

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA

**PLAN DE MEJORA DE LOS INDICADORES DE MANTENIMIENTO PARA
LOS EQUIPOS DE PERFORACIÓN DE AVANCE DE GALERÍA Y DE
PRODUCCIÓN EN MINERA LAS CENIZAS FAENA CABILDO**

Trabajo de Titulación para optar al Título
Profesional de Ingeniero de Ejecución en
GESTIÓN INDUSTRIAL

Alumno:

Pablo Ignacio Altamirano Fernández

Profesor Guía:

Ing. Sebastián Amaro Belmar

DEDICATORIA

A mi esposa Maureen, que sin su apoyo incondicional no hubiera logrado terminar esta etapa tan importante, por todas las horas de atención a las cuales renuncio sin ningún reparo le agradezco infinitamente.

A mis padres Juan y Claudia, que me incentivaron desde pequeño para que lograra convertirme en un profesional.

RESUMEN

Keywords: PLAN DE MEJORA DE INDICADORES DE MANTENIMIENTO, DISPONIBILIDAD, EQUIPOS ELECTROHIDRÁULICOS.

En la comuna de Cabildo se encuentran ubicadas las dependencias del Grupo Minero Las Cenizas, conformadas por su Planta Procesadora y dos yacimientos, Mina Sauce y Carmen Margarita, en donde se extrae mineral de Cobre.

La situación actual del precio del mineral rojo, en donde dos de las cuatro faenas han tenido que detener sus operaciones, y además del receso de la actividad agrícola, han provocado un aumento significativo en la cesantía de la comuna. Es por esta razón que la sustentabilidad de las operaciones de la faena Cabildo del Grupo Minero Las Cenizas toma gran importancia, ya que es la principal fuente laboral de la zona. Sin embargo, el incumplimiento de los programas de perforación a lo largo del año 2016, está generando una disminución de las reservas perforadas en ambos yacimientos.

La Gerencia de Operaciones Cabildo ha realizado el llamado a todas sus áreas de la faena a buscar las causas de este retraso y encontrar las soluciones de para mejorar la situación actual que afecta la continuidad de las operaciones de la minera. No ajeno a esto, el Departamento de Mantenimiento Mina propone un plan para mejorar los indicadores de mantenimiento de los equipos electrohidráulicos de perforación, mediante la renovación de la flota de perforadoras hidráulicas y la modificación de los planes de mantenimiento para estos equipos.

ÍNDICE

RESUMEN

ÍNDICE

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO 1: ASPECTOS GENERALES Y DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

- 1. ASPECTOS GENERALES Y DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA
 - 1.1. LA ORGANIZACIÓN
 - 1.1.1. Empresa
 - 1.1.2. Método de explotación faena Cabildo
 - 1.2. UNIDAD DE NEGOCIO Y ESTRATEGIA ORGANIZACIONAL
 - 1.3. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA
 - 1.3.1 Descripción del Problema
 - 1.3.2 Causa Raíz
 - 1.4. REQUERIMIENTOS
 - 1.5. ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN
 - 1.6. EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN
 - 1.6.1. Costos
 - 1.6.2. Seguridad
 - 1.6.3. Beneficios
 - 1.6.4. Factibilidad
 - 1.7. OBJETIVOS DEL PROYECTO
 - 1.7.1. Objetivo general
 - 1.7.2. Objetivos específicos
 - 1.8. VALOR AGREGADO DEL PROYECTO DE TITULACIÓN

CAPÍTULO 2: SOLUCIONES DE INGENIERÍA.

- 2. SOLUCIONES DE INGENIERÍA
 - 2.1. ALCANCE DEL PROYECTO
 - 2.2. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA.
 - 2.2.1. Descripción de la alternativa N°1
 - 2.2.2. Descripción de la alternativa N°2
 - 2.3. TECNOLOGÍA A UTILIZAR
 - 2.4. SITUACIÓN ACTUAL VERSUS SOLUCIONES PROPUESTAS
 - 2.4.1. Disponibilidad

- 2.4.2. Confiabilidad
- 2.4.3. Costos
- 2.4.4. Situación base y situación con proyecto
 - 2.4.4.1 Evaluación de disponibilidad
 - 2.4.4.2. Evaluación de confiabilidad
 - 2.4.4.3. Evaluación de costos
- 2.5. RIESGOS DEL PROYECTO
 - 2.5.1. Riesgos de organización y gestión
 - 2.5.2. Riesgo del personal contratado
 - 2.5.3. Riesgos del producto
 - 2.5.4. Riesgos de los requerimientos
 - 2.5.5. Riesgos de implementación
 - 2.5.6. Riesgos del proceso
 - 2.5.7. Análisis descriptivo de los cuatro riesgos principales
- 2.6. PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO
 - 2.6.1. Entregables del proyecto
 - 2.6.2. Estructura de descomposición del trabajo
 - 2.6.2.1 Diagrama de la estructura de descomposición del trabajo
 - 2.6.3. Cronograma global del proyecto
 - 2.6.4. Carta Gantt del proyecto
 - 2.6.5. Control y avances del proyecto

CAPÍTULO 3: ESTUDIO ECONÓMICO

- 3. ESTUDIO ECONÓMICO
 - 3.1. OBJETIVO DEL CAPÍTULO
 - 3.2. ANTECEDENTES GENERALES Y SUPUESTOS
 - 3.2.1. Antecedentes generales
 - 3.2.2. Antecedentes supuestos
 - 3.3. ANÁLISIS ESTRATÉGICO
 - 3.3.1. Análisis FODA
 - 3.3.1.1. Análisis Externo
 - 3.3.1.2. Análisis Interno
 - 3.4. ANÁLISIS DE LA DEMANDA
 - 3.5. ENTORNO COMPETIDOR
 - 3.6. COMERCIALIZACIÓN DEL PRODUCTO
 - 3.7. ORIENTACIÓN DEL PRECIO
 - 3.8. EVALUACIÓN DEL PRODUCTO
 - 3.9. INVERSIÓN INICIAL DEL PROYECTO

- 3.9.1. Inversiones fijas (tangibles e intangibles)
- 3.9.2. Gastos de puesta en marcha
- 3.9.3. Capital de trabajo
- 3.9.4. Resumen de la inversión inicial
- 3.10. DEPRECIACIÓN DE ACTIVOS
- 3.11. INGRESOS Y EGRESOS DEL PROYECTO
- 3.12. CÁLCULO DE LA TASA DE DESCUENTO
- 3.13. FLUJO DE CAJA DEL PROYECTO
 - 3.13.1. Flujo de caja puro
 - 3.13.2. Flujo de caja con financiamiento
 - 3.13.2.1. Flujo de caja con financiamiento externo del 50%
 - 3.13.2.2. Flujo de caja con financiamiento externo del 75%
 - 3.13.3. Análisis de sensibilidad
 - 3.13.4. Resumen del análisis de sensibilidad
 - 3.13.5. Resumen indicadores del proyecto

CONCLUSIÓN

BIBLIOGRAFÍA

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 2-1. Etapas del proyecto

Diagrama 2-2. Diagrama EDT del proyecto

Diagrama 3-1. Análisis de las cinco fuerzas de Porter

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 2-1. Fórmula para cálculo de la disponibilidad

Ecuación 2-2. Fórmula para el cálculo del tiempo medio entre fallas

Ecuación 2-3. Fórmula para el cálculo del tiempo medio para reparaciones

Ecuación 2-4. Fórmula para el cálculo de la confiabilidad de un equipo móvil

Ecuación 3-1. Cálculo del valor cuota

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1-1. Estructura organizacional de Minera Las Cenizas
- Figura 1-2. Equipo Boomer H-281
- Figura 1-3. Equipo Rocket Boomer 282
- Figura 1-4. Equipo Boomer S1-D
- Figura 1-5. Equipo Boltec 235H
- Figura 1-6. Equipo Simba H-1254
- Figura 2-1. Perforadora Atlas Copco 1838 ME
- Figura 2-2. Perforadora Montabert HC109
- Figura 2-3. Perforadora Montabert HC50
- Figura 2-4. Perforadora hidráulica Atlas Copco COP 1838 HD+
- Figura 2-5. Perforadora hidráulica Atlas Copco COP 1435
- Figura 2-6. Carta Gantt del proyecto
- Figura 3-1. Diagrama de disparo utilizado en Minera Las Cenizas, faena Cabildo
- Figura 3-2. Sistema de fortificación con pernos de anclaje

ÍNDICE DE GRÁFICOS

- Gráfico 1-1. Pareto de las fallas más críticas de la flota de equipos de perforación
- Gráfico 3-1. Resumen del análisis de sensibilidad al variar los ingresos
- Gráfico 3-2. Resumen del análisis de sensibilidad al variar los ingresos y egresos

ÍNDICE DE TABLAS

- Tabla 1-1. Equipos de Perforación Faena Cabildo
- Tabla 1-2. Eventos correctivos de los equipos de perforación Faena Cabildo
- Tabla 1-3. Eventos correctivos de flota de equipos de perforación de avance
- Tabla 1-4. Eventos correctivos de flota de equipos de perforación de producción
- Tabla 1-5. Eventos correctivos de flota de equipos de perforación de fortificación
- Tabla 1-6. Evaluación de las alternativas de solución
- Tabla 2-1. Opción de renovación N°1
- Tabla 2-2. Opción de renovación N°2

Tabla 2-3. Comparativa entre opciones de renovación
Tabla 2-4. Tipos de Mantenimiento
Tabla 2-5. Disponibilidades año 2016, equipos de perforación
Tabla 2-6. Costo hora por detenciones correctivas
Tabla 2-7. Confiabilidad de las flotas de equipos de perforación durante el año 2016
Tabla 2-8. Detalle costo mantenimiento perforadoras hidráulicas
Tabla 2-9. Comparación de la disponibilidad planificada
Tabla 2-10. Confiabilidad esperada próximos 5 años
Tabla 2-11. Costos esperados próximos 5 años
Tabla 2-12. Matriz de evaluación de la criticidad del riesgo
Tabla 2-13. Tipos de riesgos según el índice de criticidad
Tabla 2-14. Riesgos de organización y gestión
Tabla 2-15. Riesgos del personal contratado
Tabla 2-16. Riesgos del producto
Tabla 2-17. Riesgos de los requerimientos
Tabla 2-18. Riesgos de implementación
Tabla 2-19. Riesgos del proceso
Tabla 2-20. Análisis descriptivo de los riesgos principales
Tabla 2-21. Cronograma global del proyecto
Tabla 2-22. Control del avance del proyecto
Tabla 3-1. Análisis FODA del proyecto de mejora
Tabla 3-2. Análisis FODA de perforadoras hidráulicas COP 1838HD+ y COP 1435
Tabla 3-3. Análisis FODA de la mejora de los planes de mantenimiento
Tabla 3-4. Inversiones fijas tangibles del proyecto
Tabla 3-5. Inversiones fijas intangibles del proyecto
Tabla 3-6. Inversiones fijas del proyecto
Tabla 3-7. Gastos de puesta en marcha
Tabla 3-8. Detalle del cálculo del capital de trabajo
Tabla 3-9. Resumen de la inversión inicial
Tabla 3-10. Cuadro de depreciación
Tabla 3-11. Valor de compra de los activos
Tabla 3-12. Depreciación de los activos de la propuesta de mejora
Tabla 3-13. Ingresos del proyecto
Tabla 3-14. Egresos del proyecto
Tabla 3-15. Prima de riesgo, según nivel de riesgo
Tabla 3-16. Resumen de la inversión inicial
Tabla 3-17. Flujo de caja puro
Tabla 3-18. Resumen de la inversión inicial

- Tabla 3-19. Valor de la cuota del crédito de largo plazo al 50%
- Tabla 3-20. Amortización del crédito a largo plazo
- Tabla 3-21. Flujo de caja del proyecto con un financiamiento de un 50%
- Tabla 3-22. Valor cuota del crédito a largo plazo
- Tabla 3-23. Amortización del crédito de largo plazo
- Tabla 3-24. Flujo de caja del proyecto con financiamiento externo del 75%
- Tabla 3-25. Análisis de sensibilidad al variar los ingresos del proyecto
- Tabla 3-26. Análisis de sensibilidad al variar los ingresos y egresos del proyecto
- Tabla 3-27. Resumen indicadores del proyecto

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

SIMBOLOGÍA

ENAMI	: Empresa Nacional de Minería.
Sublevel Stopping	: Método de explotación utilizado en minería subterránea.
Cu	: Símbolo químico del elemento cobre.
Atlas Copco	: Grupo industrial dedicado a la fabricación de compresores, equipos de construcción y minería, herramientas industriales y sistemas de montaje. El Grupo ofrece soluciones para aumentar la productividad de sus clientes a través de productos y servicios.
Boomer H-281	: Equipo de perforación de galería marca Atlas Copco.
R. Boomer 282	: Equipo de perforación de galería marca Atlas Copco.
Boomer S1D	: Equipo de perforación de galería marca Atlas Copco.
Boltec 235H	: Equipo de fortificación marca Atlas Copco.
Simba H-1254	: Equipo de perforación radial marca Atlas Copco.
COP 1838ME	: Modelo de perforadora hidráulica marca Atlas Copco, diseñada para un culatín de 38 mm de diámetro y generando una potencia máxima de impacto de 18 kW.
COP 1638	: Modelo de perforadora hidráulica marca Atlas Copco, diseñada para un culatín de 38 mm de diámetro y generando una potencia máxima de impacto de 16 kW.
COP 1838HD+	: Modelo de perforadora hidráulica marca Atlas Copco, diseñada para un culatín de 38 mm de diámetro y generando una potencia máxima de impacto de 18 kW. Corresponde a la evolución de la perforadora COP 1838ME.
COP 1435	: Modelo de perforadora hidráulica marca Atlas Copco, diseñada para un culatín de 35 mm de diámetro y generando una potencia máxima de impacto de 14 kW.
Montabert	: Empresa especializada en la fabricación de martillos hidráulicos, perforadoras hidráulicas, y accesorios de demolición. Montabert fue quien invento y fabrico la primera perforadora hidráulica y martillo de demolición.

HC-109	: Modelo de perforadora hidráulica marca Montabert, diseñada para un culatín de 38 mm de diámetro y generando una energía máxima de impacto por golpe de 400 Joule.
HC-50	: Modelo de perforadora hidráulica marca Montabert, diseñada para un culatín de 38 mm de diámetro y generando una energía máxima de impacto por golpe de 210 Joule.

SIGLAS

Ton.	: Tonelada
kW	: Kilowatts
m	: Metro
mm	: Milímetro
ton/mes	: toneladas por mes
Cant.	: Cantidad
Perf.	: Perforación
Producc.	: Producción
Disp.	: Disponibilidad
Conf.	: Confiabilidad
USD	: Dólar
US\$	: Dólar
Prog.	: Programada
MPV	: Mantenimiento preventivo
MCR	: Mantenimiento correctivo
TMEF	: Tiempo medio entre falla
TMPR	: Tiempo medio para reparaciones
%	: Porcentaje
J	: Joule
T38	: Culatín con hilo tipo T y de 38 mm de diámetro
R38	: Culatín con hilo tipo R y de 38 mm de diámetro
T45	: Culatín con hilo tipo T y de 38 mm de diámetro en la zona roscada y 52 mm de diámetro en la base.
T35	: Culatín con hilo tipo T y de 35 mm de diámetro
R35	: Culatín con hilo tipo R y de 35 mm de diámetro

R32	: Culatín con hilo tipo R y de 32 mm de diámetro
kg	: Kilogramo
cst	: Centistoke
°F	: Grados Fahrenheit
°C	: Grados Celsius
Db	: Decibel
Hz	: Hertz

INTRODUCCIÓN

El documento que se presenta a continuación muestra el desarrollo del proyecto para la implementación de un “Plan de mejora de los indicadores de mantenimiento para los equipos de perforación de avance de galería y producción en Minera Las Cenizas faena Cabildo”. El cual busca aportar al cumplimiento de los programas de perforación de la faena.

Para que una empresa logre mantener sus operaciones en funcionamiento de forma sustentable, debe mantener el costo de producción menor a la ganancia por vender el producto. No cumplir con los programas de perforación ha generado una disminución considerable de las reservas perforadas y exploradas de Cobre en los yacimientos de la minera. Esto conlleva a un menor tonelaje de mineral enviado a la planta procesadora, lo que disminuye la ganancia para Minera Las Cenizas.

Este proyecto de mejora tiene como objetivo estudiar la factibilidad técnica económica de la reducción de la cantidad de eventos y tiempos de detención por mantenimiento correctivo en la flota de equipos electrohidráulicos de perforación de avance de galería y de producción de la faena Cabildo de Minera Las Cenizas.

A través de tres capítulos, se plantea el problema, la causa raíz, las alternativas de solución y el estudio de prefactibilidad de estas, además de los objetivos, para finalmente establecer, a través de la factibilidad económica, la opción más conveniente para llevar a cabo las alternativas de solución propuestas.

Los tres capítulos que conforman este estudio son:

- ✓ **Capítulo 1:** Se da a conocer la organización en donde se presenta la opción de mejora, describiendo su unidad de negocio y además del problema a solucionar, para posteriormente encontrar la causa raíz y las alternativas de solución de esta problemática. Se desarrollará la evaluación de estas posibles alternativas y finalmente se exponen los objetivos de este proyecto, entregando el valor agregado para el caso en que se lleve a cabo este plan de mejora.
- ✓ **Capítulo 2:** Este capítulo expone las soluciones de ingeniería de la o las alternativas de solución escogidas para dar fin al problema, junto con esto se describe el alcance del proyecto. Se muestra además, la situación actual versus las soluciones propuestas, los riesgos de llevar a cabo el proyecto, finalizando con la planificación de este proyecto.
- ✓ **Capítulo 3:** En esta sección se desarrolla el estudio económico de las soluciones propuestas. Iniciando con los antecedentes generales del proyecto, el análisis estratégico y de la demanda. Posteriormente se muestra el entorno competidor,

para continuar con el estudio de la inversión inicial del proyecto, la depreciación de los activos, los ingresos que se tendrán con este plan de mejora y egresos de este, con el objetivo de desarrollar distintos flujos de caja para diversas formas de financiamiento. Finalizando con el análisis de sensibilidad y de los indicadores de este proyecto.

Para finalizar este documento se entregan las conclusiones del estudio realizado y la bibliografía que se utilizó en este estudio.

CAPÍTULO 1: ASPECTOS GENERALES Y DESCRIPCIÓN DEL
PROBLEMA

1. ASPECTOS GENERALES Y DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En este capítulo se presenta una visión general de la organización de Minera Las Cenizas, la unidad de negocio, su estrategia organizacional y el impacto social que representa esta empresa a la comuna de Cabildo. Además, se dará a conocer el problema y así también las posibles soluciones de mejora a desarrollar, los objetivos de este plan de mejora y criterios de evaluación a implementar para determinar la rentabilidad del proyecto.

1.1. LA ORGANIZACIÓN

1.1.1. Empresa

Minera Las Cenizas inicia sus actividades en el mes Junio del año 1978, cuando se compra en licitación pública a ENAMI, las acciones de la Sociedad Legal Minera Las Cenizas Uno de Cabildo y las instalaciones de la Planta de Beneficio de Minerales, con una capacidad teórica de 20,000 ton/mes

En 1995, se adquiere el 60% de participación del proyecto minero de cobre Las Luces, perteneciente a las empresas Citibank y Shell Chile. En la actualidad, Minera Las Cenizas controla la totalidad de este yacimiento y la Planta de Procesamiento de Minerales, construida en 1996.

Con el objeto de abastecer de minerales a la Planta Las Luces, el año 2003 es adquirido a Minera Pudahuel el yacimiento de cobre Altamira. A partir de 2005, este yacimiento se constituyó en uno de los que abastece a la Planta de Procesamiento de Minerales de Cenizas de Taltal.

Minera Las Cenizas está dividida en dos faenas, Cabildo y Taltal, más las oficinas centrales de la compañía ubicadas en la comuna de Las Condes en Santiago.

- Faena Cabildo: Se ubica en la comuna de Cabildo, Provincia de Petorca, V Región, distante 165 Km. al norte de Santiago. En esta localidad, la empresa cuenta con los yacimientos Sauce y Carmen Margarita, y una planta de concentración de minerales de cobre.
- Faena Taltal: Se encuentra ubicada 306 Km. al sur de Antofagasta, II Región. Allí se encuentran los yacimientos Las Luces, Altamira y Aguilucho, una planta

de concentración de minerales de cobre y molibdeno, y una planta de lixiviación de minerales de óxidos de cobre.

1.1.2. Método de explotación faena Cabildo

La faena Cabildo explota los yacimientos Sauce y Carmen-Margarita a por medio del método de explotación subterránea Sublevel Stopping. El sublevel stopping es un método en el cual se excava el mineral por tajadas verticales dejando el caserón vacío, por lo general de grandes dimensiones, particularmente en el sentido vertical.

El mineral arrancado se recolecta en embudos o zanjas emplazadas en la base del caserón, desde donde se extrae según diferentes modalidades. La expresión “sublevel” hace referencia a las galerías o subniveles a partir de los cuales se realiza la operación de arranque del mineral.

Este método se aplica preferentemente en yacimientos de forma tabular verticales o sub-verticales de gran espesor, por lo general superiores a 10 m. Es deseable que los bordes o contactos del cuerpo mineralizados sean regulares.

También es posible aplicarlo en yacimientos masivos o mantos de gran potencia, subdividiendo el macizo mineralizado en caserones separados por pilares, que posteriormente se pueden recuperar.

Tanto la roca mineralizada como la roca circundante deben presentar buenas condiciones de estabilidad; vale decir, deben ser suficientemente competentes o auto soportante.

1.2. UNIDAD DE NEGOCIO Y ESTRATEGIA ORGANIZACIONAL

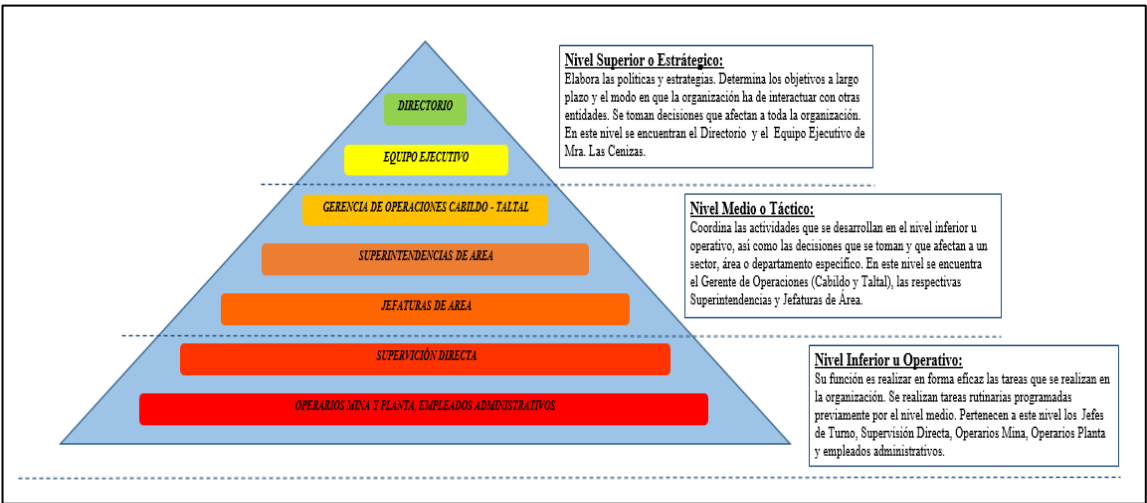
Para poder explicar la Unidad de Negocio de Minera Las Cenizas, hay que señalar que es una empresa de carácter privado de la mediana minería que desarrolla el negocio de explotación de yacimientos mineros metálicos y procesamiento de estos, a través de sus faenas Cabildo y Taltal. Satisfaciendo las necesidades del sector primario, representada por la extracción principalmente de sulfuros y óxidos de cobre, y también de productos secundarios como plata y oro en menor cantidad, para su posterior comercialización en productos procesados en forma de concentrado de cobre, plata u oro y cátodos de Cu.

El Nivel Superior o Estratégico, está encargado de elaborar las políticas y estrategias. Determina los objetivos a largo plazo y el modo en que la organización ha de

interactuar con otras entidades. Se toman decisiones que afectan a toda la organización. En este nivel se encuentran el Directorio y el Equipo Ejecutivo de Minera Las Cenizas.

El Nivel Medio o Táctico, realiza las coordinaciones de las actividades que se desarrollarán en el nivel inferior u operativo, así como las decisiones que se toman y que afectan a un sector, área o departamento específico. En este nivel se encuentra el Gerente de Operaciones (Cabildo y Taltal), las respectivas Superintendencias y Jefaturas de Área.

Finalmente, el Nivel Inferior u Operativo es el encargado de realizar en forma eficaz las tareas que se realizan en la organización. Realizan tareas rutinarias programadas previamente por el nivel medio. Pertenecen a este nivel los Jefes de Turno, Supervisión Directa, Operarios Mina, Operarios Planta y empleados administrativos.



Fuente: Elaboración propia basada en la estructura organizacional de Minera Las Cenizas.

Figura 1-1. Estructura organizacional de Minera Las Cenizas.

Debemos saber que la estrategia organizacional es la creación, implementación y evaluación de las decisiones dentro de una organización, en base a la cual se alcanzarán los objetivos a largo plazo. Además, especifica la misión, la visión y los objetivos de la empresa, y con frecuencia desarrolla políticas y planes de acción relacionados a los proyectos y programas creados para lograr esos objetivos. También asigna los recursos para implementarlos. Es decir, la estrategia de una compañía representa su manera de decirle al mundo que no le gusta la incertidumbre, y que por lo tanto quiere establecer sólidos procedimientos para asegurar su rentabilidad a largo plazo. La organización elabora un esquema comercial para identificar claramente los factores que podrían dejar sus operaciones sin funcionar, así como también pone sobre el

papel cómo pretende esquivar las balas estratégicas de sus rivales. La implementación estratégica necesita un plan de acción que consiga alcanzar una meta, permitiendo de cierta manera impedir los factores que podrían detener el impulso operacional. Todas las organizaciones, incluyendo las sin fines de lucro, tales como las fundaciones del gobierno y de caridad, implementan estrategias para mejorar la eficiencia y la productividad de sus operaciones.

“Minera Las Cenizas establece estas decisiones a través su Visión, Misión y Valores Fundamentales;

- **Visión:** Duplicar la producción de Cu equivalente en los próximos cuatro años (50.000 toneladas de Cu fino al año), con una política de cero accidentes. Ser una empresa referente de la mediana minería chilena por su calidad de gestión y capital humano.
- **Misión:** Desarrollar negocios sustentables, a través de una organización de alto desempeño.
- **Valores:**
 - ✓ Lealtad
 - ✓ Seriedad
 - ✓ Honestidad
 - ✓ Compromiso
 - ✓ Responsabilidad
 - ✓ Flexibilidad
 - ✓ Austeridad

Minera Las Cenizas conforme a su Visión, Misión y Valores, reconoce el aporte fundamental de la gestión de Medio Ambiente, Seguridad, Salud y Comunidad, para el desarrollo de estrategia de negocio en forma sustentable. Por tal razón, establece el compromiso del desarrollo de dicha gestión en forma integral, con sus líneas de mando propias, colaboradores, proveedores y comunidades.

De esta forma la Compañía dispone de los recursos necesarios para llevar a cabo su política de sustentabilidad, comprometiéndose a lo siguiente:

- Mejorar la productividad a través de la planificación y operación de sistemas de gestión eficaces y eficientes en las áreas de medio ambiente, seguridad, salud ocupacional y relaciones comunitarias, en un marco de prevención y mejoramiento continuo de los procesos y conductas, con el objeto de tender a no tener accidentes y enfermedades profesionales.

- Asegurar la continuidad de marcha de los procesos y el desarrollo sustentable, a través del cumplimiento de la legislación vigente y de los compromisos que libremente la Compañía ha contraído.
- Evitar los incidentes y de llegar a ocurrir, reportarlos y tomar medidas oportunas para controlar las causas raíces de estos, resguardando la integridad de sus trabajadores, terceros, bienes e instalaciones, medio ambiente y comunidad.
- Contribuir al mejoramiento del ambiente de trabajo y de la salud laboral de los trabajadores, adoptando progresivamente las mejoras prácticas de la industria.
- Alcanzar la satisfacción de clientes a través del cumplimiento de las especificaciones y requerimientos de los compradores de nuestros productos.
- Colaborar con organismos públicos y privados en la revisión y adaptación de regulaciones ambientales, de seguridad y salud ocupacional, para que sean compatibles con el desarrollo de la mediana minería.
- Generar relaciones de entendimiento y colaboración mutua con las comunidades cercanas a nuestras operaciones mineras”.

Bajo esta política de sustentabilidad es que Minera Las Cenizas lleva a cabo su estrategia organizacional con el fin de crear, implementar y evaluar las decisiones, con las cuales planea alcanzar sus objetivos a largo plazo.

1.3. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

1.3.1 Descripción del Problema

El actual valor del Cobre ha provocado que las empresas mineras tengan que extremar sus recursos para lograr mantener sus operaciones activas. Durante el año 2016 el incumplimiento del programa de perforación planeado para los equipos electrohidráulicos de avance y producción ha generado en el corto plazo una disminución de las reservas perforadas de mineral de cobre, lo que llevará sin lugar a duda a una inestabilidad en la empresa, pudiendo provocar incluso que la faena ya no sea atractiva para los inversionistas, y se deba realizar el cierre de esta.

Unos de los factores que ha sido causantes del incumplimiento de los planes de perforación, es el alto número de eventos correctivos de estos equipos, la baja disponibilidad y confiabilidad de la flota se han visto afectadas considerablemente durante el año 2016. Cabe destacar que para dar cumplimiento a estos planes es

necesario lograr una disponibilidad mecánica real no menor a un 5% que la disponibilidad programada y también mantener una confiabilidad por turno sobre un 75.00%.

Como se mencionó anteriormente, lograr que estos indicadores cumplan con lo solicitado por el área de operaciones ha sido una problemática para el Departamento de Mantenimiento Mina, debido a que se ha evidenciado un aumento considerable de eventos correctivos, tanto por la antigüedad de la flota, también por un déficit del mantenimiento y por causa de una mala operación.

El fin de este trabajo de titulación es lograr que los equipos cumplan con los requerimientos de la operación y de esta forma aportar al cumplimiento del programa de perforación.

1.3.2 Causa Raíz

Para poder buscar las posibles alternativas de solución, es necesario detectar la causa raíz del problema. Es decir, registrar los eventos en la flota que hacen aumento del mantenimiento correctivo en los equipos electrohidráulicos de perforación, para esto hay que dar a conocer los equipos que componen la flota y las fallas más recurrentes y con mayor tiempo de detención, de esta forma buscar la alternativa de solución que permita disminuir el índice de frecuencia y dar una mejor respuesta ante una posible ocurrencia.

Los equipos de perforación electrohidráulica de Minera Las Cenizas faena Cabildo se agrupan en tres flotas, estas son la flota de equipos de perforación de avance de galería, la de equipos de perforación de producción y la flota de equipos de perforación de fortificación. La Tabla 1-1 detalla los equipos que posee la faena por flota.

Tabla 1-1. Equipos de Perforación Faena Cabildo

Equipo de Perforación de Avance					
Nro. Interno	Marca	Equipo	Modelo	Nro. Equipo	Año
1104002	Atlas Copco	Boomer	H-281	1	1994
1104009	Atlas Copco	Rocket Boomer	282	5	2010
1104014	Atlas Copco	Boomer	S1D	6	2011
Equipo de Perforación de Producción					
Nro. Interno	Marca	Equipo	Modelo	Nro. Equipo	Año
1104008	Atlas Copco	Simba	H-1254	2	2003
1104013	Atlas Copco	Simba	H-1254	3	2011
1104015	Atlas Copco	Simba	H-1254	4	2012
Equipo de Perforación de Fortificación					
Nro. Interno	Marca	Equipo	Modelo	Nro. Equipo	Año
1104002	Atlas Copco	Boomer	H-281	2	1996
2104008	Atlas Copco	Boltec	235H	8	2012
1104015	Atlas Copco	Boomer	H-281	4	2000

Fuente: Sistema de mantenimiento Minera Las Cenizas.

Las Figuras 1-2, 1-3, 1-4, 1-5 y 1-6 muestran los equipos de la faena Cabildo.



Fuente: Manual digital Atlas Copco de operación equipo Boomer H-281.

Figura 1-2. Equipo Boomer H-281



Fuente: Manual digital Atlas Copco de mantenimiento equipo Rocket Boomer 282.

Figura 1-3. Equipo Rocket Boomer 282



Fuente: Manual digital Atlas Copco de operación equipo Boomer S1-D

Figura 1-4. Equipo Boomer S1-D



Fuente: Manual digital Atlas Copco de partes equipo Boltec 235H

Figura 1-5. Equipo Boltec 235H



Fuente: Manual digital Atlas Copco de operación equipo Simba H-1254

Figura 1-6. Equipo Simba H-1254.

Durante el año 2016, se han registrado un total de 548 eventos de carácter correctivo divididos en las tres flotas, los cuales han sido agrupados por tipo de falla. Esto nos permitirá lograr identificar el evento con mayor incidencia en cada flota y así encontrar las posibles alternativas de solución. En la Tabla 1-2 se muestran los eventos correctivos en estos equipos. Posteriormente se realizará un breve análisis de las fallas con mayor incidencia en cuanto a repetitividad y tiempo de detención, esto con la finalidad de poder formular las alternativas de solución que nos servirán para el desarrollo de este proyecto.

Tabla 1-2. Eventos correctivos de los equipos de perforación Faena Cabildo.

Eventos correctivos equipos de perforación faena Cabildo		
Tipo de Falla	Total	Porcentaje
Falla por flexible hidráulico	221	40.3%
Falla perforadora hidráulica	133	24.3%
Falla neumáticos	53	9.7%
Falla sistema hidráulico (cilindro, bombas, válvulas)	37	6.8%
Falla por fractura de pernos	23	4.2%
Falla circuito 380 volt	19	3.5%
Falla circuito de alumbrado	14	2.6%
Falla circuito 24 volt	12	2.2%
Falla manejador de pernos (Boltec)	8	1.5%
Falla Casetera RSH-17	7	1.3%
Falla sistema inyección de resina (Boltec)	6	1.1%
Falla bomba de agua	6	1.1%
Falla sistema de posicionamiento	4	0.7%
Falla motor diésel	2	0.4%
Falla compresor de aire	2	0.4%
Falla freno de estacionamiento	1	0.2%
Total Eventos de la Flota	548	100.0%

Fuente: Sistema de mantenimiento Minera Las Cenizas.

La Tabla 1-2, muestra el total de todas las fallas de los equipos de perforación de Minera Las Cenizas de la faena Cabildo, de los 548 eventos que se han generado durante el año 2016 el más del 80% de estos corresponden a fallas de flexibles hidráulicos, fallas de la perforadora hidráulica de estos equipos, falla por daño de neumáticos y fallas del sistema hidráulico. Estos cuatro tipos de eventos son los que generan mayor incidencia en el mantenimiento correctivo de la flota. En las Tablas 1-3, 1-4 y 1-5 se muestran los eventos de falla originados en cada uno de los grupos de estos equipos.

Tabla 1-3. Eventos correctivos de flota de equipos de perforación de avance.

Eventos correctivos equipos de perforación de avance		
Tipo de Falla	Total	Porcentaje
Falla por flexible hidráulico	66	37.93%
Falla perforadora hidráulica	38	21.84%
Falla neumáticos	33	18.97%
Falla sistema hidráulico (cilindro, bombas, válvulas)	11	6.32%
Falla circuito de alumbrado	7	4.02%

Falla circuito 24 volt	6	3.45%
Falla circuito 380 volt	5	2.87%
Falla por fractura de pernos	4	2.30%
Falla bomba de agua	2	1.15%
Falla motor diésel	1	0.57%
Falla compresor de aire	1	0.57%
Total Eventos de la Flota	174	100.00%

Fuente: Sistema de mantenimiento Minera Las Cenizas.

Tabla 1-4. Eventos correctivos de flota de equipos de perforación de producción.

Eventos correctivos equipos de perforación de producción		
Tipo de Falla	Total	Porcentaje
Falla por flexible hidráulico	109	46.58%
Falla perforadora hidráulica	56	23.93%
Falla sistema hidráulico (cilindro, bombas, válvulas)	18	7.69%
Falla por fractura de pernos	12	5.13%
Falla circuito 380 volt	11	4.70%
Falla Casetera RSH-17	7	2.99%
Falla circuito 24 volt	5	2.14%
Falla circuito de alumbrado	4	1.71%
Falla sistema de posicionamiento	4	1.71%
Falla neumáticos	3	1.28%
Falla bomba de agua	3	1.28%
Falla freno de estacionamiento	1	0.43%
Falla Compresor de aire	1	0.43%
Total Eventos de la Flota	234	100.00%

Fuente: Sistema de mantenimiento Minera Las Cenizas.

Tabla 1-5. Eventos correctivos de flota de equipos de perforación de fortificación.

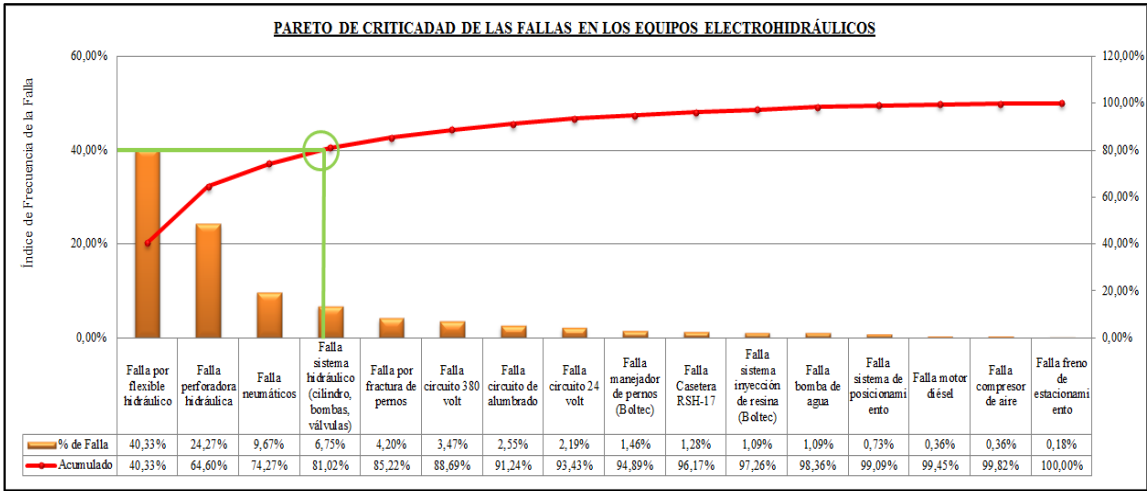
Eventos correctivos equipos de perforación de fortificación		
Tipo de Falla	Total	Porcentaje
Falla por flexible hidráulico	46	32.86%
Falla perforadora hidráulica	39	27.86%
Falla neumáticos	17	12.14%
Falla sistema hidráulico (cilindro, bombas, válvulas)	8	5.71%
Falla manejador de pernos (Boltec)	8	5.71%
Falla por fractura de pernos	7	5.00%
Falla sistema inyección de resina (Boltec)	6	4.29%
Falla circuito de alumbrado	3	2.14%
Falla circuito 380 volt	3	2.14%
Falla circuito 24 volt	1	0.71%

Falla motor diésel	1	0.71%
Falla bomba de agua	1	0.71%
Total Eventos de la Flota	140	100.00%

Fuente: Sistema de mantenimiento Minera Las Cenizas.

A continuación se presenta, en el Gráfico 1-1, un Pareto en donde se evidencia que el 80% de los eventos correctivos se manifiesta en las fallas descritas con anterioridad.

Gráfico 1-1. Pareto de las fallas más críticas de la flota de equipos de perforación.



Fuente: Sistema de mantenimiento Minera Las Cenizas.

Al identificar los eventos correctivos por flota, se evidencia que por lo menos tres de los cuatro eventos de mayor ocurrencia se repiten en cada una estas con los porcentajes más altos del total de eventos. De estos eventos, sin lugar a duda, el que genera un mayor tiempo de detención es la falla de la perforadora hidráulica, ya que para realizar el cambio de este componente es necesario trasladar el equipo hasta el taller de mantenimiento para realizar la tarea. La o las causas raíces de que estas fallas tengan un impacto considerable en los indicadores de mantenimiento de los equipos de perforación, son las que se mencionan a continuación.

- ✓ La flota de perforadoras hidráulicas presentan una utilización mayor a la vida útil estipulada para estas. Esto conlleva un exceso de reparaciones en su historial, y por ende una menor confiabilidad del componente.

- ✓ El roce es el principal causante de la rotura de flexibles, esto se genera por la vibración al descargarse los acumuladores de la perforadora hidráulica y además por un mal armado de los tramos de flexibles.
- ✓ El estado de los caminos al interior de la mina y la despreocupación operacional al trasladar los equipos, generan principalmente la falla por daños en neumáticos, tan solo un evento de estos se originó por una falla de fabricación del neumático.
- ✓ La causa principal de la falla en el sistema hidráulico de estos equipos se origina por una contaminación del lubricante con sílice y goma. El primero y principal se genera por la manipulación de los lubricantes al realizar el trasvase de estos desde los depósitos al equipo, debido a una desviación en el instructivo de trabajo para realizar esta tarea. La contaminación por goma se debe a una consecuencia del anterior y además, por una reparación deficiente por parte del proveedor que se encarga de estos componentes, ya que se evidencia el uso de sellos de una calidad inferior al utilizado de fábrica.

1.4. REQUERIMIENTOS

Los requerimientos que se utilizarán en este proyecto, los cuales han sido definidos en conjunto con el departamento de Mantenimiento Mina, son los siguientes:

- ✓ Requerimiento 1: Todas las alternativas serán evaluadas a 5 años.
- ✓ Requerimiento 2: Tiempo de recuperación de la inversión debe ser menor o igual al tiempo de evaluación del proyecto.
- ✓ Requerimiento 3: El costo de inversión del proyecto debe ser menor al costo por mantenimiento correctivo actual.
- ✓ Requerimiento 4: Que no afecte a la Seguridad, Medio Ambiente o Comunidad.
- ✓ Requerimiento 5: Que no afecte de forma negativa los indicadores de Disponibilidad y Confiabilidad.
- ✓ Requerimiento 6: Debe disminuir los costos de mantenimiento de la flota.

1.5. ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

Para dar solución a la problemática del aumento de eventos correctivos de los equipos de perforación, se presentan las siguientes alternativas de solución.

- Alternativa 1: Renovación de flota de equipos. Dado los años de fabricación de los equipos que posee Minera Las Cenizas, se propone renovar los equipos con una antigüedad mayor o igual a cinco años. Es decir, la renovación de por lo menos siete de los nueve equipos de perforación operativos actualmente mediante Leasing Bancario.
- Alternativa 2: Eliminar la fabricación de flexibles en faena. Realizar compra de flexibles elaborados por el fabricante, para asegurar la calidad del producto y evitar la fabricación de flexibles hidráulicos en faena.
- Alternativa 3: Realizar la renovación de la flota de perforadoras hidráulicas mediante Leasing Operativo o Leasing Bancario. Además, realizar la renovación nuevamente de la flota al final de la evaluación del proyecto.
- Alternativa 4: Mejorar el plan de mantenimiento de estos equipos, dando énfasis en los puntos críticos del equipo. Además, realizar mantenimiento preventivo según la utilización y no periódicamente como se realiza actualmente.

Las alternativas descritas serán comparadas en la Tabla 1-6, con el fin de evaluar costos, seguridad, beneficios y factibilidad, los criterios que se utilizaran para la evaluación son los siguientes:

- ✓ 0 = Malo
- ✓ 1 = Regular
- ✓ 2 = Bueno
- ✓ 3 = Muy Bueno

Tabla 1-6. Evaluación de las alternativas de solución.

Solución	Costo	Seguridad	Beneficios	Factibilidad	Resultado
Alternativa 1	0	3	3	0	6
Alternativa 2	1	2	3	2	8
Alternativa 3	1	3	3	1	8
Alternativa 4	3	1	1	3	8

Fuente: Elaboración propia basada en el análisis de las alternativas de solución propuestas.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se evaluarán todas las alternativas de solución.

1.6. EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

La evaluación de las alternativas de solución será de acuerdo a los requerimientos antes mencionados en el punto 1.4. en donde se explican los requerimientos del proyecto.

1.6.1. Costos

Alternativa 1: No genera ninguna disminución de costos tampoco no asegura una disminución de los costos de mantenimiento, ya que, además de la inversión hay que sumar el costo de puesta en marcha.

Alternativa 2: Si bien aumenta el costo unitario de cada flexible hidráulico, la durabilidad es mayor. Por pruebas realizadas con anterioridad, la durabilidad versus el costo de un flexible original contra uno alternativo es similar.

Alternativa 3: El costo de renovación y mantenimiento de la flota de perforadoras hidráulicas es similar al costo de mantenimiento actual de las perforadoras hidráulicas. Si bien las fallas de la flota actual de perforadoras hidráulicas son altas, el costo de mantenimiento es bajo debido al amplio parque que dispone la empresa y además que el proveedor del servicio de mantenimiento ofrece un costo bajo con respecto al fabricante.

Alternativa 4: Mejorar los planes de mantenimiento no tienen costo de inversión para la empresa, por lo que se puede realizar esta mejora solamente incurriendo en el costo de mano de obra.

1.6.2. Seguridad

Alternativa 1: Desde el punto de la seguridad, la renovación de la flota de equipos genera un alto grado de beneficio, ya que un equipo nuevo tiene menos probabilidad de producir un accidente. Además, las nuevas tecnologías van de la mano de la seguridad, tanto del operador como la del mantenedor.

Alternativa 2: Realizar la fabricación de un flexible hidráulico con los materiales y calidad adecuada, disminuye el riesgo de rotura y por lo tanto de contacto de aceite hidráulico proyecto a alta presión con el operador o cualquier persona que intervenga o esté al alcance de un posible accidente.

Alternativa 3: Se evalúa del mismo modo que la Alternativa 1, ya que como se mencionó anteriormente, un equipo nuevo genera un mayor grado de seguridad que un equipo con mayor utilización.

Alternativa 4: No hay mejora desde el punto de vista de la seguridad.

1.6.3. Beneficios

Alternativa 1: En materia de calidad, competitividad y excelencia, la renovación de la flota genera un alto grado de beneficio. El mantenimiento de un equipo nuevo utiliza una cantidad menor de HH y por lo que genera mayor holgura para priorizar a otros equipos de la faena.

Alternativa 2: Al realizar la compra del flexible fabricado se lograría estandarizar todos los equipos de un mismo modelo a una sola medida, en este caso de existir alguna falla de tipo correctivo o preventivo se disminuye el tiempo de asistencia al equipo, debido a que actualmente cuando ocurre un evento en los equipos, en primer lugar, hay que identificar el flexible y el largo de este. Además, no se utilizarían HH de mantenedores en fabricación de flexibles.

Alternativa 3: Como se mencionó anteriormente se aumenta el grado de beneficio desde el punto de vista de la calidad, competitividad y excelencia, Se pueden lograr acuerdos para el mantenimiento preventivo que se realiza en faena y el mantenimiento que se realiza con terceros.

Alternativa 4: No se puede evaluar el beneficio inmediato de esta alternativa, ya que depende de las capacidades técnicas de los mantenedores, además de la disponibilidad de HH que se dispongan al momento de tener que realizar el mantenimiento.

1.6.4. Factibilidad

Alternativa 1: La factibilidad de realizar esta solución no sería posible, dado el escenario actual que atraviesa la minería en Chile. El costo de inversión es demasiado alto, cerca de 4.2 millones de dólares.

Alternativa 2: Existe la factibilidad de realizar esta solución, la inversión no es alta y el beneficio desde el punto de vista de seguridad es atractivo para la empresa. Por lo que es factible realizar esta solución.

Alternativa 3: Realizar esta solución es factible desde el punto de vista de la seguridad, además el costo de inversión de una perforadora hidráulica es menor que el costo de renovación del equipo completo, sin embargo, se debe estudiar la forma de adquisición de las perforadoras, el parque que destinará a renovar y el tipo de perforadora que se desea adquirir. Ya que de tener que realizar alguna modificación extra en el equipo, la factibilidad de realizar esta solución sería menor.

Alternativa 4: Existe una factibilidad óptima para realizar esta solución, ya que se disponen de todos los recursos para llevarla a cabo (Mano de obra, manuales de mantenimiento, apoyo técnico).

1.7. OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.7.1. Objetivo general

Estudiar la factibilidad técnico económica de la reducción de la cantidad de eventos y tiempos de detención por mantenimiento correctivo en la flota de equipos electrohidráulicos de perforación de avance de galería y de producción de la faena Cabildo de Minera Las Cenizas.

1.7.2. Objetivos específicos

- ✓ Proponer alternativas técnicas que disminuyan los costos de mantenimiento de los equipos de perforación.
- ✓ Evaluar técnicamente la implementación de las alternativas propuestas y su impacto en el cumplimiento del programa preventivo planificado para los equipos de la faena.

- ✓ Evaluar económicamente las alternativas técnicamente factibles seleccionando aquella de mayor valor económico para la empresa.

1.8. VALOR AGREGADO DEL PROYECTO DE TITULACIÓN

Para la comuna de Cabildo, Minera Las Cenizas es una fuente de trabajo estable, por lo que lo es relevante que mantenga sus operaciones funcionando en el tiempo. La sequía que ha afectado a la provincia de Petorca y el cierre de otras faenas mineras han aumentado los indicadores de desempleo de la región. Este trabajo de titulación busca aportar a la sustentabilidad en el tiempo de la faena Cabildo.

Es factible llevar a cabo más de alguna de las alternativas de solución y todas tienen un grado de mejora en lo que se refiere a la seguridad, tanto de los mantenedores y de los operadores que interactúen con el equipo. En caso de producirse algún accidente la parte humana siempre es la más afectada. Sin embargo, no tener accidentes también disminuye los costos de una empresa, sobre todo por concepto de indemnizaciones a los afectados, multas e investigaciones.

CAPÍTULO 2: SOLUCIONES DE INGENIERÍA.

2. SOLUCIONES DE INGENIERÍA

En este capítulo se define el alcance del proyecto, de la situación base y con la implementación del proyecto, además de explicar cuál será la solución de ingeniería que se llevará a cabo junto con el análisis de riesgos de llevarla a cabo, todo esto con el fin de realizar de forma correcta la planificación del tema.

2.1. ALCANCE DEL PROYECTO

El alcance de este proyecto define los requerimientos necesarios para llevar a cabo la solución propuesta, con el fin que sea factible la implementación del plan de mejora que logre disminuir los eventos correctivos en la flota de equipos electrohidráulicos de la Faena Cabildo de Minera Las Cenizas. Este proyecto abarca el estudio de la prefactibilidad técnica económica de la reducción de la cantidad de eventos y tiempos de detención por mantenimiento correctivo de los equipos mencionados con anterioridad, las áreas que se verán involucradas con este estudio serán principalmente la de Mantenimiento Mina y Operaciones Mina.

Es necesario contar con los indicadores de disponibilidad y confiabilidad de estos equipos durante el año 2015-2016. Cabe señalar que durante este período se realizaron pruebas de funcionamiento de perforadoras hidráulicas y de durabilidad de flexibles hidráulicos, con diversos proveedores.

Este proyecto no involucra los eventos correctivos producidos por factor operacional, ya que en paralelo a este estudio el departamento de Operaciones Mina, se encuentra un plan de capacitación de todos los operadores de la flota de equipos de perforación para la disminución del costo correctivo por daño.

Si el estudio de este proyecto demuestra que es factible implementar la solución propuesta y es aceptada por el directorio de Minera Las Cenizas, es fundamental el compromiso en primer lugar de los Departamentos de Mantenimiento Mina y Operaciones Mina para la formación del grupo de trabajo del proyecto. Deberán estar dentro del grupo de trabajo mantenedores, supervisores de mantenimiento, jefes de turno, operadores de equipos electrohidráulicos, planificador de mantenimiento y Jefes de área de ambos departamentos, con el fin de llevar a cabo reuniones de control, para la recopilación y procesamiento de los datos necesarios para medir el avance del proyecto. Todos los avances deberán ser registrados y controlados según la carta Gantt diseñada para este proyecto.

2.2. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA.

En el capítulo anterior se mencionaron cuatro posibles alternativas de solución. Al evaluar cada alternativa, según los criterios impuestos, solamente una de estas obtuvo un resultado menor a lo esperado, siendo descartada para un estudio de prefactibilidad. Por lo tanto, las alternativas de solución que cumplen con los criterios de evaluación para un posterior estudio de prefactibilidad son:

1. Renovación de la flota de perforadoras hidráulicas.
2. Eliminar la fabricación de flexibles hidráulicos en faena.
3. Mejora de los planes de mantenimiento de los equipos de perforación.

Minera Las Cenizas, acordó con la empresa Atlas Copco la instalación de un contenedor para la fabricación de flexibles hidráulicos en el sector de Mina Sauce, con el fin de disminuir las fallas por roturas de flexibles, por lo que la alternativa de solución de eliminar la fabricación de flexibles hidráulicos quedará fuera de este estudio. La confección de estos quedará sujeta al número de parte relacionado al flexible y el material para la fabricación de estos será el que es utilizado por el fabricante.

Debido a lo mencionado anteriormente, se realizará el estudio de prefactibilidad en este proyecto a la alternativa de renovación de la flota de perforadoras hidráulicas (Alternativa N°1) y la de mejora de los planes de mantenimiento (Alternativa N°2).

2.2.1. Descripción de la alternativa N°1

Una perforadora hidráulica es uno de los componentes más importante del equipo de perforación, es la encargada de generar la rotación y percusión que se transmite al barreno del equipo. Actualmente los equipos electrohidráulicos de la faena utilizan perforadoras hidráulicas marca Atlas Copco modelo COP 1838 ME, esta es una perforadora que genera 18 kW de potencia de impacto y el diámetro del culatín que utiliza es de 38 mm. Estos modelos de perforadoras son utilizados en los equipos de perforación de avance y también de producción. El otro tipo de perforadora utilizada es el modelo COP 1638 en los equipos de fortificación. Esta COP genera 16 kW de potencia de impacto, y al igual que el modelo anterior, está diseñada para el uso de un culatín de 38 mm de diámetro.

Estas perforadoras presentan en promedio 369,000 metros barrenados, siendo el metraje de renovación determinado por el fabricante de 250,000 metros. Cabe destacar que físicamente no existen diferencias entre estos modelos, ya que solamente varía la

potencia de impacto de cada una de estas. En la Figura 2-1 se muestra como referencia una perforadora COP 1838 ME.



Fuente: Manual digital Atlas Copco de mantenimiento Perforadora COP 1838ME.

Figura 2-1. Perforadora Atlas Copco 1838ME.

El aumento de fallas debido al deterioro de la flota, ha generado que la confiabilidad de los equipos de perforación se vea afectada considerablemente, la causa principal de esta condición es el exceso de reparaciones por desgaste de componentes claves de las perforadoras hidráulicas, otro motivo fundamental es que Atlas Copco ha descontinuado estos modelos y muchas piezas claves que la conforman, como por ejemplo el cuerpo delantero o caja de engranajes, también se han dejado de fabricar en serie y solamente se pueden solicitar a pedido, lo que aumenta en demasía el costo del componente. Dado esta situación, Minera Las Cenizas ha optado por cambiar el proveedor del servicio de reparación, por uno alternativo que realiza los mantenimientos preventivos mayores y correctivos de la flota de perforadoras hidráulicas, si bien el costo de reparación es menor, también lo es la calidad de los repuestos utilizados en estas intervenciones.

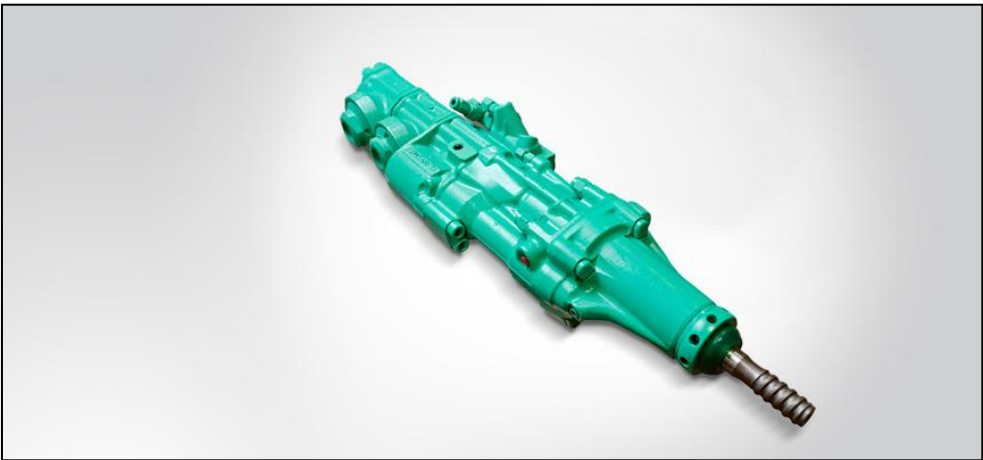
Existen dos opciones de renovación estudiadas mediante pruebas en los equipos de perforación de la faena.

- ✓ Opción N°1: renovación de flota por perforadoras marca Montabert, con sus modelos HC-50 y HC-109, tal como se muestra en la Tabla 2-1 y en las Figuras 2-2 y 2-3.

Tabla 2-1. Opción de renovación N°1

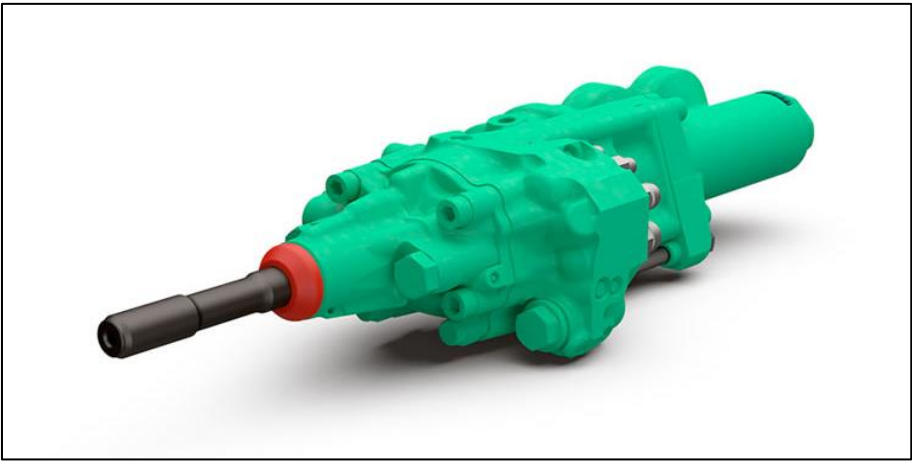
Equipo	Modelo Equipo	Perforadora actual	Propuesta Renovación
Perforación Avance	Boomer H-281 R. Boomer 282 Boomer S1D	COP 1838 ME, Atlas Copco	HC109, marca Montabert
Perforación Producción	Simba H-1254	COP 1838 ME, marca Atlas Copco	HC109, marca Montabert
Perforación Fortificación	Boomer H-281 Boltec 235	COP 1638, marca Atlas Copco	HC50, marca Montabert

Fuente: Departamento de Mantenimiento Mina Mra. Las Cenizas.



Fuente: Ficha de presentación digital Perforadora Montabert HC109.

Figura 2-2. Perforadora Montabert HC109.



Fuente: Ficha de presentación digital Perforadora Montabert HC50.

Figura 2-3. Perforadora Montabert HC50

- ✓ Opción N°2: renovación por perforadoras marca Atlas Copco, modelo COP 1838 HD+ y COP 1435, tal como se refleja en la Tabla 2-2 y en las Figuras 2-4 y 2-5.

Tabla 2-2. Opción de renovación N°2

Equipo	Modelo Equipo	Perforadora actual	Propuesta Renovación
Perforación Avance	Boomer H-281 R. Boomer 282 Boomer S1D	COP 1838 ME, Atlas Copco	COP 1838 HD+, Atlas Copco
Perforación Producción	Simba H-1254	COP 1838 ME, marca Atlas Copco	COP 1838 HD+, Atlas Copco
Perforación Fortificación	Boomer H-281 Boltec 235	COP 1638, marca Atlas Copco	COP 1435, Atlas Copco

Fuente: Departamento de Mantenimiento Mina Mra. Las Cenizas.



Fuente: Manual digital Atlas Copco de mantenimiento Perforadora COP 1838HD+

Figura 2-4. Perforadora hidráulica Atlas Copco COP 1838 HD+



Fuente: Manual digital Atlas Copco de mantenimiento COP 1435.

Figura 2-5. Perforadora hidráulica Atlas Copco COP 1435

En la Tabla 2-3, se presenta la comparativa entre estas dos opciones, con el fin de demostrar cuál de las dos genera mayor beneficio para los intereses de Minera Las Cenizas

Tabla 2-3. Comparativa entre opciones de renovación

Modelo	HC109	COP 1838HD+	HC50	COP 1435
Peso	142 kg	151 kg	72 kg	60 kg
Largo	1095 mm	1001 mm	895 mm	640 mm
Ancho	48 - 102 mm	46 - 58 mm	44 - 68 mm	46 - 52 mm
Tipo de Culatín	Macho R38	Macho R38	Macho R32	Macho R32
	Macho T38	Macho T38	Macho R35	Macho R35
	Macho T45	Macho T45	Macho T35	Macho T35
Presión Máx. Impacto	135 - 140 BAR	190 - 210 BAR	135 - 140 BAR	190 - 210 BAR
Frecuencia de Impacto	47 Hz	60 Hz	60 Hz	80 Hz
Energía por Golpe	400 (J) a 140 Bar	450 (J) a 190 Bar	350 (J) a 140 Bar	210 (J) a 190 Bar
Carga Acum. Alta	40 Bar	90 - 100 Bar	40 Bar	60 Bar
Carga Acum. Baja	4 Bar	25 - 30 Bar	4 Bar	25 - 30 Bar
Tipo de Aceite	ISO VG 32 / ISO VG 46 / ISO VG 68	ISO VG 32 / ISO VG 46 / ISO VG 68	ISO VG 32 / ISO VG 46 / ISO VG 68	ISO VG 32 / ISO VG 46 / ISO VG 68
Lubricación	Aceite Hidráulico	Grasa MLGI2 110 cst a 40 °C (104 °F)	Aceite Hidráulica	Grasa MLGI2 110 cst a 40 °C (104 °F)
T° de trabajo	40 - 60 °C	35 - 60 °C	40 - 60 °C	35 - 60 °C
Ruido al perforar	< 80 Db	> 100 Db	< 80 Db	< 90 Db
Valor unitario	US\$ 78,458.36	US\$ 87,557.55	US\$ 49,687.80	US\$ 57,360.60
Acepta flota actual como parte de pago	No	Sí	No	Sí
Valor compra flota		US\$ 95,200.00		US\$ 31,960.00
Técnico en faena	No	Sí	No	Sí
Tipo de Mantenimiento	Mantenimiento por metraje	Mantenimiento por horas de percusión	Mantenimiento por metraje	Mantenimiento por horas de percusión
Medio de adquisición	Leasing bancario	Leasing operativo o bancario	Leasing bancario	Leasing operativo o bancario

Fuente: Cotizaciones y fichas técnicas de ambas marcas para la adjudicación del proyecto.

Al comparar cada modelo de perforadora con su similar del otro fabricante, se desprende que las perforadoras Montabert son más eficientes, generan mayor energía de impacto con menor presión, además su costo de adquisición es menor. Sin embargo, Atlas Copco ofrece la posibilidad de dar en parte de pago las perforadoras de la flota

actual y también un técnico gratuitamente en faena para realizar el mantenimiento preventivo en faena. Para instalar las perforadoras Atlas Copco en los equipos de perforación, no es necesario realizar ningún tipo de modificación al carro porta perforadora o a la viga de avance, en cambio para la instalación de las perforadoras Montabert hay que realizar serias modificaciones al sistema de avance del equipo, ya que las dimensiones del componente no permiten realizar el montaje de forma normal, este costo de instalación no está considerado en el valor de adquisición de la perforadora. Es por esta razón que la mejor opción de renovación es la N°2.

El parque actual de perforadoras asciende a 16 COP 1838ME y 4 COP 1638. La propuesta de renovación solamente contempla 8 perforadoras para los equipos de perforación de avance y producción, 7 de estas en uso y 1 de reserva, y 4 perforadoras para los equipos de perforación de fortificación, 3 de las cuales se encontraran instaladas en los equipos y 1 perforadora para recambio.

2.2.2. Descripción de la alternativa N°2

El plan de mantenimiento diseñado para los equipos de perforación de la faena Cabildo, se ha basado en los intervalos de mantenimiento en base a un período de tiempo fijo, por ejemplo, mantenimiento diario, semanal y mensual. Debido a que las horas hombre disponible en mantención mina se encuentran acotadas, este tipo de programación no permite dar un cumplimiento de las órdenes de trabajo satisfactoriamente. Durante el año 2016 la dotación de mantención mina disminuyo de 46 personas a tan solo 23, lo que conllevó a una disminución del cumplimiento del programa preventivo en un 22.87%.

Esta alternativa de solución propone realizar el cambio en la programación de los equipos de perforación. Eliminar los mantenimientos semanales y mensuales, a mantenimientos tipo 10 horas de percusión y 40 horas de percusión, tal como lo especifica el fabricante de estos equipos. Con esta mejora se desea optimizar las horas hombre disponible para las intervenciones preventivas. De esta forma se dará prioridad a los equipos que cumplan con una utilización mínima de 10 horas de funcionamiento. Con respecto al pauteo de estas mantenciones preventivas, se revisarán las condiciones de operación de los equipos para dar mayor importancia a los puntos críticos y causales de las fallas más reiterativas en estos. En los anexos de este trabajo de título se encuentran las pautas de mantenimiento que apoyan esta propuesta de mejora y avalan los indicadores de mantenimiento.

2.3. **TECNOLOGÍA A UTILIZAR**

La tecnología que se utilizará para el estudio de prefactibilidad de las alternativas de solución será la siguiente:

- ✓ Software Mantenimiento Oracle Financial: Se requiere el acceso a los datos de los equipos de perforación, almacenados en el software de mantenimiento de Minera Las Cenizas. Con el fin de comparar la situación base sin proyecto, con la situación con implementación del proyecto.
- ✓ Microsoft Office Excel 2007 o superior: Necesario para realizar tablas comparativas, graficas de costos, entre otros.
- ✓ Manuales de mantenimiento: Para el diseño de las mejoras de plan de mantenimiento de los equipos de perforación, es necesario contar con los manuales entregados por el fabricante.
- ✓ Manuales de partes: Para determinar el inventario de repuestos críticos de las perforadoras hidráulicas requeridas para la renovación de la flota.
- ✓ Camioneta acondicionada para minería: con el fin de evaluar la operación de los equipos en funcionamiento.

2.4. **SITUACIÓN ACTUAL VERSUS SOLUCIONES PROPUESTAS**

En Minera Las Cenizas, la disponibilidad y confiabilidad de la flota ha tenido una disminución considerable debido principalmente al aumento de las fallas son mencionadas en el capítulo anterior. Esta situación ha provocado que los costos de mantenimiento de la flota vayan a su vez aumentando y principalmente que estas fallas y tiempos de espera de reparación mayores influyan en el cumplimiento de los programas de perforación.

La comparación entre estas dos situaciones, se realizará comparando los datos obtenidos y propuestos de lo referente a Disponibilidad, Confiabilidad y Costos.

2.4.1. **Disponibilidad**

La disponibilidad mecánica de un equipo o maquinaria, es un indicador representado en porcentaje de un período de tiempo analizado, en el cual el o los equipos están disponibles para producir. Este indicador se ve afectado por la cantidad de

mantenimientos o intervenciones que tenga este durante un período determinado. Los mantenimientos que afectan la disponibilidad de una maquinaria son como se muestran en la Tabla 2-4.

Tabla 2-4. Tipos de Mantenimiento.

Tipos de Mantenimiento		
Correctivo	Preventivo	Modificativo
Se interviene el equipo una vez ocurrida la falla. Se convive con la falla.	Se trata de prevenir la ocurrencia de la falla, trata de predecir el momento de ocurrencia de la falla. Se convive con la falla.	Procura eliminar la falla definitivamente en el mejor de los casos. Trata de aumentar el tiempo medio entre fallas.
Es un mantenimiento reactivo.	Es un mantenimiento activo.	Es un mantenimiento proactivo.

Fuente: Presentación de confiabilidad y disponibilidad del Ing. Claudio Christensen.

La disponibilidad planeada o planificada, es el indicador de tiempo en el cual está programado intervenir un equipo. Al analizar el comportamiento de una maquinaria durante un período de tiempo determinado, siempre se espera que el resultado de este indicador sea igual, en el mejor de los casos, o lo más cercano posible al que fue entregado planificadamente, a esto se le llama cumplimiento. Si el resultado es menor al que se programó, significa que el tiempo que el equipo estuvo detenido fue mayor. En caso contrario, si la disponibilidad mecánica real de una maquinaria es mayor que la disponibilidad planificada, significa que el tiempo que el equipo estuvo detenido fue menor, esto puede suceder porque el mantenimiento se completó en un tiempo menor o porque no se realizó algún mantenimiento planeado. El cálculo de la disponibilidad física real se muestra en la Ecuación 2-1.

Ecuación 2-1. Fórmula para cálculo de la disponibilidad.

$$Disponibilidad = \frac{Hrs\ Per\acute{o}do - \sum Hrs\ de\ Mantenimiento}{Hrs\ Per\acute{o}do} * 100\%$$

Fuente: Presentación de confiabilidad y disponibilidad del Ing. Claudio Christensen.

En la Tabla 2-5, se muestran las disponibilidades planificadas y reales del año 2016, con el fin de dar a conocer la situación base de la flota de los equipos de perforación de avance, fortificación y producción.

Tabla 2-5. Disponibilidades año 2016, equipos de perforación.

Disponibilidades año 2016 (%)												
Flota	Disp.	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Prom
Perf. de Avance	Prog	87,2	88,1	89,1	88,2	87,1	88,3	89,8	88,2	86,9	89,1	88,2
	Real	78,1	84,9	80,2	76,1	75,7	82,9	85,3	71,7	66,9	85,5	78,7
Perf. de Producc.	Prog	89,2	90,1	91,1	88,9	89,2	88,9	87,8	88,3	90,5	88,1	89,2
	Real	79,6	86,5	83,9	66,7	77,6	83,6	53,4	71,8	83,9	80,6	76,8
Perf. de Fortific.	Prog	88,9	89,2	88,2	91,1	90,1	90,5	89,8	88,9	89,2	90,2	89,6
	Real	81,8	88,5	79,4	78,3	84,3	85,1	85,3	82,2	78,2	76,6	81,9

Fuente: Software de mantenimiento de Minera Las Cenizas.

En la Tabla 2-5, se puede apreciar que en promedio la flota de equipos de perforación presenta una baja en su disponibilidad de un 9,87% con respecto a las disponibilidades planificadas. Esto quiere decir que en un mes normal de operación cada equipo se encuentra detenido 65,4 horas más en mantenimiento.

El costo de detención o el costo por perdida de operación de los equipos de perforación de avance y de fortificación es de 84,89.- USD por hora Para los equipos de perforación de producción este costo asciende a 92,56.- USD por cada hora de detención. En la Tabla 2-6 se muestra las horas de detención debido a las fallas de perforadoras hidráulicas y por mantenimiento deficiente, junto con su respectivo costo.

Tabla 2-6. Costo hora por detenciones correctivas.

		Costo por detenciones correctivas año 2016	
Flota	Costo por detención	Total	Promedio Mes
Perf. de Avance	Horas	389.8	74.1
	Costo (USD)	33,092.43	6,294.04
Perf. de Producc.	Horas	515.4	99.0
	Costo (USD)	47,701.43	9,167.08
Perf. de Fortific.	Horas	315.6	60.1
	Costo (USD)	26,793.12	5,105.48

Fuente: Software de mantenimiento de Minera Las Cenizas.

El costo acumulado durante el año 2016 para los equipos de perforación de la faena Cabildo asciende a 107.586,97.- USD. Se estima que al terminar el año 2016 este costo alcance un total de 120.175,05.- USD. Al implementar este proyecto de mejora se espera que este costo disminuya en un 82,00%, disminuyendo este gasto por detenciones correctivas a 21.631,51.- USD. Por lo que la empresa ahorraría anualmente un total de 98.543,84.- USD, este valor será considerado como un ingreso al momento de realizar el flujo de caja del proyecto.

2.4.2. Confiabilidad

Se entiende por confiabilidad de un equipo o maquinaria, como es la probabilidad que dicha entidad pueda operar durante un determinado período de tiempo sin pérdida de su función. El fin último del Análisis de confiabilidad de los activos físicos es cambiar las actividades reactivas y correctivas, no programadas y altamente costosas, por acciones preventivas planeadas que dependan de análisis objetivos, situación actual e historial de equipos permitan un adecuado control de costos.

Para los equipos móviles los indicadores que permiten calcular la confiabilidad es en primer lugar el Tiempo Medio Entre Fallas (TMEF), como su nombre lo dice, corresponde al tiempo en que un equipo se encuentra operativo entre una falla y otra. Y en segundo lugar está el Tiempo Medio Para Reparación (TMPR), corresponde al promedio del tiempo que se ha utilizado en la reparación de un equipo. La fórmula para el cálculo del TMEF y el TMPR se muestran en la Ecuación 2-2 y 2-3.

Ecuación 2-2. Fórmula para el cálculo del tiempo medio entre fallas.

$$TMEF = \frac{\sum Hrs\ de\ Operación}{\sum eventos\ correctivos}$$

Fuente: Presentación de confiabilidad y disponibilidad del Ing. Claudio Christensen.

Ecuación 2-3. Fórmula para el cálculo del tiempo medio para reparaciones.

$$TMPR = \frac{\sum Hrs\ de\ Reparación}{\sum eventos\ correctivos}$$

Fuente: Presentación de confiabilidad y disponibilidad del Ing. Claudio Christensen.

Para el cálculo de la confiabilidad de equipos móviles es necesario contar con estos dos indicadores, ya que estos nos indican cuanto tiempo permanece operativo un equipo y cuánto tarda su reparación. Estos indicadores nos permiten determinar la probabilidad que se produzca una falla con respecto a las horas de funcionamiento de una maquinaria. Por ejemplo, si un equipo opera solamente 1 hora en el período de evaluación y no se produce ningún fallo durante este tiempo, la confiabilidad del equipo será de un 100%. El cálculo de la confiabilidad se representa en la Ecuación 2-4.

Ecuación 2-4. Fórmula para el cálculo de la confiabilidad de un equipo móvil.

$$Confiabilidad = \frac{TMEF}{TMEF + TMPR} * 100\%$$

Fuente: Presentación de confiabilidad y disponibilidad del Ing. Claudio Christensen.

En Minera Las Cenizas, el departamento de operaciones mina, junto con los departamentos de ingeniería y mantención mina, acordaron para dar cumplimiento de los programas de perforación, que los equipos tanto de avance, producción y fortificación deben permanecer disponibles para su utilización en un turno de 12 horas un 75% de

este período, o sea 9 horas continuas de operación, la situación actual tal como se muestra en la Tabla 2-7 difiere de lo solicitado para dar cumplimiento a los planes de producción y desarrollo, ya el promedio de la confiabilidad durante este año, ya que, para un turno de 12 horas solamente asegura 6,5 horas de operación continua.

Tabla 2-7. Confiabilidad de las flotas de equipos de perforación durante el año 2016.

Confiabilidad año 2016 (%)												
Flota	Disp.	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Prom
Perf. de Avance	Prog	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0
	Real	70,6	49,6	56,4	35,3	65,3	70,5	41,3	58,1	63,4	47,3	55,8
Perf. de Producc.	Prog	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0
	Real	56,3	71,5	64,8	46,3	35,3	77,6	52,3	66,9	70,8	67,1	60,9
Perf. de Fortific.	Prog	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0
	Real	67,4	31,7	41,7	29,8	56,4	62,6	49,4	34,5	22,7	60,0	45,6

Fuente: Software de mantenimiento de Minera Las Cenizas.

La confiabilidad de la flota de perforadoras hidráulicas durante el 2016 es de un 68,98%. Valor bajo a lo solicitado para dar cumplimiento a los programas de perforación

2.4.3. Costos

El costo promedio mensual de la flota de perforadoras hidráulicas por concepto de mantenimiento es de US\$ 26.266,42 de los cuales US\$ 16.671 corresponden a mantenimiento correctivo. La Tabla 2-8 muestra el detalle de los gastos del año 2016.

Tabla 2-8. Detalle costo mantenimiento perforadoras hidráulicas

		SITUACIÓN ACTUAL	
		Evaluación de Gastos	
Ítem de Gasto	[Moneda]	Gasto Año 2016	Promedio Mes Año 2016
Costo reparaciones (MCR) Stgo.	US\$	150.000,00	12.500,00
Costo reparaciones (MPV) Stgo.	US\$	111.101,03	9.258,42
Costo reparaciones Totales Faena	US\$	20.161,00	1.680,08
Costo HH (MCR) Faena	US\$	20.169,01	1.680,75
Costo HH (MPV) Faena	US\$	13.766,00	1.147,17
Gastos Totales	US\$	315.197,04	26.266,42

Fuente: Software de mantenimiento Mra. Las Cenizas

2.4.4. Situación base y situación con proyecto

A continuación, se comparan la situación actual sin proyecto y la situación con la implementación del proyecto de renovación de la flota de perforadoras y mejora de los planes de mantenimiento.

2.4.4.1 Evaluación de disponibilidad

En la Tabla 2-9 se compara la disponibilidad planificada sin proyecto y con la implementación de la mejora de los planes de mantenimiento de los equipos de perforación, para los próximos 5 años.

Tabla 2-9. Comparación de la disponibilidad planificada

Disponibilidad	2017	2018	2019	2020	2021
Con proyecto de mejora	92,83%	92,21%	92,67%	90,81%	90,81%
Sin proyecto de mejora	88,92%	85,20%	78,19%	88,92%	89,90%
Costo por detención con proyecto (USD)	22.890,86	24.870,26	23.401,67	29.339,88	29.339,88
Costo por detención sin proyecto (USD)	35.373,88	47.250,30	69.630,34	35.373,88	32.245,14
Variación (USD)	12.483,02	22.380,04	46.228,67	6.033,99	2.905,26

Fuente departamento de mantenimiento mina de Mra. Las Cenizas.

La variación del costo por detención de los equipos de perforación que se muestra en la Tabla 2-9, será representada posteriormente en el flujo de caja del proyecto como un ingreso, cabe destacar que este valor corresponde al costo por detenciones planificadas de los equipos, no corresponde a los valores representados en la Tabla 2-6, la cual indica el costo por mantenimiento correctivo de la flota. El costo de detención por cada hora extra que se planifique mantenimiento a un equipo tiene un valor de 46,35.- USD.

2.4.4.2. Evaluación de confiabilidad

En la Tabla 2-10 se compara la confiabilidad de la flota de perforadoras hidráulicas, sin proyecto y con proyecto de renovación de la flota, para los próximos 5 años.

Tabla 2-10. Confiabilidad esperada próximos 5 años

Confiabilidad	2017	2018	2019	2020	2021
Con proyecto de mejora	94,74%	93,74%	92,74%	90,00%	94,74%
Sin proyecto de mejora	68,00%	68,00%	65,00%	72,00%	73,00%

Fuente: Departamento de Mantenimiento Mina de Mra. Las Cenizas.

2.4.4.3. Evaluación de costos

En la Tabla 2-11 se comparan los costos de la flota de perforadoras hidráulicas, sin proyecto y con proyecto de renovación de la flota, para los próximos 5 años.

Tabla 2-11. Costos esperados próximos 5 años

Costos	2017	2018	2019	2020	2021
Con proyecto de mejora	\$ 249.759	\$ 325.181	\$ 314.463	\$ 373.186	\$ 314.734
Sin proyecto de mejora	\$ 401.900	\$ 396.965	\$ 390.527	\$ 371.243	\$ 344.178

Fuente: Departamento de Mantenimiento Mina de Mra. Las Cenizas.

2.5. RIESGOS DEL PROYECTO

En todo proyecto existen riesgos o amenazas que pueden llevar al fracaso de la implementación de este. Es por esta razón que es necesario analizar las causas de estas posibles amenazas o daños, con el fin de no tener imprevistos al momento de realizar la implementación del proyecto. Para definir la criticidad del riesgo se presenta en la Tabla 2-12 la matriz a utilizar en función de la probabilidad de ocurrencia y el impacto que genera cada riesgo que interfiera en la implementación del proyecto, a los valores mostrados en la Tabla 2-12, son los llamados índices de criticidad, estos valores están asignados a un tipo de riesgo, tal como se muestra en la Tabla 2-13.

Tabla 2-12. Matriz de evaluación de la criticidad del riesgo.

Impacto Probabilidad	Leve	Serio	Grave
Baja	1	2	4
Media	2	3	5
Alta	4	5	6

Fuente: Elaboración propia basada en matriz de libreta de seguridad de Mra. Las Cenizas.

Como se mencionó anteriormente, la Tabla 2-13 asigna el tipo de riesgo desde aceptable a inaceptable, según el valor del índice de criticidad.

Tabla 2-13. Tipos de riesgos según el índice de criticidad

Índice de criticidad	Tipo de riesgo			
	Aceptable	Moderado	Crítico	Inaceptable
1	X			
2	X			
3		X		
4		X		
5			X	
6				X

Fuente: Elaboración propia basada en el índice de criticidad de libreta de seguridad de Mra. Las Cenizas.

Teniendo la matriz de evaluación de riesgos definida, se pueden analizar los diferentes tipos de riesgos presentes en la implementación de este proyecto.

2.5.1. Riesgos de organización y gestión

Los riesgos de organización y gestión son descritos y evaluados según la matriz de criticidad de riesgos en la Tabla 2-14.

Tabla 2-14. Riesgos de organización y gestión.

Descripción	Consecuencia	Probabilidad	Impacto	Índice de criticidad	Tipo de riesgo
Cambios en el presupuesto debido a variaciones inesperadas (Ley de Cu, precio de Cu)	Rechazo del proyecto	Alta	Grave	6	Inaceptable
Demora en la aprobación del presupuesto para la inversión	Demora en la implementación del proyecto	Media	Grave	5	Crítico

Fuente: Elaboración propia.

2.5.2. Riesgo del personal contratado

Las amenazas que se pueden evidenciar por el riesgo del personal contratado se muestran en la Tabla 2-15.

Tabla 2-15. Riesgos del personal contratado.

Descripción	Consecuencia	Probabilidad	Impacto	Índice de criticidad	Tipo de riesgo
Personal no calificado para realizar modificación de los planes de mantenimiento	Resultados del proyecto no deseados	Baja	Grave	4	Moderado
Falta de compromiso del personal involucrado	Retraso en la implementación del proyecto	Baja	Grave	4	Moderado

Fuente: Elaboración propia.

2.5.3. Riesgos del producto

Los riesgos que se presentan por causa del producto son descritos y evaluados en la Tabla 2-16.

Tabla 2-16. Riesgos del producto.

Descripción	Consecuencia	Probabilidad	Impacto	Índice de criticidad	Tipo de riesgo
Imprevistos toman mayor tiempo de intervención debido a desconocimiento de nueva tecnología	Resultados del proyecto no deseados	Baja	Seria	2	Aceptable

Fuente: Elaboración propia.

2.5.4. Riesgos de los requerimientos

Los riesgos de los requerimientos se detallan en la Tabla 2-17.

Tabla 2-17. Riesgos de los requerimientos.

Descripción	Consecuencia	Probabilidad	Impacto	Índice de criticidad	Tipo de riesgo
Variación de los programas de perforación (disminución de metros de avance o producción)	Reducción de flota de equipos de perforación, alternativas de solución no aplicables	Media	Grave	5	Crítico

Fuente: Elaboración propia.

2.5.5. Riesgos de implementación

En la Tabla 2-18 se detalla el riesgo de implementación del proyecto.

Tabla 2-18. Riesgos de implementación

Descripción	Consecuencia	Probabilidad	Impacto	Índice de criticidad	Tipo de riesgo
Costo y tiempo de implementación mayor, debido a imprevistos	Mayor tiempo de recuperación del capital de inversión	Media	Leve	2	Aceptable

Fuente: Elaboración propia.

2.5.6. Riesgos del proceso

En la Tabla 2-19 se detalla el riesgo del proceso del proyecto.

Tabla 2-19. Riesgos del proceso.

Descripción	Consecuencia	Probabilidad	Impacto	Índice de criticidad	Tipo de riesgo
Cadena de aprobación del proyecto burocrática	Tiempo de espera mayor para aprobación del proyecto	Alta	Serio	5	Crítico
Logística ineficiente	Tiempo de implementación mayor	Media	Baja	2	Aceptable

Fuente: Elaboración propia.

2.5.7. Análisis descriptivo de los cuatro riesgos principales

Los riesgos principales que afectarían de forma crítica la aprobación, implementación y resultados del proyecto son analizados a continuación, según lo representado en la Tabla 2-20.

Tabla 2-20. Análisis descriptivo de los riesgos principales.

Descripción	Tipo de riesgo	Causa	Consecuencia	Plan de Acción	Estado
Cambios en el presupuesto debido a variaciones inesperadas (Ley de Cu, precio de Cu)	Inaceptable	En el caso que ley de beneficio o precio del cobre este bajo lo estimado en el presupuesto anual.	Rechazo del proyecto	Implementar mejora de los planes de mantenimiento y acotar la renovación de las perforadoras hidráulicas a los equipos más críticos de la faena	Activo - Latente
Demora en la aprobación del presupuesto para la inversión	Crítico	En caso que el presupuesto de inversión sea limitado y se deba decidir la aprobación de proyectos de otras áreas.	Demora en la implementación del proyecto	Implementar mejora de los planes de mantenimiento y evaluar mejor opción de financiamiento de los proyectos	Inactivo

Variación de los programas de perforación (disminución de metros de avance o producción)	Crítico	En el caso que se dé prioridad a la ley beneficiada que al tonelaje enviado a planta	Reducción de flota de equipos de perforación, alternativas de solución no aplicables	Acotar la renovación de las perforadoras hidráulicas a los equipos que quedarán en funcionamiento	Latente
Cadena de aprobación del proyecto burocrática	Crítico	Ausentismo, vacaciones o desconocimiento de los encargados de la aprobación.	Tiempo de espera mayor para aprobación del proyecto. Vigencia de la oferta de la cotización del proveedor	Levantar requerimiento del proyecto a todos los encargados de la aprobación	Inactivo

Fuente: Elaboración propia.

2.6. **PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO**

2.6.1. Entregables del proyecto

El término entregable es utilizado en la gestión de proyectos para describir un objeto, tangible o intangible, como resultado del proyecto, destinado a un cliente, ya sea interno o externo a la organización. Los entregables de este proyecto son los siguientes.

- ✓ Dirigir y gestionar la ejecución del proyecto.
- ✓ Realizar control de las pruebas realizadas
- ✓ Verificar el alcance del proyecto
- ✓ Manuales de mantención y partes de las perforadoras adquiridas
- ✓ Pautas de mantenimiento
- ✓ Contrato de adquisición
- ✓ Documentación de cierre del proyecto

2.6.2. Estructura de descomposición del trabajo

En gestión de proyectos, una estructura de descomposición del trabajo (EDT), es una herramienta fundamental que consiste en la descomposición jerárquica, orientada al entregable, del trabajo a ser ejecutado por el equipo de proyecto, para cumplir con los

objetivos de éste y crear los entregables requeridos, donde cada nivel descendente de la EDT representa una definición con un detalle incrementado del trabajo del proyecto.

El propósito de una EDT es organizar y definir el alcance total aprobado del proyecto según lo declarado en la documentación vigente. Su forma jerárquica permite una fácil identificación de los elementos finales, llamados “Paquetes de Trabajo”. Se trata de un elemento exhaustivo en cuanto al alcance del proyecto, y sirve como base para la planificación del proyecto. Todo trabajo del proyecto debe poder rastrear su origen en una o más entradas de la EDT.

Este proyecto se dividirá en cinco etapas, para el desarrollo de ambas alternativas de solución.

- ✓ Iniciación
- ✓ Planificación
- ✓ Ejecución
- ✓ Seguimiento y control
- ✓ Cierre

En el Diagrama 2-1, se muestra la definición y secuencia de las etapas en las que se divide este proyecto.

Diagrama 2-1. Etapas del proyecto.



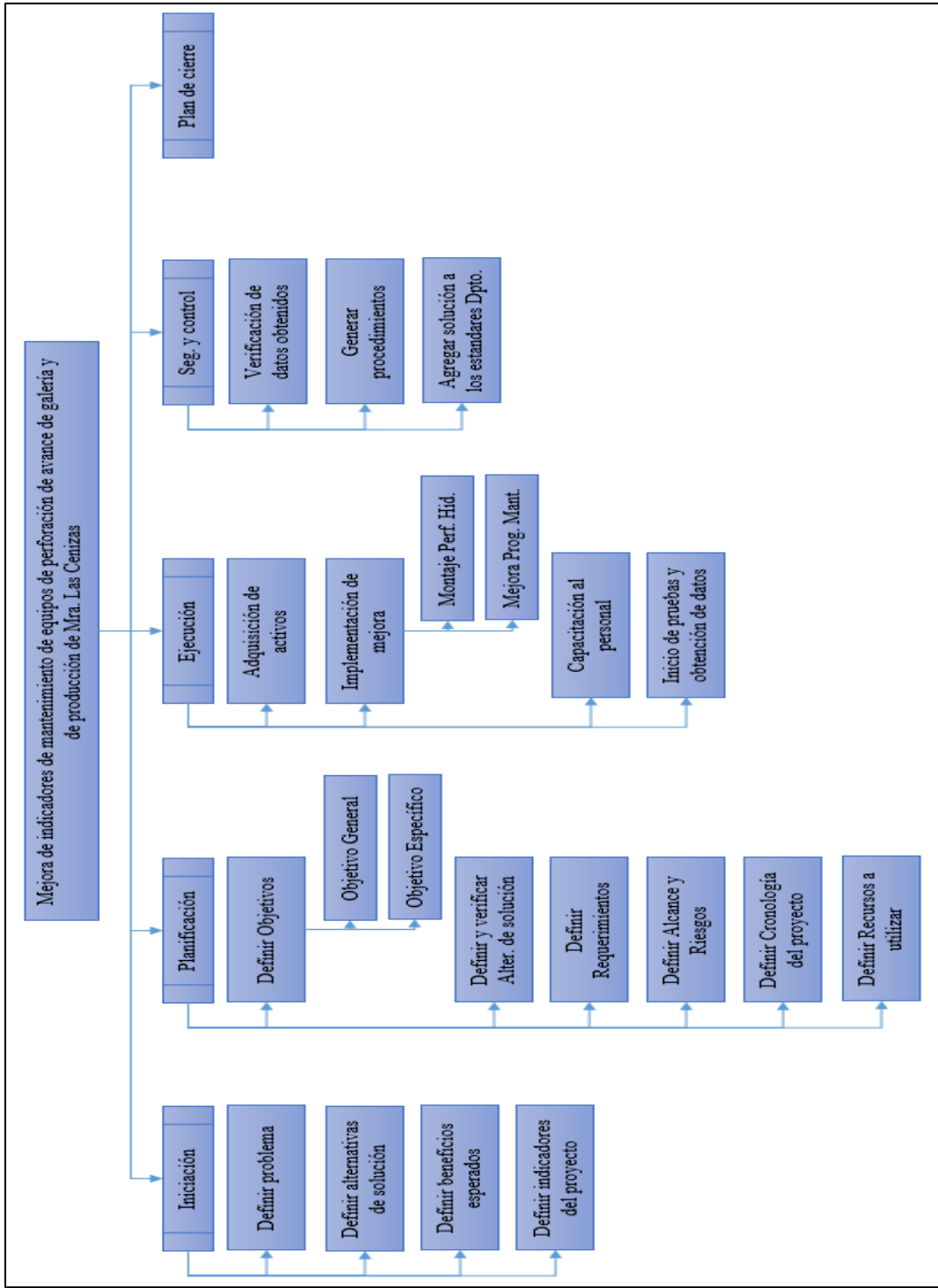
Fuente: Elaboración propia.

Todas las etapas de este proyecto están sujetas a un orden cronológico, siendo indispensable el cumplimiento de una etapa para el comienzo de la etapa siguiente. En todas las etapas se contemplan reuniones para el control de los objetivos a alcanzar en cada una de estas.

El diagrama 2-1 muestra en detalle la estructura de descomposición del trabajo del proyecto de mejora de los indicadores de mantenimiento de los equipos de perforación de avance de galería y de producción de la faena Cabildo de Minera Las Cenizas.

2.6.2.1 Diagrama de la estructura de descomposición del trabajo

Diagrama 2-2. Diagrama EDT del proyecto



Fuente: Elaboración propia.

2.6.3. Cronograma global del proyecto

El cronograma global del proyecto, es una visión cuantificada del tiempo de cada etapa de este. En la Tabla 2-21 se describe el cronograma para este proyecto de mejora.

Tabla 2-21. Cronograma global del proyecto.

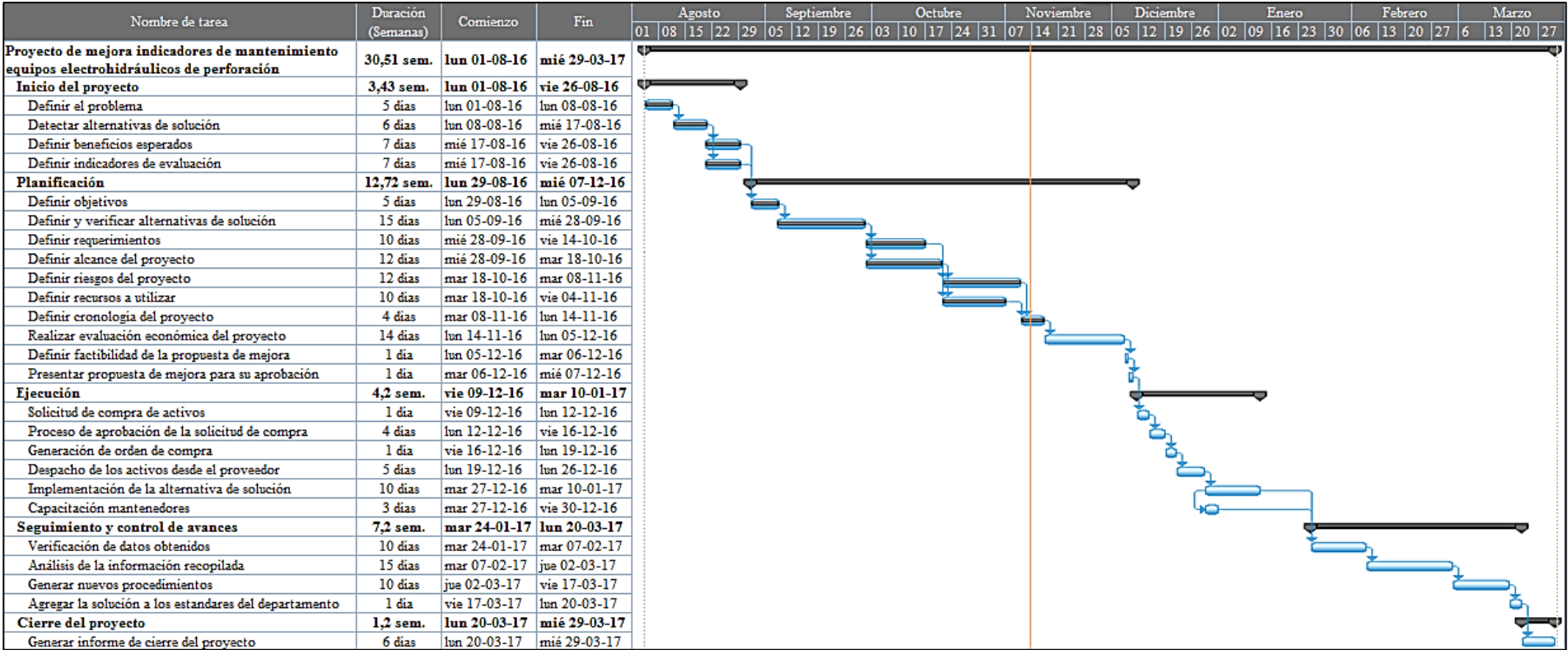
Etapa	Duración en semanas	Duración en días	Duración en horas
Inicio	3,43	25	225
Planificación	12,72	84	756
Ejecución	4,2	24	216
Seguimiento y control	7,2	36	324
Cierre del proyecto	1,2	6	54

Días Semana	5
Horas Día	9
Jornada laboral	Lunes a Viernes

Fuente: Elaboración propia.

En cada semana se debe realizar una reunión de control de avances de proyecto, con el fin de cumplir con los plazos estipulados en el cronograma y en la carta Gantt de este.

2.6.4. Carta Gantt del proyecto



Fuente: Elaboración propia basada en las etapas del proyecto

Figura 2-6. Carta Gantt del proyecto.

2.6.5. Control y avances del proyecto

El control y los avances del proyecto será revisados en reuniones semanales y con un informe mensual sobre el cumplimiento de las etapas del proyecto. Además, cada tarea tendrá un valor asignado según su cumplimiento, con el fin de evaluar el avance del proyecto conforme a la carta Gantt, tal como se muestra en la Tabla 2-22.

Tabla 2-22. Control del avance del proyecto.

Descripción	Valor
Tarea sin ejecutar	0
Tarea en proceso fuera del plazo	1
Tarea en proceso dentro del plazo	2
Tarea ejecutada	3

Fuente: Elaboración propia basado en la carta Gantt y diagrama EDT del proyecto.

CAPÍTULO 3: ESTUDIO ECONÓMICO

3. ESTUDIO ECONÓMICO

3.1. OBJETIVO DEL CAPÍTULO

El objetivo de este capítulo es dar a conocer los costos de este proyecto para determinar la factibilidad económica de la solución de ingeniería propuesta, ya que se analizarán todos los aspectos que pueden influir en la recuperación de la inversión del proyecto, a lo largo del horizonte de esta propuesta de mejora.

3.2. ANTECEDENTES GENERALES Y SUPUESTOS

Para la evaluación económica se utilizará como antecedente del proyecto la información descrita a continuación.

3.2.1. Antecedentes generales

- ✓ Horizonte del proyecto: El proyecto tendrá un horizonte de 5 años.
- ✓ Depreciación del activo: Se utilizará depreciación acelerada del activo.
- ✓ Confiabilidad requerida para cumplimiento del programa de perforación: 75.00%
- ✓ Confiabilidad promedio año 2016 de la flota: 68.98%
- ✓ Moneda a utilizar: Dólar (USD)
- ✓ Valor dólar: \$650.95 pesos chilenos correspondiente al 10 de noviembre de 2016, observado en el Banco Central de Chile.
- ✓ Valor unitario perforadoras COP 1838 HD+: US\$87,557.55
- ✓ Valor unitario perforadoras COP 1435: US\$57,360.60
- ✓ Costo de mantenimiento año 2016 perforadoras hidráulicas: US\$315,197.04 teniendo un promedio mes de US\$26,266.42.
- ✓ Tasa de descuento: 15%
- ✓ Tasa de impuesto: 19%

3.2.2. Antecedentes supuestos

- ✓ Se toma como supuesto que el costo de instalación de las perforadoras hidráulica en los equipos de perforación será nulo.

- ✓ Se estima que la disminución de eventos correctivos por falla de perforadoras hidráulicas y por deficiencias del mantenimiento será de un 82,00%

3.3. ANÁLISIS ESTRATÉGICO

3.3.1. Análisis FODA

El análisis FODA es una metodología de estudio de la situación de una empresa o un proyecto, analizando sus características internas (Debilidades y Fortalezas) y su situación externa (Amenazas y Oportunidades) en una matriz cuadrada.

Este recurso fue creado a principios de la década de los setenta y produjo una revolución en el campo de la estrategia empresarial. El objetivo del análisis FODA es determinar las ventajas competitivas de la empresa bajo análisis y la estrategia genérica a emplear por la misma que más le convenga en función de sus características propias y de las del mercado en que se mueve. El análisis consta de cuatro pasos:

- ✓ Análisis Externo (conocido como "Modelo de las cinco fuerzas de Porter").
- ✓ Análisis Interno.
- ✓ Confección de la matriz FODA.
- ✓ Determinación de la estrategia a emplear.

3.3.1.1. Análisis Externo

Minera Las Cenizas no existe ni puede existir fuera de un entorno, así que el análisis externo permite fijar las oportunidades y amenazas que el contexto puede presentarle a esta organización.

Las oportunidades son aquellos factores, positivos, que se generan en el entorno y que, una vez identificados, pueden ser aprovechados. En cambio, Las amenazas son situaciones negativas, externas al programa o proyecto, que pueden atentar contra éste, por lo que, puede ser necesario diseñar una estrategia adecuada para poder sortearlas.

Dentro de las oportunidades que se pueden identificar con el fin de aprovecharlas y llevar a un resultado exitoso de este proyecto se tienen las siguientes;

- ✓ Mejorar la calidad de la producción utilizando nuevas tecnologías.
- ✓ Mejorar el uso de la mano de obra, al disminuir el mantenimiento correctivo.
- ✓ Mantener la flota de equipos de perforación operativa en el tiempo.

- ✓ Contribuir al cumplimiento de los programas de producción de la faena.
- ✓ Contribuir con que Minera Las Cenizas se mantenga en el tiempo como una fuente de trabajo confiable para las personas de la comuna de Cabildo.

Las amenazas que pueden atentar a la realización y resultado satisfactorio de este proyecto de mejora, son mencionadas a continuación;

- ✓ La volatilidad del precio internacional del cobre.
- ✓ Ubicación de la faena colindante con el pueblo.
- ✓ Que la empresa no desee invertir en un proyecto de este tipo.

3.3.1.2. Análisis Interno

Los elementos internos que se deben analizar durante el análisis FODA corresponden a las fortalezas y debilidades que se tienen respecto a la disponibilidad de recursos de capital, personal, activos, calidad de producto, estructura interna y de mercado, percepción de los consumidores, entre otros.

El análisis interno permite fijar las fortalezas y debilidades de este proyecto, realizando un estudio que permite conocer la cantidad y calidad de los recursos y procesos con que cuenta este.

Las fortalezas que apoyan la realización de este proyecto se mencionan a continuación.

- ✓ Cercanía con la empresa Atlas Copco, permite actuar de forma rápida en caso de alguna eventualidad.
- ✓ La tecnología actual de los equipos de perforación es compatible con la que se desea implementar.
- ✓ Similitud de repuestos de las perforadoras instaladas con las que se implementarán en los equipos.
- ✓ El personal de mantenimiento y operaciones se encuentran capacitados para utilizar esta nueva tecnología.

Las debilidades que pueden afectar la realización, el desarrollo o los resultados de este proyecto de mejora, son las siguientes;

- ✓ Los daños por caída o condición de la roca afectarían directamente el flujo de caja del proyecto.

- ✓ Se debe incorporar un stock de inventario mayor en caso de algún evento correctivo debido a factor operacional.
- ✓ Disminución de la ley de mineral en función de la explotación, ya que en la medida en que se más se explote un yacimiento, más disminuirá la ley de mineral.
- ✓ Flota de equipos de perforación no renovada. En la actualidad hay equipos muy antiguos, los que generan una mayor cantidad de eventos correctivos, afectando directamente los costos e índices de mantenimiento.

En la Tabla 3-1, se muestra el cuadro resumen de este análisis FODA.

Tabla 3-1. Análisis FODA del proyecto de mejora.

Internas	Fortalezas	Debilidades
	1.- Cercanía con la empresa proveedora de las perforadoras. 2.- Tecnología actual y nueva compatibles 3.- Similitud de repuestos entre ambas tecnologías 4.- El personal se encuentra familiarizado con la tecnología a utilizar.	1.- Costo por daño de caída o condición de la roca. 2.- Stock de repuestos adicional por eventos correctivo a causa del factor operacional. 3.- Disminución de la ley de mineral en función de la explotación. 4.- Aumento de costos de mantenimiento por flota antigua
Externas	Oportunidades	Amenazas
	1.- Mejorar la calidad de la producción utilizando nuevas tecnologías. 2.- Mejorar el uso de la mano de obra, al disminuir el mantenimiento correctivo. 3.- Mantener la flota de equipos de perforación confiable y operativa en el tiempo. 4.- Contribuir al cumplimiento de los programas de producción de la faena. 5.- Minera Las Cenizas como una fuente de trabajo confiable para las personas de la comuna de Cabildo.	1.- La volatilidad del precio internacional del cobre. 2.- Ubicación de la faena colindante con el pueblo. 3.- Que la empresa no desee invertir en un proyecto de este tipo.

Fuente: Elaboración propia basado en análisis FODA vistos en Asignatura de Evaluación de Proyectos.

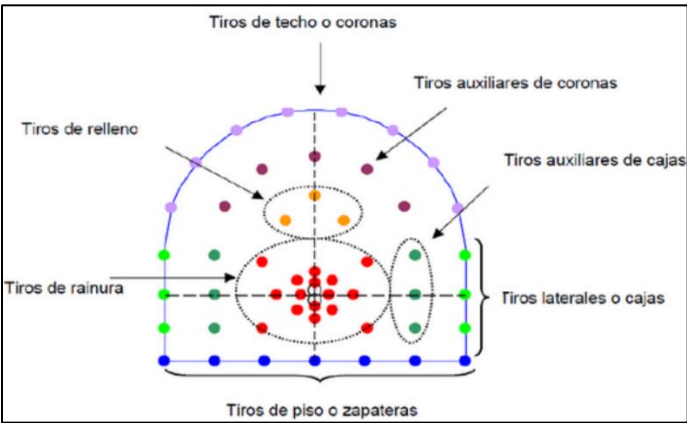
De este análisis se desprende que si bien existen muchos riesgos que pueden afectar a este proyecto, la disminución de costos y el aumento de los indicadores de mantenimiento hacen que siga siendo atractivo para el directorio de Minera Las Cenizas.

Se deben implementar medidas preventivas para que la implementación y el desarrollo del proyecto no se vean afectados por las amenazas y debilidades anteriormente descritas, esto con el fin de obtener los resultados esperados para el plan de mejora.

3.4. ANÁLISIS DE LA DEMANDA

Debido a que entre más se explota un yacimiento, más difícil es poder realizar la extracción de nuevos caserones, esto debido a factores como dilución por sobreexplotación, disminución de los mantos de mineral, disminución de la ley de cobre, entre otros. Esto conlleva que los planes, principalmente para los equipos de perforación, sean más exigentes.

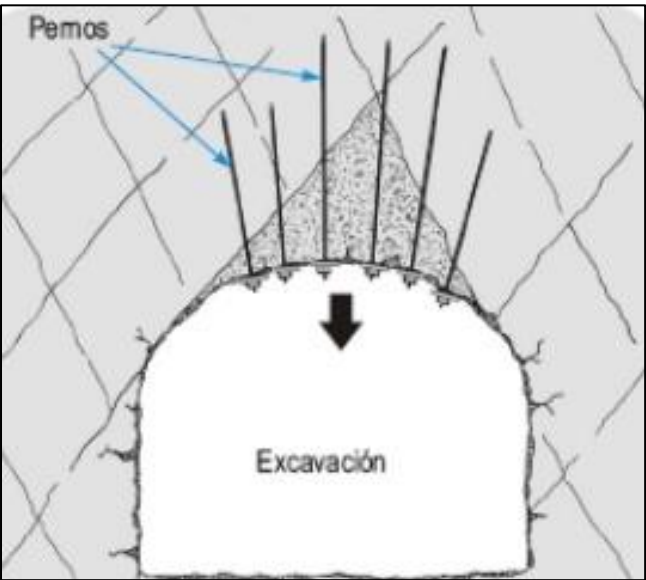
En el año 2012, el programa de avances contemplaba 50 metros de avance lineales tanto para Mina Sauce, como para Mina Carmen-Margarita. Actualmente el programa mensual de perforación indica que se debe cumplir con 150 metros de avance para Mina Sauce y 120 metros de avance lineal para Mina Carmen-Margarita. Para avanzar 1 metro lineal de avance, un equipo de perforación debe perforar 51 metros, ya que esa es la cantidad de tiros barrenados por frente de trabajo. El aumento de metraje para los equipos de perforación de avance es de 8,670 metros mensuales, entre ambas minas. En conclusión, para dar cumplimiento al requerimiento de perforación de avance, un equipo debe barrenar alrededor de 1,5 frentes de trabajo de 51 tiros cada una por día. En la figura 3-1, se hace referencia a los diagramas de perforación por frente de trabajo.



Fuente: Presentación de Tronadura Subterránea de la Ing. Pía Moreno Rodríguez.

Figura 3-1. Diagrama de disparo utilizado en Minera Las Cenizas, faena Cabildo.

El aumento de metros perforados, también ha aumentado para los equipos de fortificación, los cuales deben realizar 6 a 8 tiros de 2.8 metros de longitud, solamente en el techo de la galería, por cada 1.5 metros de avance lineal, por lo tanto, existe un aumento de aproximadamente 1950 metros de perforación de fortificación. La figura 3-2 hace referencia al tipo de perforación de fortificación.



Fuente: Presentación de Elementos de Fortificación departamento de Ingeniería de Mra. Las Cenizas.

Figura 3-2. Sistema de fortificación con pernos de anclaje.

Si bien no los diagramas de perforación de producción no han sido modificados, ni se han aumentado los metros perforados por programa, en el año 2014 la faena Cabildo debió dar de baja dos equipos de perforación de producción, dada la situación del precio del cobre, estos equipos no se renovaron. Actualmente la faena cuenta con dos equipos Simba H-1254 en Mina Sauce, más un equipo en Mina Carmen-Margarita, el promedio de metros a perforar por equipo ha aumentado, en los últimos dos años, de 2500 metros mes por equipo a 4300 metros mes por equipo.

Estos antecedentes reafirman la criticidad que tienen los equipos de perforación para la continuidad de las operaciones de Minera Las Cenizas, en la comuna de Cabildo. El aumento de la demanda por la utilización de los equipos de perforación de avance y fortificación ha aumentado en un 170.00%. En los equipos de perforación de producción la demanda se ha incrementado en un 72.00%.

Es primordial que los equipos de perforación de la faena mantengan, en el mejor de los casos superen, la confiabilidad requerida de un 75.00%. Estando el

requerimiento establecido, sólo se debe estudiar de manera concreta la factibilidad económica de la propuesta de mejora.

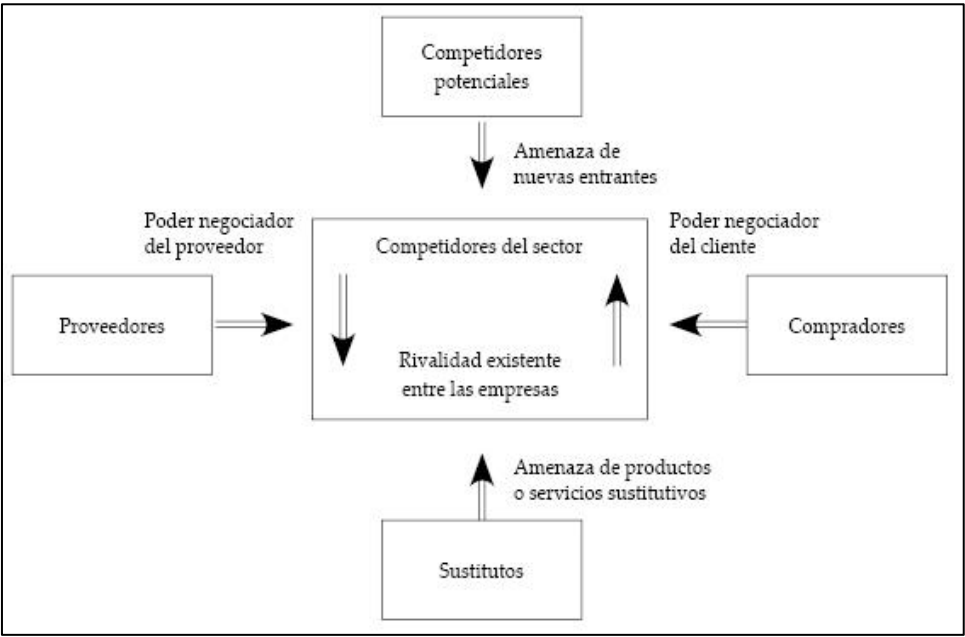
3.5. **ENTORNO COMPETIDOR**

Toda competencia depende de las cinco fuerzas competitivas que se interaccionan en el mundo empresarial.

- ✓ Amenaza de nuevos entrantes
- ✓ Rivalidad entre competidores.
- ✓ Poder de negociación con los proveedores.
- ✓ Poder de negociación con los clientes.
- ✓ Amenaza de productos o servicios sustitutivos.

El modelo de Porter postula que hay cinco fuerzas que conforman básicamente la estructura de la industria. Estas cinco fuerzas delimitan precios, costos y requerimientos de inversión, que constituyen los factores básicos que explican la expectativa de rentabilidad a largo plazo, por lo tanto, el atractivo de la industria. De su análisis se deduce que la rivalidad entre los competidores viene dada por cuatro elementos o fuerzas que, combinadas, la crean a ella como una quinta fuerza. En el Diagrama 3-1, se muestra cómo interactúan estas cinco fuerzas dentro del entorno competidor.

Diagrama 3-1. Análisis de las cinco fuerzas de Porter.



Fuente: Marketing XXI 5ta. Edición.

Para este proyecto el entorno competidor, tomando como análisis el modelo descrito anteriormente, está dado de la siguiente manera:

- ✓ Proveedores: El poder de negociación de los proveedores, no influye en la realización de este proyecto, ya que los valores tanto de los repuestos, mantenimientos programados, son fijos y no se alejan a los valores que se manejan en el mercado por un repuesto o un servicio a estos equipos.
- ✓ Sustitutos: Para este proyecto se puede tomar como amenaza de un producto sustituto, para que no sea factible la ejecución de este estudio, es que la perforación de avance, producción y fortificación se externalicen con una empresa contratista dedicada a estas operaciones.
- ✓ Compradores: Como se mencionó en el inicio de este proyecto, los clientes en este caso es el departamento de operaciones e ingeniería minas, el poder de negociación de estos está dado por los requerimiento de disponibilidad y confiabilidad de los equipos de perforación. Estos requerimientos vienen del estudio de la cantidad de horas hombre disponible para la operación y de programa de perforación dado. Estos valores están estandarizados con el departamento de mantenimiento mina.
- ✓ Competidores Potenciales: La amenaza de nuevos entrante se ve representada por la presentación de otros proyectos de mejora, que afecte la aprobación de este.

3.6. COMERCIALIZACIÓN DEL PRODUCTO

Como se mencionó anteriormente, este proyecto contempla dos alternativas de mejora.

- ✓ Renovación del parque de perforadoras hidráulicas utilizadas en los equipos de perforación de la faena Cabildo.
- ✓ Modificación de los planes de mantenimiento implantado para los equipos de perforación de la faena.

La comercialización del producto se puede estudiar de dos formas para este proyecto. La primera es una dentro de la misma empresa, donde se busca la aceptación de la propuesta, con el fin de que todos los involucrados en el proyecto tengan la disposición al cambio. Para la esto, en la alternativa de solución correspondiente a la renovación de la flota de perforadoras, es necesario dar la seguridad a la operación que el activo que se desea implementar, generará mejores resultados que el producto en funcionamiento actualmente. Esto conlleva la necesidad de contar con datos concretos de los parámetros del funcionamiento de los equipos, es por esta razón que se llegó a un acuerdo con la empresa Atlas Copco, en donde se realizó una prueba de forma gratuita por tres meses de una perforadora COP 1838 HD+ y de una COP 1435, instalada en un equipo de perforación de avance y de fortificación respectivamente. El análisis de esta prueba proporcionó información relevante para la aceptación del proyecto por parte departamento de operaciones mina de la faena Cabildo.

La segunda forma de estudiar la comercialización, es tratando de vender el proyecto para otra minera, que tenga necesidades similares a Minera Las Cenizas. Debido a que la alternativa de solución correspondiente a la renovación de perforadoras nace en conjunto con la empresa Atlas Copco no se puede comercializar, ya que dependerá de la afinidad existente entre ambas empresas. Sin embargo, la segunda alternativa de solución, correspondiente a la modificación de los planes de mantenimiento, puede ser comercializada en otras organizaciones como una asesoría al mantenimiento. Sin embargo, Minera Las Cenizas ha establecido en su reglamento interno, la prohibición a sus trabajadores la capacidad de negociar cualquier tipo de información o propuesta que se implemente en la organización.

3.7. ORIENTACIÓN DEL PRECIO

Como se mencionó anteriormente, ninguna de las dos alternativas de solución puede ser comercializada, por lo tanto, se dejará fuera de este estudio la orientación del precio de comercialización.

Ahora bien, para este proyecto de mejora el 57.69% del costo de inversión, corresponde a la adquisición de activos, el 40.17% corresponde a los costos de mantenimiento de los activos en los próximos 5 años. Y finalmente, el 2.14% del costo total corresponden a gastos de puesta en marcha. Cabe destacar que la adquisición de los activos fijos necesarios para la implementación de este proyecto, puede ser financiada por un leasing operativo, contratado directamente con la empresa Atlas Copco, o por un leasing bancario. Estos dos tipos de financiamiento serán explicados en detalle posteriormente.

3.8. EVALUACIÓN DEL PRODUCTO

La evaluación del producto, se realizará mediante un análisis FODA, representados en la Tabla 3-2 y en la Tabla 3-3 Donde se representarán las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas del producto de cada una de las alternativas de solución.

Tabla 3-2. Análisis FODA de perforadoras hidráulicas COP 1838HD+ y COP 1435

	Fortalezas	Debilidades
Internas	1.- Perforadoras con mayor energía y frecuencia de impacto 2.- Menor tiempo de perforación 3.- Mayor durabilidad de los aceros de perforación al incorporar hilo "T" en reemplazo de hilo "R". 4.- Para el montaje, no hay que realizar modificaciones en los equipos. 5.- El 84.61% de los repuestos de desgaste, son los mismo que utiliza sus modelos predecesores.	1.- Perforadoras no están diseñadas para soportar un tiempo prolongado en percusión en vacío. 2.- Los repuestos que se deben incorporar tienen un costo mayor de adquisición.

	Oportunidades	Amenazas
Externas	1.- Optimizar la utilización de los equipos por el menor tiempo de perforación. 2.- Mantener por el período del proyecto, un técnico de forma gratuita para el mantenimiento en terreno	1.- No existen pruebas anteriores en equipos de perforación de producción.

Fuente: Elaboración propia basado en análisis FODA vistos en Asignatura de Evaluación de Proyectos.

De este análisis se desprende que el principal riesgo se puede generar en los equipos de perforación de producción, ya que nunca se ha utilizado esta nueva tecnología en estos equipos. Si bien los costos de adquisición de repuestos son mayores, tienen una mayor durabilidad, lo que reduce el costo versus hora de operación. Las fortalezas y oportunidades de este producto hacen que sea atractivo implementar la alternativa de solución, no solamente para el departamento de mantención mina, sino que para las áreas de operaciones e ingeniería mina. Ya que, presenta una mayor confiabilidad y reduce los tiempos de perforación.

Tabla 3-3. Análisis FODA de la mejora de los planes de mantenimiento.

	Fortalezas	Debilidades
Internas	1.- Programa elaborado respetando los ciclos estipulados por el fabricante, pero incorporando el historial de falla de los equipos por las condiciones de operación. 2.- Uso de HH de acuerdo a la dotación actual del departamento de mantención. 3.- Prioriza los puntos críticos de los equipos de perforación	1.- Se dejan fuera del mantenimiento revisiones de menor relevancia que pueden provocar una falla al mediano plazo.
	Oportunidades	Amenazas
Externas	1.- Dar mayor satisfacción al mantenimiento preventivo de los equipos de la flota.	1.- Mala administración del cambio por parte de la supervisión de primera línea. 2.- Aparición de fallas sin historia en los equipos.

Fuente: Elaboración propia basado en análisis FODA vistos en Asignatura de Evaluación de Proyectos.

De esta propuesta de solución, se puede decir que el mayor riesgo de la modificación de los planes de mantenimiento de los equipos de perforación de la faena, es que comiencen a producirse fallas de las cuales no se tiene historia, ya que se dejarían

en fuera puntos de revisión de menor relevancia o mejor dicho que se pueden verificar de forma rápida con el fin de optimizar el acotado número de horas hombre que posee el departamento, en los puntos de mayor criticidad del equipo. Estos puntos de mayor criticidad son los que se analizaron en los capítulos anteriores mediante el análisis de Pareto. Estas fallas pueden generar un mayor costo por inactividad del equipo al no contar con un el repuesto que presenta la falla. Sin embargo, aunque existe un riesgo de realizar estas modificaciones, se hace necesario debido a que estos planes de mantenimiento no se relacionan con lo que requieren los equipos por su utilización y por las condiciones de operación. Aproximadamente el 34% del costo de mantenimiento de la faena se atribuye a estos equipos, por lo que hace necesario realizar esta modificación, no solamente para aumentar los índices de confiabilidad y disponibilidad, sino que también, el costo de mantenimiento correctivo.

3.9. INVERSIÓN INICIAL DEL PROYECTO

Se denomina inversión inicial a la cantidad de dinero que es necesario invertir para poner en marcha un proyecto. Antes de realizar la inversión inicial de un proyecto, se suele evaluar la factibilidad del mismo con diversos criterios definidos por las ciencias económicas. Tal vez los más conocidos sean la Tasa interna de retorno (TIR) y el Valor actual neto (VAN). Dentro de la inversión inicial se agrupan las inversiones fijas, gastos de puesta en marcha y capital de trabajo.

La estructura de financiamiento del proyecto será sin financiamiento o con un crédito a 5 años plazo por el 25%, 50% y 100%.

3.9.1. Inversiones fijas (tangibles e intangibles)

Dentro de las inversiones fijas para este proyecto de mejora, se considera el costo de adquisición de los activos, como una inversión tangible, detallados en la Tabla 3-4. Además, como inversión intangible se tiene el costo por concepto de manuales digitalizados de los equipos, el costo por traslado de los activos y la capacitación al personal de mantenimiento u operaciones. Mostrados en la Tabla 3-5. En la Tabla 3-6 se muestra el total del costo de las inversiones fijas.

Tabla 3-4. Inversiones fijas tangibles del proyecto.

Ítem	Descripción	Cantidad	Valor unitario en USD	Valor total en USD
1	Perforadora COP 1838 HD+	8	87,557.55	700,460.40
2	Perforadora COP 1435	4	57,360.60	229,442.40
3	Impresora Brother MFC-9330CDW	1	536.32	536.32
		Total	145,454.47	930,439.12

Fuente: Cotizaciones Atlas Copco para costo de perforadoras y valor comercial para impresora.

Tabla 3-5. Inversiones fijas intangibles del proyecto

Ítem	Descripción	Cantidad	Valor unitario en USD	Valor total en USD
1	Manuales de operación	5	16.29	81.45
2	Manuales de partes	5	18.36	91.80
3	Manuales de mantenimiento	5	15.47	77.35
4	Capacitación personal Mra. Las Cenizas	1	1,356.94	1,356.94
5	Costo traslado de componentes	2	252.84	505.68
		Total	1,659.90	2,113.22

Fuente: Contrato de transporte MLC y cotizaciones Atlas Copco.

Tabla 3-6. Inversiones fijas del proyecto

Ítem	Descripción	Valor unitario en USD
1	Inversiones fijas tangibles	930,439.12
2	Inversiones fijas intangibles	2,113.22
Total		932,552.34

Fuente Tabla 3-4 y Tabla 3-5.

3.9.2. Gastos de puesta en marcha

Los gastos de puesta en marcha, representados en la Tabla 3-7, corresponden a los gastos que se necesitan para la implementación del proyecto.

Tabla 3-7. Gastos de puesta en marcha.

Ítem	Descripción	Cant.	Valor Unit. (USD)	Valor Total (USD)
1	Perno M16x70 mm	28	1.98	55.44
2	Perno M16x260 mm	12	9.17	110.04
3	Perno M16x290 mm	12	15.09	181.08
4	Kit de sellos cámara de barrido COP 1838 HD+	3	58.26	174.78
5	Kit de sellos cámara de barrido COP 1435	16	23.91	382.58
6	Papel tamaño fotocopia (Resma de 500 hojas)	1	5.46	5.46
7	Alimentación personal Atlas Copco (2 técnicos)	20	4.60	92.00
		Total	118.47	1,001.38

Fuente: Software de mantenimiento Minera Las Cenizas.

3.9.3. Capital de trabajo

Es la suma de dinero que se requiere para operar durante un ciclo productivo y es recuperable. Es decir, es el capital invertido para mantener en funcionamiento el proyecto. Para este caso corresponden a los primeros seis meses desde la puesta en marcha del proyecto. En la Tabla 3-8, se muestran los costos durante el primer período de la etapa productiva.

Tabla 3-8. Detalle del cálculo del capital de trabajo.

Costos (USD)	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Total
Costos fijos	110.40	110.40	110.40	110.40	110.40	110.40	662.40
Costos Variables	3,564.88	2,729.89	3,054.88	4,449.88	3,137.09	3,877.67	20,814
Costo total	3,675.28	2,840.29	3,165.28	4,560.28	3,247.49	3,988.07	21,476.70

Fuente: Informe de Costos de la oficina de la oficina de planificación del Departamento de Mantención
Mina de Mra. Las Cenizas.

3.9.4. Resumen de la inversión inicial

El resumen de la inversión inicial se muestra en la Tabla 3-9. El valor total de la inversión asciende a US\$ 955.030,41.

Tabla 3-9. Resumen de la inversión inicial.

Inversión inicial	Valor total en USD
Inversiones fijas	932.552,34
Gasto de puesta en marcha	1.001,38
Capital de trabajo	21.476,70
Total (USD)	955.030,41

Fuente: Tabla 3-6, Tabla 3-7 y Tabla 3-8.

3.10. **DEPRECIACIÓN DE ACTIVOS**

La depreciación de los bienes del activo de una empresa corresponde al menor valor que tiene un bien, producto de su uso o desgaste, tema que está contenido en los N° 5 y 5 bis del Artículo 31 de la Ley sobre Impuesto a la Renta, que reconoce una cuota anual por concepto de depreciación de los bienes del activo inmovilizado como gasto necesario para producir la renta, determinada de acuerdo con la vida útil fijada por el Servicio de Impuestos Internos para tal bien.

Este proyecto hará uso de una depreciación acelerada, representada en la Tabla 3-10, donde se muestran los años de vida útil norma y de depreciación acelerada.

Tabla 3-10. Cuadro de depreciación.

Nómina de bienes según actividad	Vida útil normal	Depreciación acelerada
A.- Activos genéricos		
Maquinarias y equipos en general.	15	5
Útiles de oficina (ejemplos: máquina de escribir, fotocopidora, etc.).	3	1

Fuente: Servicio de Impuestos Internos.

En la Tabla 3-11 y 3-12, se muestra en detalle la depreciación de los activos de este proyecto. El valor residual de los activos es de un 20% del valor de compra.

Tabla 3-11. Valor de compra de los activos.

Activo	Valor Activo USD	Cant.	Valor Compra USD
Perforadora COP 1838HD+	87.557,55	8	700.460,40
Perforadora COP 1435	57.360,60	4	229.442,40
Impresora Brother MFC-9330CDW	536,32	1	536,32

Fuente: Cotizaciones de Atlas Copco y valor comercial de impresora.

Tabla 3-12. Depreciación de los activos de la propuesta de mejora.

Activo	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Valor Libro USD	Valor Residual USD
Perf. COP 1838HD+	140.092,1	140.092,1	140.092,1	140.092,1	140.092,1	0	140.092,1
Perf. COP 1435	45.888,5	45.888,5	45.888,5	45.888,5	45.888,5	0	45.888,5
Imp. Brother MFC-9330CDW	536,3					0	107,3
Total	186.516,9	185.980,6	185.980,6	185.980,6	185.980,6	0	186.087,8

Fuente: Tabla 3-10 y Tabla 3-11

3.11. INGRESOS Y EGRESOS DEL PROYECTO

Los ingresos y egresos del proyecto, se muestran en las tablas 3-13 y 3-14. Cabe destacar que los ingresos corresponden al valor de venta de las perforadoras de dadas de baja y el costo de mantenimiento actual de la flota.

Tabla 3-13. Ingresos del proyecto.

Descripción	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Venta de Perforadoras COP 1838 ME	95.200,00					
Venta de Perforadoras COP 1638	31.960,00					
Beneficio por detenciones correctivas		94.543,54	94.543,54	94.543,54	94.543,54	94.543,54
Beneficio por detenciones preventivas		12.483,02	22.380,04	46.228,67	6.033,99	2.905,26
Beneficio en costo de mantenimiento		401.900,00	396.965,00	390.527,00	373.186,00	344.178,00
Total	127.160,00	508.926,56	513.888,58	531.299,21	473.763,53	441.626,80

Fuente: Software de Mantenimiento Mra. Las Cenizas.

El valor de venta de las perforadoras que se darán de baja se restará directamente del costo de inversión, ya que estas se entregarán en parte de pago por los activos nuevos, la suma de los ingresos a contar del año 1 es de 2.469.504,68.- USD

Tabla 3-14. Egresos del proyecto.

Descripción	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Costo Mant. COP 1838HD+		42.518,67	92.799,77	85.654,67	124.803,33	85.835,33
Costo Mant. COP 1435		21.259,33	46.399,89	42.827,33	62.401,67	42.917,67
Lubricante (Aceite y Grasa)		19.342,08	20.309,18	19.922,34	19.380,76	20.792,74
Insumos de oficina		1.193,20	1.236,90	1.098,20	1.136,20	1.074,64
Total		84.313,28	160.745,74	149.502,54	207.721,96	150.620,38

Fuente: Software de mantenimiento Mra. Las Cenizas y contrato de adquisición con la empresa Atlas Copco.

Los egresos de este proyecto, están marcados principalmente por los costos de mantenimiento de las perforadoras, se deja fuera de este costo los lubricantes, ya que es

un costo mayor dentro de los insumos del mantenimiento. También se suman a estos egresos el costo de insumos de oficina, dentro de estos se contempla las hojas tamaño carta para la impresión de pautas, el costo por compra de tóner y consumibles de impresión, corchetes y archivadores para las pautas de mantenimiento. Los egresos de este proyecto llegan a un valor de US\$752.903,91.

3.12. CÁLCULO DE LA TASA DE DESCUENTO

La tasa de descuento es el rendimiento mínimo exigible para cualquier proyecto de inversión. Por lo tanto, se aceptará una inversión si su rendimiento está por encima del WACC, para un proyecto con financiamiento, y CAMP, para un proyecto sin financiamiento.

El CAMP, es una de las herramientas más utilizadas en el área financiera para determinar la tasa de retorno requerida para un cierto activo.

A continuación se presenta en la tabla 3-15 un cuadro aportado en la asignatura de Evaluación de Proyectos, que se utilizó como referencia para determinar la tasa.

Tabla 3-15. Prima de riesgo, según nivel de riesgo.

Nivel de riesgo	Prima por riesgo	Ejemplos de proyectos
Alto	Sobre 20%	Desarrollo de nuevos productos
		Proyectos que usan conceptos muy novedosos
		Contratos internacionales
Mediano	10% - 20%	Proyectos algo fuera del giro de la empresa
		Procesos nuevos que no han sido completamente investigados
Promedio	5% - 10%	Incremento de la capacidad de producción
		Implementación de una nueva tecnología conocida
		Proyectos con información de mercado incompleta

Bajo	1% - 5%	Mejoramiento de la productividad
		Expansiones en un mercado en donde es líder y lo conoce bien
Muy bajo	0% - 1%	Reducción de costos
		Proyectos relativos de seguridad

Fuente: Asignatura de Evaluación de Proyectos.

De acuerdo a esto, la tasa de descuento es igual a la tasa de rentabilidad exigida por el inversionista más la prima de riesgo. Minera Las Cenizas considera que este tipo de proyectos tienen un nivel de riesgo “promedio”, con una prima por riesgo del 8% y además impone una tasa de rentabilidad exigida por el inversionista de un 5%.

De este modo la Tasa de descuento es: Tasa de rentabilidad + Prima por riesgo
Tasa de descuento = 5% + 8% = 13%

3.13. **FLUJO DE CAJA DEL PROYECTO**

A continuación se presentarán los Flujos de Caja necesarios para comparar justificar la mejor opción escogida como estructura de financiamiento.

3.13.1. Flujo de caja puro

Este flujo tiene como objetivo obtener los indicadores económicos que permitan evaluar la conveniencia de que sea el inversionista el que aporte todos los fondos necesarios para la realización del proyecto.

El resumen de la inversión inicial se muestra en la Tabla 3-16. Si bien, el valor total de la inversión asciende a US\$ 955.030,41 al descontar el valor de venta de las perforadoras dadas de baja, la inversión inicial total del proyecto disminuye al valor de US\$ 827.870,41. Posteriormente, en la Tabla 3-17 se muestra el flujo de caja puro del proyecto.

Tabla 3-16. Resumen de la inversión inicial.

Inversión inicial	Valor total en USD
Inversiones fijas	805.392,34
Gasto de puesta en marcha	1.001,38
Capital de trabajo	21.476,70
Total (USD)	827.870,41

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3-17. Flujo de caja puro.

FLUJOS DE CAJA NETO						
Tasa de descuento (%): 13		Moneda: Dólar (USD)				
AÑO	0	1	2	3	4	5
(+) Ingresos		508.927	513.889	531.299	473.764	441.627
(-) Egresos		-84.313	-160.746	-149.503	-207.722	-150.620
(=) Margen		424.613	353.143	381.797	266.042	291.006
(-) Depreciación		-186.517	-185.981	-185.981	-185.981	-185.981
(+) Valor Residual						186.088
(-) Valor Libro						
(=) Utilidad antes de impuesto		238.096	167.162	195.816	80.061	291.114
(-) Impuestos (Ley de la renta)		59.524	42.626	52.870	21.616	78.601
(=) Utilidad después de Impuestos		178.572	124.536	142.946	58.445	212.513
(+) Depreciación		186.517	185.981	185.981	185.981	185.981
(-) Inversiones	-827.870					
(+) Valor Libro						
(+/-) Capital de Trabajo	-21.477					21.477
(=) Flujo de Caja	-849.347	365.089	310.516	328.926	244.425	377.017
(=) Flujo de Caja Actualizado	-849.347	342.357	273.051	271.230	189.002	273.376
(=) Flujo de Caja Acumulado	-849.347	-506.990	-233.939	37.291	226.293	499.669
Tasa de descuento	13,00%					
VAN	499.669					
TIR	26,96%					
PRI	3					

Fuente: Elaboración propia basado en flujos de caja analizados en la asignatura de Evaluación de Proyectos.

3.13.2. Flujo de caja con financiamiento

El financiamiento del proyecto será de un 25 y 75 por ciento, donde el 25 por ciento será aportado por el inversionista y el 75 por ciento a través de fondos externos.

Para efectos de la evaluación económica se considera más de una estructura de financiamiento, con aportes del 50 y 75 por ciento, cual es la mejor de todas las opciones de financiamiento.

Por lo tanto, el resumen de la inversión inicial descontando el valor de venta de la flota dada de baja, se muestra en la Tabla 3-18. El valor total de la inversión asciende a US\$ 955.030,41.

Tabla 3-18. Resumen de la inversión inicial.

Inversión inicial	Valor total en USD
Inversiones fijas	805.392,34
Gasto de puesta en marcha	1.001,38
Capital de trabajo	21.476,70
Total (USD)	827.870,41

Fuente: Elaboración propia.

Se cotizó con el Banco BCI, ya que Minera Las Cenizas es cliente de esta entidad bancaria, la tasa de interés a aplicar para los montos equivalentes al 50 y 75 por ciento del capital necesario, es de un 6,64%.

3.13.2.1.Flujo de caja con financiamiento externo del 50%

Con la información entregada anteriormente, se realiza el cálculo del valor de la cuota, cuya fórmula se muestra en la Ecuación 3-1, y de la amortización del crédito a largo plazo, según lo representado respectivamente en la Tabla 3-19 y 3-20. Posteriormente se mostrará en la Tabla 3-21 el flujo de caja del proyecto con financiamiento del 50%.

Ecuación 3-1. Cálculo del valor cuota.

$$PMT = VP * \left[\frac{(1 + i)^n * i}{(1 + i)^n - 1} \right]$$

Fuente: Asignatura de Evaluación de proyectos

En donde:

- ✓ PMT: Valor cuota o Payment
- ✓ VP: Valor presente
- ✓ i: Tasa interés
- ✓ n: Períodos

En la Tabla 3-19, se muestra el valor de la cuota para un crédito a largo plazo por el financiamiento del 50% de la inversión inicial.

Tabla 3-19. Valor de la cuota del crédito de largo plazo al 50%.

VP=	413.935,21
VP*i=	27.485,30
PMT=	99.983,75

Fuente: Elaboración propia.

Según la tabla anterior, VP corresponde al capital solicitado en dólares, VP*i es el capital en dólares por la tasa de interés y PMT corresponde al valor de la cuota.

Tabla 3-20. Amortización del crédito a largo plazo.

Cuota	Capital	Interés	Cuota	Amortización	Capital Adeudado
1	413.935,21	27.485,30	99.983,75	72.498,45	341.436,75
2	341.436,75	22.671,40	99.983,75	77.312,35	264.124,40
3	264.124,40	17.537,86	99.983,75	82.445,89	181.678,51
4	181.678,51	12.063,45	99.983,75	87.920,30	93.758,21
5	93.758,21	6.225,54	99.983,75	93.758,21	0,00

Fuente: Elaboración propia basado en cuadros analizados en la asignatura de Matemáticas Financieras.

Tal como se muestra en la tabla el capital solicitado corresponde al 50% del total de la inversión y el valor de la cuota corresponde al de la tabla 3-18. Se muestra a continuación el flujo de caja con financiamiento externo de un 50% de la inversión.

Tabla 3-21. Flujo de caja del proyecto con un financiamiento de un 50%

FLUJOS DE CAJA NETO						
Tasa de descuento (%): 13		Moneda: Dólar (USD)				
AÑO	0	1	2	3	4	5
(+) Ingresos		508.927	513.889	531.299	473.764	441.627
(-) Egresos		-84.313	-160.746	-149.503	-207.722	-150.620
(=) Margen		424.613	353.143	381.797	266.042	291.006
(-) Depreciación		-186.517	-185.981	-185.981	-185.981	-185.981
(+) Valor Residual						186.088
(-) Valor Libro						
(-) Interés LP		-31.707	-26.154	-20.232	-13.916	-7.182
(=) Utilidad antes de impuesto		206.389	141.009	175.584	66.145	283.932
(-) Impuestos (Ley de la renta)		51.597	35.957	47.408	17.859	76.662
(=) Utilidad después de Impuestos		154.792	105.051	128.177	48.286	207.270
(+) Depreciación		186.517	185.981	185.981	185.981	185.981
(+) Crédito LP	413.935					
(-) Amortización LP		-72.498	-77.312	-82.446	-87.920	-93.758
(-) Inversiones	-827.870					
(+) Valor Libro						
(+/-) Capital de Trabajo	-21.477					21.477
(=) Flujo de Caja	-435.412	268.810	213.720	231.711	146.346	320.969
(=) Flujo de Caja Actualizado	-435.412	252.073	187.933	191.068	113.162	232.736
(=) Flujo de Caja Acumulado	-435.412	-183.339	4.594	195.662	308.824	541.559
Tasa de descuento	13,00%					
VAN	541.559					
TIR	46,60%					
PRI	2					

Fuente: Elaboración propia basado en flujos de caja analizados en la asignatura de Evaluación de Proyectos.

3.13.2.2.Flujo de caja con financiamiento externo del 75%

Al igual que el punto anterior, se realizara el flujo de caja del proyecto con un financiamiento externo de un 100%, también se debe calcular la cuota del crédito a largo plazo y la amortización de este. Estos cálculos se muestran en las tablas 3-22 y 3-23. Y

finalmente en la tabla 3-24, se realizará el flujo de caja del proyecto con financiamiento externo del 75%.

Tabla 3-22. Valor cuota del crédito a largo plazo.

VP=	620.902,81
VP*i=	41.227,95
PMT=	149.975,63

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3-23. Amortización del crédito de largo plazo.

Cuota	Capital	Interés	Cuota	Amortización	Capital Adeudado
1	620.902,81	41.227,95	149.975,63	108.747,68	512.155,13
2	512.155,13	34.007,10	149.975,63	115.968,53	396.186,60
3	396.186,60	26.306,79	149.975,63	123.668,84	272.517,76
4	272.517,76	18.095,18	149.975,63	131.880,45	140.637,31
5	140.637,31	9.338,32	149.975,63	140.637,31	0,00

Fuente: Elaboración propia basado en cuadros analizados en la asignatura de Matemáticas Financieras.

Tabla 3-24. Flujo de caja del proyecto con financiamiento externo del 75%.

FLUJOS DE CAJA NETO						
Tasa de descuento (%): 13		Moneda: Dólar (USD)				
AÑO	0	1	2	3	4	5
(+) Ingresos		508.927	513.889	531.299	473.764	441.627
(-) Egresos		-84.313	-160.746	-149.503	-207.722	-150.620
(=) Margen		424.613	353.143	381.797	266.042	291.006
(-) Depreciación		-186.517	-185.981	-185.981	-185.981	-185.981
(+) Valor Residual						186.088
(-) Valor Libro						
(-) Interes LP		-41.228	-34.007	-26.307	-18.095	-9.338
(=) Utilidad antes de impuesto		196.868	133.155	169.509	61.966	281.775
(-) Impuestos (Ley de la renta)		49.217	33.955	45.768	16.731	76.079
(=) Utilidad después de Impuestos		147.651	99.201	123.742	45.235	205.696
(+) Depreciación		186.517	185.981	185.981	185.981	185.981
(+) Credito LP	620.903					
(-) Amortización LP		-108.748	-115.969	-123.669	-131.880	-140.637
(-) Inversiones	-827.870					
(+) Valor Libro						
(+/-) Capital de Trabajo	-21.477					21.477
(=) Flujo de Caja	-228.444	225.421	169.213	186.054	99.335	272.516
(=) Flujo de Caja Actualizado	-228.444	211.385	148.796	153.418	76.811	197.602
(=) Flujo de Caja Acumulado	-228.444	-17.060	131.737	285.155	361.966	559.568
Tasa de descuento	13,00%					
VAN	559.568					
TIR	82,03%					
PRI	2					

Fuente: Elaboración propia basado en flujos de caja analizados en la asignatura de Evaluación de Proyectos.

Dentro de las tres alternativas de financiamiento analizadas, flujo puro, con financiamiento de un 50% y de un 75% externo, la que genera un mayor grado de rentabilidad es la alternativa financiada por externo al 75%.

Esta última alternativa genera un VAN mayor y un TIR, sobre un 75%, lo que se da solamente en proyectos altamente rentables.

3.13.3. Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad es un término financiero, muy utilizado en las empresas para tomar decisiones de inversión, que consiste en calcular los nuevos flujos de caja y el VAN, al cambiar una variable (la inversión inicial, la duración, los ingresos, la tasa de crecimiento de los ingresos, los costes, etc.) De este modo teniendo los nuevos flujos de caja y el nuevo VAN podremos calcular y mejorar nuestras estimaciones sobre el proyecto que vamos a comenzar en el caso de que esas variables cambiasen o existiesen errores de apreciación por nuestra parte en los datos iniciales. En este caso se evaluarán tres flujos de caja con respecto al inicial seleccionado, en donde las variable a modificar serán las siguientes.

- ✓ Aumento de los egresos.
- ✓ Disminución de los ingresos.
- ✓ Aumento de los egresos y disminución de los ingresos.

3.13.4. Resumen del análisis de sensibilidad

Se realizan las variaciones en el flujo de caja indicadas anteriormente, con el fin de realizar el análisis de sensibilidad. Para este análisis se elige el flujo con un financiamiento de un 75 por ciento, ya que es el flujo utilizado para la implementación del proyecto.

- ✓ Disminución de los ingresos de un 35%. Simularía un aumento en la disponibilidad de la flota actual y una disminución del gasto de mantención sin realizar el proyecto.
- ✓ Una disminución de los ingresos en un 25% y un aumento progresivo en los egresos hasta un 35%, simularía la situación anterior y además, un aumento del costo de mantenimiento de la flota de estos equipos.

En la Tabla 3-25. Se muestra que el proyecto mantiene el VAN positivo hasta una disminución de los ingresos cercana al 34,63%, En el caso que el costo de mantenimiento actual y también el costo por detención disminuyeran en dicho porcentaje le proyecto no sería factible de realizar. También se evidencia que el período de recuperación se traslada del año 2 al 5. En la Tabla 3-26, se evidencia que una disminución de los ingresos en un 25% y el aumento máximo de los costos que puede soportar el proyecto es de un 31,56%.

Tabla 3-25. Análisis de sensibilidad al variar los ingresos del proyecto.

Variación en los ingresos			
Variación	VAN (USD)	TIR %	PRI
0,00%	559.567,96	82,03%	2
10,00%	408.008,89	62,92%	2
15,00%	330.329,76	52,96%	2
20,00%	249.604,68	42,46%	3
25,00%	168.879,59	31,53%	3
30,00%	83.443,06	19,28%	5
34,64%	0,01	6,64%	5
35,00%	-6.704,98	5,59%	>5

Fuente: Elaboración propia basado en la variación de los ingresos del proyecto.

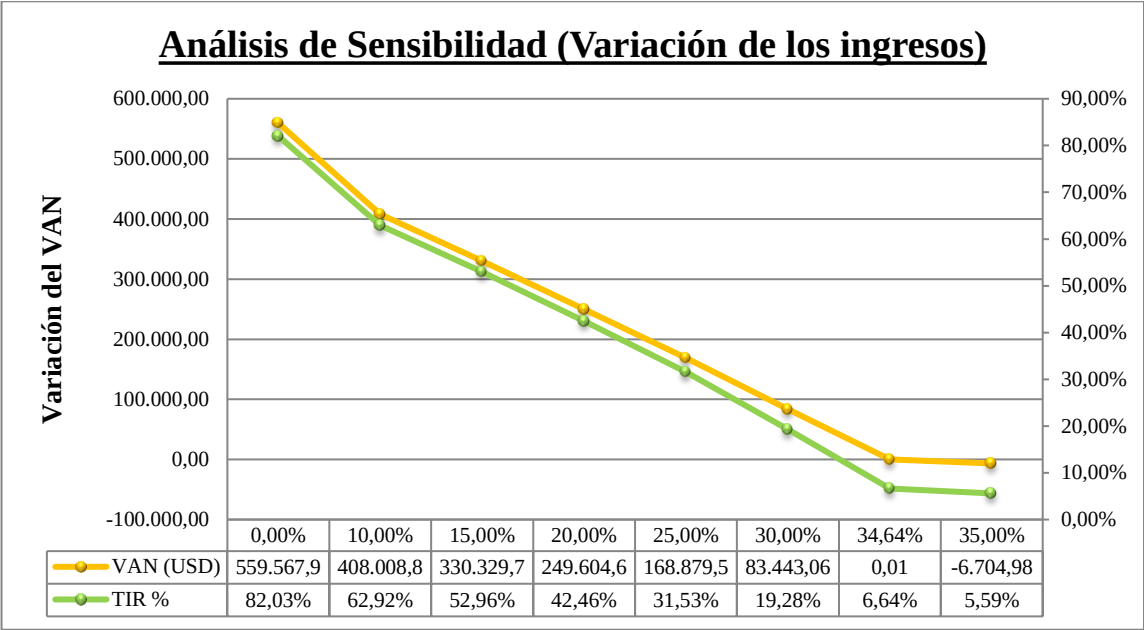
Tabla 3-26. Análisis de sensibilidad al variar los ingresos y egresos del proyecto.

Variación en los ingresos y egresos				
Variación		VAN (USD)	TIR %	PRI
Ingresos	Egresos			
0,00%	0,00%	559.567,96	82,03%	2
25,00%	0,00%	168.879,59	31,53%	3
	5,00%	143.380,18	28,17%	3
	10,00%	116.830,67	24,52%	3
	15,00%	90.281,17	20,73%	5
	20,00%	63.731,66	16,80%	5
	25,00%	37.028,29	12,68%	5
	30,00%	8.814,52	8,11%	5
	31,56%	11,82	6,64%	5
	35,00%	-19.399,25	3,32%	>5

Fuente: Elaboración propia basado en la variación del ingresos y egresos del proyecto.

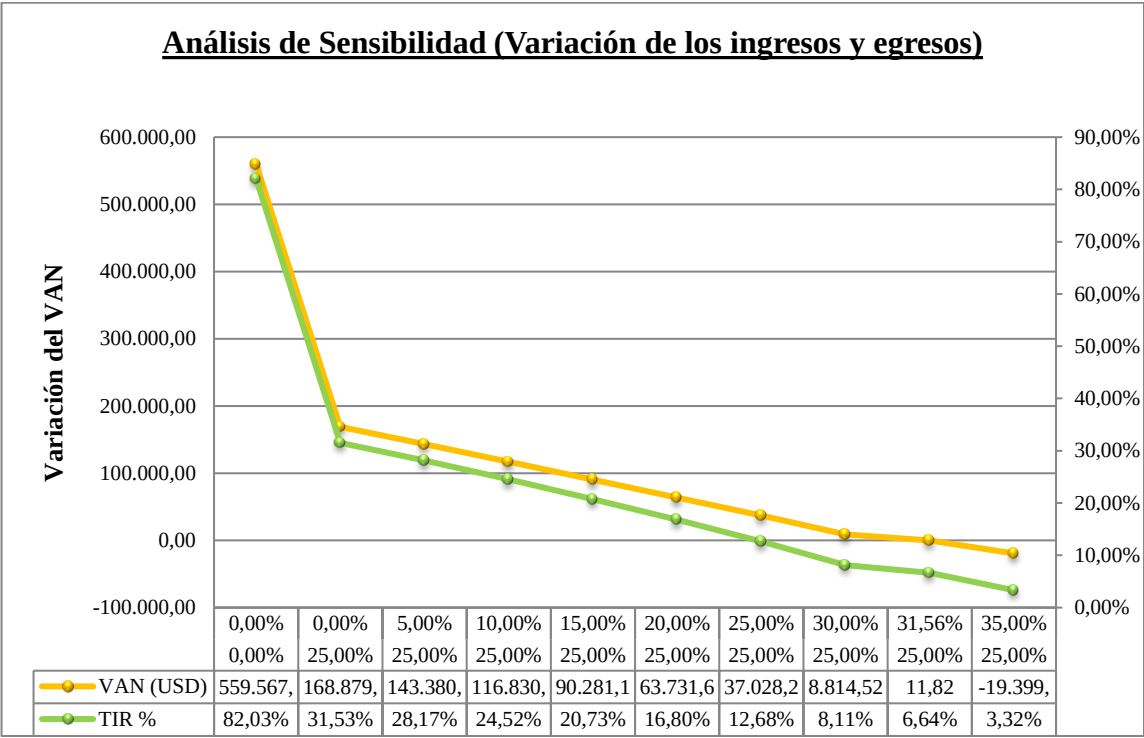
Los datos obtenidos en el análisis de sensibilidad mostrado en la Tabla 3-25 y Tabla 3-26, son representados en el Gráfico 3-1 y Gráfico 3-2

Gráfico 3-1. Resumen del análisis de sensibilidad al variar los ingresos.



Fuente: Análisis de sensibilidad Representado en Tabla 3-25

Gráfico 3-2. Resumen del análisis de sensibilidad al variar los ingresos y egresos.



Fuente: Análisis de sensibilidad representado en Tabla 3-26

3.13.5. Resumen indicadores del proyecto

Como resumen del flujo de caja del proyecto puro, con financiamiento y del análisis de sensibilidad, se muestran en la tabla 3-27 los indicadores del proyecto a modo de tener una visión global de esta propuesta de mejora.

Tabla 3-27. Resumen indicadores del proyecto

Tipo de flujo	VAN (USD)	TIR (%)	IVAN	PRI
Proyecto puro	499.668,57	26,96%	0,6036	3
50% de financiamiento	541.559,30	46,60%	1,2438	2
75% de financiamiento	559.567,96	36,94%	2,4495	2
- 34.63% egresos	0,01	6,64%	0,000001	5
+31.56% egresos y -25% ingresos	11,82	6,64%	0,0001	5

Fuente propia del autor.

CONCLUSIÓN

Dado el escenario actual en que se encuentra Minera Las Cenizas, las soluciones propuestas son las indicadas para aportar al cumplimiento de los programas de perforación de las minas. Si bien para el departamento de Mantenimiento y Operaciones Mina, la renovación de los equipos que ya han cumplido con su vida operacional sería lo óptimo para disminuir los eventos correctivos que se presentan en la flota. Sin embargo, económicamente no es factible de realizar esta alternativa por el valor del Cobre y además del alto costo de inversión.

Siendo la perforadora hidráulica uno de los componentes principales de estos equipos y también uno de los que actualmente genera el mayor tiempo de detención, renovar este componente procura eliminar prácticamente las fallas de este tipo.

El mantenimiento que se describió como la segunda solución propuesta, tiene como meta disminuir el número de fallas de los demás componentes que conforman el equipo, ya que las trabajos preventivos que se realizan actualmente, no están relacionados con la situación actual de estos equipos, al aplicar un mantenimiento diario en el sector de trabajo y además de mantenimientos en el taller de mantención en intervalos de 10 y 40 horas de percusión, permite evidenciar los problemas por desgaste o condiciones de la operación que no se podían detectar anteriormente, cuando las intervenciones se planificaban semanalmente. De esta manera se evitan tiempos detención mayores y fallas en las que no se cuentan con los repuestos o recursos para darle solución.

Al analizar el estudio económico de este proyecto, el beneficio financiero de este proyecto es menor a la inversión inicial, sin embargo la recuperación del capital invertido se produce en el segundo año, haciendo atractivo para el directorio de Minera Las Cenizas llevar a cabo este plan de mejora. También le da importancia a este proyecto, el aumento en el cumplimiento de los programas de perforación, la disminución del lucro cesante de la flota de equipos de perforación.

Sin lugar a duda, el principal valor que entrega este estudio de factibilidad, es mantener las operaciones de Minera Las Cenizas en la comuna de Cabildo y que no se deba disminuir la dotación del personal debido a alguna reestructuración de los programas de producción.

BIBLIOGRAFÍA

1. ATLAS COPCO. Manual de mantenimiento y operación equipo Rocket Boomer 282. 2010, 32 p.
2. ATLAS COPCO. Manual de mantenimiento y operación equipo Rocket Boomer 281. 2008, 39 p.
3. ATLAS COPCO. Manual de mantenimiento y operación equipo Boomer S1D. 2012, 35 p.
4. ATLAS COPCO. Manual de mantenimiento y operación equipo Boltec 235H. 2010, 35 p.
5. ATLAS COPCO. Manual de servicio perforadora hidráulica COP 1838ME. 2010, 2 p.
6. ATLAS COPCO. Manual de servicio perforadora hidráulica COP 1638. 2008, 2 p.
7. ATLAS COPCO. Manual de servicio perforadora hidráulica COP 1838HD+. 2015, 6 p.
8. ATLAS COPCO. Manual de servicio perforadora hidráulica COP 1435. 2014, 2 p.
9. ATLAS COPCO. Manual de mantenimiento y operación equipo Simba H-1254. 2012, 35 p.
10. CHRISTENSEN, Claudio. Presentación de confiabilidad y disponibilidad. 2012, 2-26 p.
11. MINERA LAS CENIZAS. Misión, Visión y Valores [en línea], 2012. [consulta el 26 de octubre de 2016]. Disponible en: <<http://www.cenizas.cl/quienesomos.html>>
12. MINERA LAS CENIZAS. Fundamentos [en línea], 2012. [consulta el 26 de octubre de 2016]. Disponible en: <<http://www.cenizas.cl/fundamentos.html>>
13. MORENO RODRIGUEZ, Pía. Tronadura Subterránea [en línea], 2016. [consulta el 03 de diciembre de 2016]. Disponible en: <<http://documents.mx/documents/disenomineria-subterranea.html>>
14. ATLAS COPCO. Quienes somos [en línea], 2017. [consulta el 19 de marzo de 2017]. Disponible en: <<http://www.atlascopco.cl/cles/>>
15. SUBTERRA MINERÍA. Montabert [en línea], 2017. [consulta el 19 de marzo de 2017]. Disponible en: <<http://www.subterramineria.cl/category/marca/montabert/>>
16. SUBTERRA MINERÍA. Perforadora HC-109, 2017. [consulta el 19 de marzo de 2017]. Disponible en: <<http://www.subterramineria.cl/wp-content/uploads/2012/04/HC109-Especificaciones-T%C3%A9cnicas.pdf>>
17. SUBTERRA MINERÍA. Perforadora HC-50, 2017. [consulta el 19 de marzo de 2017]. Disponible en: <<http://www.subterramineria.cl/wp-content/uploads/2012/03/HC50-Especificaciones-T%C3%A9cnicas1.pdf>>

18. MARKETING XXI. Análisis competitivo [en línea], 2017. [consulta el 11 de junio de 2017]. Disponible en: <<http://www.marketing-xxi.com/analisis-competitivo-17.htm>>