados a la materia prima principal de los equipos móviles, siendo ésta el acero inoxidable. Cómo podemos acompañar en los indicadores de mercado, hemos notado que este insumo tuvo un incremento de 47% en el precio comparado al que se tenía durante el mes de enero del 2021. Es por esto que haciendo el comparativo de los costos posterior a este periodo tuvimos un incremento de hasta 14% en el costo operativo del área de mantenimiento por equipo. Si llegamos a evaluar esta situación, podemos estar de acuerdo con la opinión de Godoy (2014) y

la de Dixit y Pindyck (1994) quienes mencionan que de hecho existe también una relación directa de los costos operativos por factores externos propios de la operación. considerando esto, podemos reformular la hipótesis planteada inicialmente detallando específicamente que este impacto positivo en los costos operativos es sin considerar agentes externos o casos de fuerza mayor que afecten los precios del mercado. Sólo para confirmar esta teoría, se realizó un análisis económico buscando una equalización de los costos y aplicando el mismo factor de reajuste a los precios de las materias primas. Al momento de hacer esta actualización pudimos confirmar que el escenario anterior hubiera tenido un impacto de aproximadamente 22%. Comparándolo con el nuevo escenario, podríamos notar que el beneficio que nosotros tuvimos con la implementación del proyecto fue incluso mayor del mapeado inicialmente, llegando a tener una reducción del 9,3% en el costo operacional. poniéndolo en números y dando un ejemplo del caso, podemos decir que en el análisis de un equipo Scoop R2900G de la unidad con aproximadamente 9500 horas de horómetro diésel, previo a la realización de la implementación del proyecto el costo sólo en repuestos fue de 24,96 USD/h, mientras que al aplicar el proyecto se pudo llegar a tener un costo de 23,12 USD/h. Con el paso del tiempo este costo incremento hasta 27,34 USD/h, siendo notoriamente mayor que el escenario anterior. Sin embargo, cumpliendo con el análisis anteriormente mencionado, si hubiéramos mantenido la misma condición y hubiéramos tenido los reajustes que sufrimos durante este período, se pudo notar que el costo hubiera incrementado hasta 29,89 USD/h.

Este mismo comportamiento se observó en los demás equipos, dado principalmente por la estabilidad de precios que se pudo tener con el proveedor incrementos menores que eran aplicados anteriormente y por las condiciones negociadas no necesitaba tener una aplicación al momento. Esto trajo muchísimos beneficios porque aseguró una estabilidad a medio y largo plazo. a su vez recordemos que la implementación del proyecto fue asegurar una condición de costo horario estable en los contratos de mantenimiento, aprovechando la deficiente gestión de indicadores con la que contaba la empresa. esta metodología así que la responsabilidad del

cálculo de estos indicadores pase también a ser una obligación por parte de los proveedores. La única observación que se deberá tener para asegurar el correcto funcionamiento de este modelo es el acompañamiento de los indicadores de mercado para sugerir una modificación de los precios en beneficio de la empresa negociando con el proveedor. anteriormente este esfuerzo ya era hecho por el área de cadena de abastecimiento. es interesante resaltar que con la implementación del proyecto los esfuerzos para sustentar estas variaciones son mucho menores, debido a que los contratos en su gran mayoría poseen una condición de reajuste por fórmula paramétrica que considera los drivers y los indicadores de mercado. para estandarizar este cálculo entre el proveedor y la empresa, se tomó la decisión de hacer el control por medio de un software virtual llamado Cost Drivers, el cual actualmente se utiliza en la empresa y se cuenta con licencias válidas para su utilización. Visto todos los puntos mencionados en este análisis cuantitativo, la hipótesis sería válida sólo desconsiderando las externalidades y variaciones en el mercado.

#### **3.2.2.2. Indicadores de Productividad.**

Si hablamos de indicadores de productividad, el indicador clave para poder controlar esto es la extracción de mineral. En este caso, pudimos notar que posterior a la implementación no hubo una mejora o reducción en este valor, manteniéndose en un margen de 17500 TMD. Para poder explicar esto, debemos entender que la extracción de mineral es un indicador muy complejo y que normalmente se ve afectado por muchas variables. Cuando hicimos el levantamiento de la información para entender la falta de impacto en este indicador, pudimos notar que no hubo incremento de la extracción porque existía un cuello de botella en la planta concentradora. A su vez tomando en consideración el contexto actual de la mina, hemos visto que no contaba con las reservas liberadas suficientes para poder atender la cuota exigida por el proceso operativo. Además, hubieron paradas en los equipos estacionarios que alimentan a la planta concentradora, por lo que pudimos notar que, pese a potencialmente tener un beneficio por parte de los equipos móviles, este beneficio se veía opacado por las

otras dificultades o problemas que había en mina subterránea, visto que los problemas de disponibilidad de equipos no era un factor tan relevante o decisivo al momento de evaluar la flota. Algo que podemos informar durante la ejecución de ese trabajo es que no se tuvo un control de los subprocesos de cada proceso unitario minero. Es decir, no se pudo controlar si en campo hubo un mejor desempeño de los activos móviles y menores tiempos para el cumplimiento de las actividades mineras. De haber tenido este indicador, podríamos aseverar que la gestión de los activos móviles tuvo un mejor desempeño en la productividad de las actividades mineras. El indicador más próximo que fue controlado en esta investigación y que podría soportar esta hipótesis es el indicador de confiabilidad de la flota. Anteriormente notamos que el tiempo promedio entre fallas de la flota era de aproximadamente 8,3 horas. El indicador de tiempo medio de reparación fue de 2,2 horas. Posterior a la implementación pudimos notar que el tiempo promedio entre fallas incremento hasta 10,8 horas, y el tiempo medio de reparación sólo disminuyó hasta 2,1 horas. Evaluando estos indicadores, podemos decir que los operadores tienen más tiempo el equipo disponible sin dificultades al momento de operarlo. al tener esta premisa, podemos asumir que las actividades se realizan con una mayor velocidad, con una mayor confiabilidad, y siguiendo los estándares que se estipulan de acuerdo con los procedimientos internos de la empresa.

### **3.2.2.3. Otros indicadores afectados.**

Con el fin de complementar la discusión de los resultados cuantitativos obtenidos en la presente investigación, podemos mencionar otros indicadores que han sufrido impacto tanto positivo como negativo. El primer indicador es la adherencia al cumplimiento del presupuesto CAPEX de la empresa. Al implementarse una gobernanza en la cual la toma de decisiones se hace para los próximos 5 años, y a su vez adelantamos la generación de pedidos de compra y definición de equipos a ser adquiridos, podemos evitar que por un atraso en el tiempo de entrega o fabricación de esta maquinaria el presupuesto se pierda o se tenga que migrar para el próximo año, también denominado proceso de *carry over*. Esto debido a que, por el contexto

o la situación actual, los equipos han pasado a tener una entrega de aproximadamente 46 semanas incluyendo la logística internacional. Anteriormente, el presupuesto y los pedidos de compra se generaban a finales del año anterior, ocasionando que muchas veces los equipos lleguen durante el último cuartil del año. Con la migración actual, podemos contar con los nuevos equipos como máximo durante el segundo cuartil del año siguiente.

Si bien es cierto hemos tenido indicadores que se han visto afectados positivamente por esta decisión, uno de los indicadores que no han tenido el mismo comportamiento en el corto plazo ha sido el estado financiero de la empresa. Al momento de revisar la flota, se pudo percibir que varios equipos sufrieron de una postergación para la reforma o mantenimiento de estos por motivo de la pandemia, generando así una carga mucho mayor durante los primeros años de la implementación del proyecto. Esto quiere decir que si bien es cierto vamos a priorizar la necesidad operacional, el mantenimiento y la disponibilidad de la flota, durante este primer año necesitaremos invertir mucho más capital de lo programado años anteriores. Esto también genera un riesgo a que muchos proyectos no sean aprobados por el directorio por falta de capital, por lo que estaríamos generando un pasivo para los siguientes años y así no teniendo el beneficio que esperaríamos por el planeamiento estratégico.

### **3.3. Discusión General de la Hipótesis**

Como último punto del presente capítulo haremos una breve discusión de la hipótesis con relación a lo anteriormente mencionado. Podemos notar que conforme a la gran cantidad de los autores y a los indicadores analizados en el presente trabajo, podemos validar y confirmar lo asumido en la introducción. Incluso, es natural decir que la implementación de un sistema de gestión de activos sin duda alguna puede generar un impacto positivo en los resultados operacionales de una empresa, esto por el simple concepto de que al tratar con acciones que atacan los principales puntos de un tema trabajado, lograremos mejorar el rendimiento y desempeño de este alcance; sin embargo, al ser específicamente el impacto en costos tratado en la presente investigación, debemos tomar cuidado de los resultados

expuestos y del análisis vertido tomando en consideración estos puntos. Pese a validar preliminarmente la hipótesis considerando los comentarios de autores y resultados mostrados, será necesario hacer una acotación en la hipótesis resaltando que es posible generar un margen de utilidad mediante la reducción de costos a través de un adecuado diagnóstico predictivo del mantenimiento usando metodologías de gestión de activos móviles con el soporte de contratos mineros sin considerar externalidades dadas por el mercado de los metales y materias primas para la elaboración de estos. Esto se debe íntegramente a que justo al momento de desarrollar la investigación, tuvimos un caso muy relevante y de mucho interés general que ocasionó que los resultados tuvieran una variabilidad no planificada, dado netamente por la pandemia del COVID-19. Fue interesante saber que pudimos tener un 9.3% de impacto positivo en los costos del mantenimiento de cada uno de los equipos, y a su vez pudimos reducir los tiempos y asegurar una confiabilidad de los equipos para brindar satisfacción a los trabajadores y operarios, pese a que no se pudo demostrar una mejor performance en relación con la extracción de mineral, siendo ésta una variable a ser desconsiderada de la hipótesis u objetivo de la presente investigación. A modo de discusión, podemos resaltar que el sector minero es un sector muy amplio y que presenta múltiples variables que pueden alterar levemente cualquier resultado o beneficio obtenido. Además, no podemos dejar de lado que la minería al ser un proceso secuencial dentro de la labor, la optimización de un proceso no necesariamente genera un impacto positivo dentro de toda la cadena del proceso y esto racionalmente se debe a que es importante de manera preliminar reconocer cuál es el proceso que genera un cuello de botella para poder maximizar o incrementar el producto. Pero esto no quiere decir que la implementación de la mejora no sea necesaria, solo quiere decir que se debe monitorear algún otro indicador para poder reconocer las ganancias obtenidas mediante la implementación de aquel proyecto. Visto que para la presente investigación tratamos un proceso de soporte a toda la cadena de producción, se podía estimar que podría tener un impacto cuantitativo y los indicadores extractivos de la

misma operación minera, cosa que no se materializó en la presente investigación debido a que los múltiples factores involucrados pudieron haber neutralizado esta ganancia o simplemente no se enfocó en el subproceso que cumplía el papel de cuello de botella dentro de la actividad como lo puede ser planta concentradora.



## Conclusiones

- El costo de una unidad minera es un indicador que depende mucho de las decisiones o de las estrategias tomadas por parte de la empresa minera, debido a que cualquier efecto de estas decisiones puede llegar a optimizar o empeorar el costo histórico presentado hasta la fecha. Es relevante resaltar que aquel costo involucrado para los activos móviles de la empresa puede generar un impacto tanto positivo o negativo en el costo total por ser parte aproximada de un 8% del total del costo operativo.
- Es importante tener una buena gestión de datos e información de los equipos móviles para poder plantear propuestas de oportunidades de mejora y proyectos para optimización de costos. Esta base de datos debe contar con todos los criterios de confiabilidad, almacenamiento y colecta adecuados para evitar cualquier error en la manipulación o tratamiento de estos, debido a que estos indicadores serán clave para la determinación de las estrategias a mediano y largo plazo.
- El conocimiento del proceso productivo y la realidad operacional es clave para asegurar buenas negociaciones y contratos totalmente alineados con lo esperado por la unidad minera, ya que nos permite percibir todo el negocio de una forma global y nos abre camino a diversas oportunidades para negociar tanto con los proveedores de los mismos equipos móviles como con otros proveedores que brindan servicios directamente a las operaciones.
- Debemos tomar conciencia de que los diversos planes empleados para atender los objetivos de la operación son una pieza importante al momento de implementar un proyecto, debido a que son el soporte para justificar el trabajo desarrollado por medio de las metas organizacionales. Cabe resaltar que muchos proyectos requieren de un sustento técnico económico para poder evaluar la factibilidad y viabilidad de aplicación de cada uno de estos.

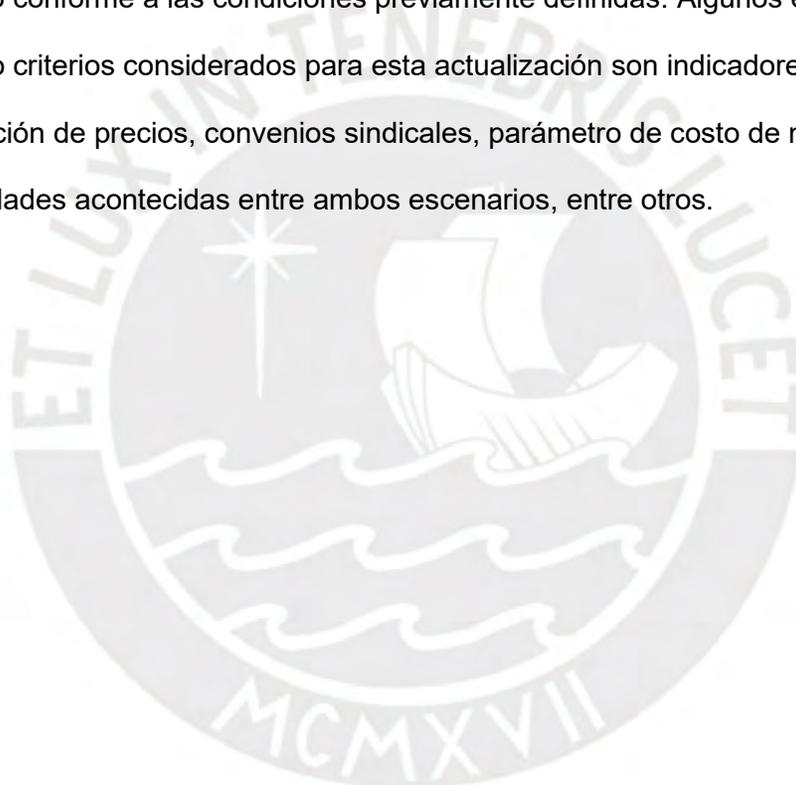
- Es importante exponer a las partes que participarán de la investigación los objetivos primordiales de esta, a fin de convencerlos de la relevancia del proyecto y asegurar la participación del personal. Los objetivos deberán ser compartidos con las personas que serán parte de la implementación para poder mantener la continuidad del proyecto a largo plazo, visto que en el rubro minero existe un alto índice de rotación de personal el cual puede generar que diversos proyectos de optimización de costos queden sin un dueño en el corto o mediano plazo.
- Con el objetivo de asegurar que el proyecto genere beneficios a medio y largo plazo, es muy importante dentro de un proyecto de optimización o de mejora continua establecer un mecanismo de control para asegurar que todos los planes y metodologías definidas perduren en el tiempo y mantenga el interés de las personas involucradas mientras se realiza el seguimiento adecuado de los indicadores y mantenemos un alineamiento con las personas o partes involucradas.
- Las metodologías aplicadas para la gestión de activos móviles pueden ser utilizadas por cualquier empresa del rubro minero, ya sea superficial como subterráneo; sin embargo, muchas veces por la rutina operacional dejamos de lado estas oportunidades importantes para toda organización. Es por esto por lo que es relevante y muy importante capacitar a todo el personal en los principales impactos que se generan por una falta de mantenimiento y una falta de plan estratégico al momento de tomar decisiones dentro de los activos móviles de una empresa minera. A su vez, se debe capacitar en los principales beneficios técnicos y comerciales que se pueden obtener al momento de desarrollar una buena negociación y un buen proceso de contratación o licitación en las empresas que suministra estos equipos o servicios.
- Cada mina tiene diversas condiciones específicas que facilitan o complican la implementación de un proyecto de optimización en la gestión de activos. Es importante reconocer todas estas facilidades y dificultades para poder aprovecharlas y asegurar

una adecuada implementación. Existen diversas metodologías que permiten aprovechar estas fortalezas y debilidades para desarrollar la estrategia y maximizar los beneficios de la implementación de un proyecto de mejora.

- La implementación de cualquier proyecto de optimización en gestión de activos genera rápidamente un impacto positivo en los indicadores de costos operativos, pudiéndose incrementar este beneficio con el paso del tiempo. Sin embargo, es importante recalcar que el impacto no necesariamente va a ser un beneficio con respecto al escenario anteriormente presentado, debido a que muchas veces se pueden tener diferentes condiciones entre ambos escenarios.
- No es correcto afirmar que optimizar la gestión de activos puede generar un impacto directo en los parámetros de operación y productividad, como por ejemplo la extracción del mineral. Es necesario conocer previamente si el mantenimiento y la gestión de activos es un cuello de botella para este indicador. Esto también se debe para que los parámetros de operación y productividad dependen muchas veces de otros factores como lo son la disposición del mineral, la adherencia al plan de minado, la precisión de la exploración, la capacidad de extracción, y el rendimiento de los diversos operadores que trabajan en el proceso minero.
- Esta metodología y proyecto en general puede ser aplicado de manera sencilla a cualquier industria, siendo ésta no necesariamente del rubro minero. Considerando esta premisa podemos asumir que es viable aplicar esta metodología de planificación y planeamiento estratégico a otras empresas dentro del rubro minero a nivel nacional. Vale resaltar que los resultados obtenidos de esta implementación y los planes detallados dentro del proyecto a ser implementado variarán de acuerdo con las condiciones específicas de cada empresa o proyecto. Un ejemplo de estos será la aplicación dentro de minería superficial, la cual tendrá más información por la

accesibilidad a los datos y a la conectividad entre la información de campo y sala de control.

- Es importante ecualizar los escenarios al momento de realizar una comparación de beneficio de implementación de proyectos, debido a que las condiciones y realidad acontecida en un escenario puede ser muy diferente a la del escenario futuro evaluado. Para esto se deben considerar los diversos criterios comerciales y técnicos que ayudarán a mantener un escenario estandarizado para poder realizar un comparativo adecuado conforme a las condiciones previamente definidas. Algunos ejemplos de los factores o criterios considerados para esta actualización son indicadores de inflación, actualización de precios, convenios sindicales, parámetro de costo de materia prima, externalidades acontecidas entre ambos escenarios, entre otros.



## Bibliografía

- Adolfo J. Carreño (2018). Cadena de Suministro y Logística. Fondo Editorial Pontificia Universidad Católica del Perú (p. 123).
- Amir Al Shaalane (2012). Improving Asset Care Plans in Mining: Applying Developments from Aviation Maintenance. Stellenbosch University,
- Amir Noorbakhsh (2019). Total Cost of Ownership along the Mine Asset Management and Supply Chain.
- B. S. Dhillon (2008). Mining Equipment Reliability, Maintainability, and Safety. Springer Series.
- Baumann H. & Pernilla G. (2003). The life cycle costing (LCC) approach: a conceptual discussion of its usefulness for environmental decision-making. Science Direct.
- Barringer, P. (1997). Life Cycle Cost & Reliability for Process Equipment. 8th Annual ENERGY WEEK Conference (pág. 22). Houston, Texas: American Petroleum Institute.
- Barringer, P. B., & Weber, D. D. (2006). Life Cycle Cost Tutorial. Gulf Publishing Company and HYDROCARBON PROCESSING.
- Bravo Orellana, S. (2001). La Vida Útil de un Activo y Políticas de Reemplazo de Activos. Universidad ESAN.
- CadenadeSuministro.es (2022). Los retrasos en el transporte marítimo se sitúan en máximos. Lugar de publicación: Cadena de Suministro.ES.  
<https://www.cadenadesuministro.es/noticias/los-retrasos-en-el-transporte-maritimo-se-colocan-en-maximos/>
- Carpio J. & Soto C. (2018). Evaluación del desempeño de la aplicación del Sistema FARA y su impacto en el costo operativo en la U.M. Cerro Lindo. Pontificia Universidad Católica del Perú (p. 19).
- David R. Godoy (2014). Integrated Models for Critical Spare Parts Management in Asset Intensive Industries. Pontificia Universidad Católica de Chile.

- Dobrović & Tomičić (2020). SWOT Analysis in the Strategic Planning Process – Meta-modelling Approach. 2020 IEEE 10th International Conference on Intelligent Systems (pp. 574-579).
- Dragan Komljenovic (2014). Development Of Asset Management in The Mining Industry.
- Haifeng Ge, Asgarpoor & Hou (2011). Aging Equipment Maintainability Assessment for Management of Critical Utility Assets
- Hartman & Chin Hon Tan (2014). Equipment Replacement Analysis: A Literature Review and Directions for Future Research.
- Herrera, Goldsack & Fierro (2014). Sistemas para monitoreo de condiciones y servicios complementarios en equipos móviles de gran tonelaje.
- Kirstein & Visser (2017). Risk Modelling Of Heavy Mobile Equipment To Determine Optimum Replacement Ages. South African Journal of Industrial Engineering Vol 28(4) (pp 66-79).
- Lassila, Kaipia, Haakana & Partanen (2011). Concept of strategic planning in electricity distribution business. International Journal of Energy Sector Management Vol. 5 No. 4 (pp. 447 - 470).
- Lora, H., Patiño, J. & Ruiz, A. (2022). La planeación estratégica, el Balance Score Card (BSC) y la prospectiva en el sector Pymes: herramientas para la toma de decisiones en escenarios de crisis. Revista Saber, Ciencia y Libertad, 17(2), (pp. 175 – 192)  
<https://doi.org/10.18041/2382-3240/saber.2022v17n2.9275>
- Moises Molina (2020). Optimización de la Gestión de Rutina Diaria mediante la Implementación de Sistema PIMS en la Unidad Cerro Lindo. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Morkun, Semerikov & Hryshchenko (2018). Methods of Using Geoinformation Technologies in Mining Engineers' Training. Cambridge Scholars Publisher (p. 63).
- Nexa Resources Perú S.A.A. (2021). Memoria Anual Nexa Resources Perú 2020. Bolsa de Valores de Lima.

Nexa Resources Perú S.A.A. (2022). Memoria Anual Nexa Resources Perú 2021. Bolsa de Valores de Lima.

Nexa Resources Perú S.A.A. (2022). Estados financieros consolidados intermedios condensados (no auditados) por los tres meses terminados al 31 de marzo de 2022. Relaciones con Inversionistas NEXA.

Nexa Resources Perú S.A.A. (2022). Reservas y Recursos Nexa. Lugar de publicación: Investors Relationship NEXA RESOURCES.

<https://riperu.nexaresources.com/es/acerca-de-nosotros/reservas-y-recursos/>

Paul D. Tomlinsong (2020). Mine Maintenance Management Reader. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. (p. 33).

Roberts, Elkington, K. van Olden & Maulen (2013) Optimising combined open pit and underground strategic plan.

Skylakha, Sakthivel & Arunselvan (2020). Empirical study on application of machine learning techniques for resource allocation in health care using KPI. The Journal of Supercomputing: An International Journal of High-Performance Computer Design, Analysis, and Use (pp. 2266-2274).

Thakur, Beck, Mostaghim & Grosmann (2020). Survey into predictive key performance indicator analysis from data mining perspective. 2020 25th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA).

Yatsenko & Hritonenko (2015). Asset replacement under improving operating and capital costs: a practical approach. International Journal of Production Research, 2016 Vol. 54, No. 10, (pp. 2922–2933).

Yatsenko & Hritonenko (2020). Analytics of machine replacement decisions: economic life vs real options. Management Decision Vol. 60 No. 2, 2022 (pp. 471 - 487).

Yatsenko, Hritonenko & Boranbayev (2020). Non-equal-life asset replacement under evolving technology: A multi-cycle approach. THE ENGINEERING ECONOMIST 2020, VOL. 65, NO. 4, (pp. 339–362).



## ANEXO 1. Ejemplo de planilla detallada de consideraciones TCO Equipos Móviles

Análise de Tradeoff		Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 5	Cenário 6	Histórico	LCC Otimizado	Budget
Especificação do equipamento	Vida útil	horas	20,000	30,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000
	Valor aquisição	US\$ ('000)	586	586	442	442	487	487	586	586
	Câmbio	R\$/US\$	5.46	5.46	5.46	5.46	5.46	5.46	5.46	5.46
	Custo Total Aquisição	R\$ ('000)	3,198	3,198	2,416	2,416	2,660	2,660	3,198	3,198
KPI Operacionais	Payload	ton	28.5	28.5	31.4	31.4	31.4	31.4	28.5	28.5
	Horas Calendário Ano (24hx7d)	horas	8,760	8,760	8,760	8,760	8,760	8,760	8,760	8,760
	Disponibilidade (%)	(%)	85.0%	85.0%	85.0%	85.0%	85.0%	85.0%	76.6%	85.0%
	Utilização (%)	(%)	78.0%	78.0%	78.0%	78.0%	78.0%	78.0%	73.1%	78.0%
	Horas Operadas / ano	horas	5,808	5,808	5,808	5,808	5,808	5,808	4,905	5,808
	Velocidade média	Km/h	12.00	12.00	12.71	12.71	12.71	12.71	12.00	12.00
	Produtividade	t/h/km	342	342	400	400	400	400	342	342
	Taxa de produção / ano	kt/km	1,986	1,986	2,321	2,321	2,321	2,321	1,678	1,986
Custos Operacionais	Manutenção	R\$/horas	142.69	142.69	47.41	86.23	36.14	80.59	172.59	49.94
	Lubrificantes	R\$/horas	7.87	7.87	7.99	7.98	7.99	7.98	10.93	7.87
	Pneu	R\$/horas	19.74	19.74	21.71	21.71	21.71	21.71	4.95	19.74
	Preço Combustível	R\$/L	2.61	2.61	2.61	2.61	2.61	2.61	2.61	2.61
	Consumo Combustível	L/hora	28.00	28.00	21.00	21.00	21.00	21.00	28.00	28.00
	<b>Equipe de Manutenção</b>	<b>R\$/horas</b>	<b>26.54</b>	<b>26.54</b>	<b>139.65</b>	<b>139.65</b>	<b>139.65</b>	<b>120.52</b>	<b>23.90</b>	<b>36.62</b>
	<b>Custos Operacionais Totais</b>	<b>R\$/hora</b>	<b>269.92</b>	<b>269.92</b>	<b>271.57</b>	<b>310.38</b>	<b>260.30</b>	<b>285.62</b>	<b>187.25</b>	<b>206.71</b>
	Reforma	Horímetro para reformar	Horas	100.69	100.69	84.51	84.50	84.51	84.50	88.96
Qtd de reforma na vida útil		Unit	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000
Custo de reforma		R\$ ('000)	2,071.33	2,071.33	1,690.85	0.00	1,690.85	0.00	0.00	0.00
<b>Subconjuntos</b>		<b>R\$/horas</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>23.34</b>	<b>53.26</b>
<b>Custos total de Reformas</b>		<b>R\$ ('000)</b>	<b>2,071.33</b>	<b>4,142.65</b>	<b>1,690.85</b>	<b>0.00</b>	<b>1,690.85</b>	<b>0.00</b>	<b>466.80</b>	<b>1,065.20</b>
		<b>R\$/hora</b>	<b>103.57</b>	<b>138.09</b>	<b>84.54</b>	<b>0.00</b>	<b>84.54</b>	<b>0.00</b>	<b>23.34</b>	<b>53.26</b>
Custo do equipamento Aftermarket		R\$/horas	373.49	408.01	356.11	310.38	344.84	285.62	308.79	240.51
Custo do Equipamento Adq	R\$/horas	159.89	106.59	120.78	120.78	133.01	133.01	159.89	159.89	159.89
<b>Custo Total TCO</b>	<b>R\$/horas</b>	<b>533.38</b>	<b>514.60</b>	<b>476.89</b>	<b>431.16</b>	<b>477.85</b>	<b>418.62</b>	<b>468.68</b>	<b>400.40</b>	<b>419.86</b>
<b>Custo produtivo total</b>	<b>R\$/t/km</b>	<b>1.56</b>	<b>1.50</b>	<b>1.19</b>	<b>1.08</b>	<b>1.20</b>	<b>1.05</b>	<b>1.37</b>	<b>1.17</b>	<b>1.23</b>
Custo after market total por ano	R\$/equip.	2,169,169	2,369,669	2,068,272	1,802,662	2,002,817	1,658,824	1,514,654	1,396,853	1,290,148
Custo after market total por ano	R\$/t/km	1.09	1.19	0.89	0.78	0.86	0.71	0.90	0.70	0.76