



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE MINAS

“ADAPTACIÓN DE LAS OPERACIONES UNITARIAS EN FUNCIÓN DEL
AUMENTO DE PRODUCCIÓN Y LA REDUCCIÓN DE COSTOS EN MINERA
RAFAELA”

MEMORIA PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO CIVIL DE MINAS.

NICOLÁS LUCIANO CATALÁN GÁLVEZ

PROFESOR GUÍA:
FERNANDO SILVA CALONGE

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
ALFONSO OVALLE WALKER
LUIS FELIPE ORELLANA ESPINOZA

SANTIAGO DE CHILE
2021

RESUMEN

El presente estudio se realizó en Minera Rafaela, la cual está ubicada en la comuna de Cabildo en la V Región de Chile. Minera Rafaela, en el momento en que se realizó el estudio, explotaba aproximadamente 5.000 [t/mes] de minerales sulfurados de cobre.

Minera Rafaela tiene como objetivos en el mediano y largo plazo alcanzar metas de productivas de 10.000 [t/mes] y 15.000 [t/mes]. Este aumento productivo se lleva a cabo mediante el inicio de la explotación de minas aledañas, acordado mediante contratos determinados. Para lograr estas producciones es necesario adaptar las operaciones unitarias de la faena, lo cual debe ir alineado con la reducción de costos asociados a estas operaciones.

Los alcances de la memoria abarcan la perforación, tronadura, carguío y transporte en interior mina. Para la perforación y tronadura, solo se estudiará un mejor uso del método implementado. Para el carguío y transporte se incluirá solo lo que abarca desde las frentes de trabajo hasta los piques de traspaso o acopio. El transporte en el nivel de acarreo o principal a superficie, desde los piques o acopio a la planta queda excluido.

La perforación se realiza mediante el uso de perforadoras neumáticas. La tronadura se realiza utilizando como explosivo ANFO tradicional y como iniciador se utiliza cartuchos Emultex CN de 7/8"x8" o 1"x8". El carguío se lleva a cabo mediante un LHD de 7 [yd³] o equivalente a 10 [t] de capacidad. El transporte es realizado mediante un dumper de 16,8 [yd³] o equivalente a 24 [t] de capacidad.

Para la perforación y tronadura se propone cambiar los turnos de trabajo de la faena de 5x2 a 7x7, además de pasar de realizar 5 [Disparos/Semana] por pareja a 6 [Disparos/Semana] por pareja equivalente. Por otro lado, para el carguío y transporte, también se propone cambiar los turnos de 5x2 a 7x7. Adicionalmente, se evalúa cambiar el equipo de transporte dumper por camiones tolvas en sectores donde es posible.

Dentro de los análisis de resultados se observa que, con el caso propuesto en perforación y tronadura, existe una potencial oportunidad de aumentar la producción por pareja perforista desde 918 [t/mes] a 1.150 [t/mes]. Además, al operar con 6, 8, 10, 12 y 14 parejas perforistas, se presenta un incremento productivo en la faena de 1.395 [t/mes], 1.860 [t/mes], 2.325 [t/mes], 2.790 [t/mes] y 3.255 [t/mes], respectivamente. Por otro lado, de la sensibilización del caso propuesto, se observó que de realizarse 11, 13 y 14 [Disparos/Semana] por pareja, el rendimiento sería de 1.054 [t/mes], 1.246 [t/mes] y 1.342 [t/mes] por pareja, respectivamente.

Para las operaciones de carguío y transporte, se calculó el Valor Actual de Costos (VAC) de distintas combinaciones. En función de las reservas geológicas, el diseño y el programa minero, para el año 1 se considera un nivel de producción de 10.000 [t/mes] y para el año 2 una producción de 15.000 [t/mes]. En este caso se observó que la mejor opción es la de utilizar camiones tolvas en conjunto con dumper en turnos 7x7, puesto que se obtiene un VAC menor en un 41,1% en comparación a utilizar sólo dumper en turnos 5x2.

A modo de conclusión, se tiene que existe una potencial oportunidad de mejorar las operaciones unitarias de perforación y tronadura para aumentar la producción en un 25%. De la misma manera las operaciones de carguío y transporte permiten alcanzar niveles de producción de 10.000 [t/mes] y 15.000 [t/mes], con una reducción en costos en el periodo de los dos años de 310 [kUSD].

ABSTRACT

The present study was carried out at Minera Rafaela, which is in the Cabildo district in the V Region of Chile. Minera Rafaela, at the time of the study, was mining approximately 5.000 [t/month] of copper sulfide ores.

Minera Rafaela's objectives in the medium and long term are to reach production goals of 10.000 [t/month] and 15.000 [t/month]. This increase in production is carried out by starting the exploitation of neighboring mines, agreed through specific contracts. To achieve these productions, it is necessary to adapt the unit operations of the site, which must be aligned with the reduction of costs associated with these operations.

The scope of this report includes drilling, blasting, loading and transportation within the mine. For drilling and blasting, only a better use of the implemented method will be studied. For the loading and transport, only what covers from the work face to the transfer ore passes will be included. Transportation at the hauling or main level to the surface, from the ore passes or stockpile to the plant is excluded.

Drilling is done using pneumatic drills. Blasting is done using traditional ANFO explosives and CN 7/8"x8" or 1"x8" cartridges are used as initiator. Loading is carried out using a 7 [yd³] or equivalent to 10 [t] capacity LHD. Transportation is carried out using a 16.8 [yd³] or equivalent to 24 [t] capacity dumper.

For drilling and blasting, it is proposed to change the job shifts from 5x2 to 7x7, in addition to going from 5 [Rounds/Week] per pair to 6 [Rounds/Week] per equivalent pair. On the other hand, for loading and transportation it is also proposed to change the shifts from 5x2 to 7x7. In addition, it is evaluated to change the dumper transport equipment for dump trucks in sectors where it is possible.

Within the analysis of results, it is observed that, with the proposed case of drilling and blasting, there is a potential opportunity to increase production per drilling pair from 918 [t/month] to 1.150 [t/month]. In addition, when operating with 6, 8, 10, 12 and 14 drilling pairs, there is a productive increase in the operation of 1.395 [t/month], 1.860 [t/month], 2.325 [t/month], 2.790 [t/month] and 3.255 [t/month], respectively. On the other hand, from the sensitivity analysis of the proposed case, it was observed that if 11, 13 and 14 [Rounds/Week] were performed per pair, the yield would be 1.054 [t/month], 1.246 [t/month] and 1.342 [t/month] per pair, respectively.

For the loading and transport operations, the Present Cost Value (PCV) of different combinations was calculated. Depending on the geological reserves, the design and the mining program, for year 1 a production level of 10.000 [t/month] is considered and for year 2 a production level of 15.000 [t/month]. In this case, it was observed that the best option is to use dump trucks together in conjunction with a dumper in 7x7 shifts, since a lower PCV is obtained by 41,1% compared to using only dumper in 5x2 shifts.

In conclusion, here is a potential opportunity to improve unit drilling and blast operations to increase production by 25%. In the same way, the loading and transportation operations allow reaching production levels of 10.000 [t/month] and 15.000 [t/month], with a reduction in operating expense in the two-year period of 310 [kUSD].

AGRADECIMIENTOS

Primero que nada y por, sobre todo, quiero agradecer a mi mamá y a mi papá, ya que sin su incondicional apoyo y confianza en mí este sueño de ser un profesional no habría sido posible. Además, que sin sus enseñanzas y valores no sería el hombre que soy hoy en día. Muchas gracias por todo.

Quiero también agradecer a mis hermanos, el tobi, el chino y el seba, los cuales siempre han estado para mí cuando necesito de su ayuda o apoyo. Muchas gracias, hermanos.

A mis tíos y primos que de una u otra forma fueron parte de esta etapa en mi vida.

A los amigos de la vida que siempre están cuando se les necesita.

A mis amigos plan comuneros y mineros con los cuales pasamos muchas horas de estudio juntos y muchas apagadas de tele en las más diversas reuniones sociales.

A Fernando Silva y a Minera Rafaela por permitirme realizar mi memoria de título en sus dependencias.

A la comisión de mi memoria, por toda la ayuda recibida.

A la Congregación Franciscana, la cual mediante sus hogares universitarios permiten que, al igual que yo, muchos jóvenes puedan cumplir con su sueño de ser un profesional.

A Claudia Tzanis y a la señora María, las cuales fueron los pilares fundamentales del Hogar Fray Luis Orellana, donde viví por 6 años durante mis estudios universitarios en Santiago.

TABLA DE CONTENIDO

Capítulo 1: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes.....	2
1.1.1 Geología.....	2
1.1.2 Minería.....	2
1.1.3 Minera Rafaela y Sectores Cercanos.....	3
1.2 Motivación del Trabajo.....	3
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 Objetivo General.....	3
1.3.2 Objetivos Específicos:.....	3
1.4 Alcances.....	4
1.5 Estructura.....	5
Capítulo 2: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	6
2.1 Distribución de Tiempos ASARCO.....	6
2.1.1 Definición de Tiempos.....	6
2.1.2 Índices Operacionales de Gestión.....	7
2.2 Operaciones Unitarias.....	7
2.2.1 Perforación.....	8
2.2.2 Tronadura.....	8
2.2.3 Extracción y Carguío en Minería Subterránea.....	9
2.2.4 Transporte en Minería Subterránea.....	13
2.2.5 Fortificación.....	15
3.2 Indicadores Económicos.....	16
Capítulo 3: METODOLOGÍA.....	17
3.1 Recolección de Datos.....	17
3.2 Planteamiento del Caso Base.....	17
3.3 Identificación de Oportunidades de Mejoras.....	17
3.4 Propuesta de Mejora.....	17
3.5 Cuantificación del Impacto del Caso Propuesto.....	17
Capítulo 4: RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	18
4.1 Recolección de Datos.....	18
4.2 Perforación y Tronadura.....	18
4.2.1 Características Operacionales de la Perforación y Tronadura.....	18
4.2.2 Identificación de Oportunidades de Mejoras.....	21
4.2.3 Propuesta de Mejora.....	22

4.3	Carguío y Transporte	25
4.3.1	Características Operacionales del Carguío y Transporte.....	25
4.3.2	Distribución de Tiempos ASARCO	26
4.3.3	Índices Operacionales.....	29
4.3.4	Tiempo de Ciclo	30
4.3.5	Cumplimiento de Meta Productiva.....	32
4.3.5	Identificación de Oportunidades de Mejoras.....	33
4.3.6	Propuesta de Mejora	33
Capítulo 5: CONCLUSIONES		45
Capítulo 6: BIBLIOGRAFÍA		46
Capítulo 7: ANEXOS		47
7.1	Velocidades de Perforación	47
7.2	Dimensiones por Disparo.....	71
7.3	Tiempos Según Norma ASARCO	76
7.4	Velocidades de los Equipos de Carguío y Transporte	81
7.5	Circuitos de Carguío	84

Índice de Tablas

<i>Tabla 1: Resumen de las velocidades de perforación con barra de 1,2 [m] de las 6 parejas perforistas.</i>	18
<i>Tabla 2: Resumen de las velocidades de perforación con barra de 2,4 [m] de las 6 parejas perforistas.</i>	19
<i>Tabla 3: Dimensión promedio por disparo.</i>	20
<i>Tabla 4: Tiempo de ciclo de las operaciones de perforación y tronadura para 20 tiros por disparo.</i>	21
<i>Tabla 5: Tiempo de ciclo de las operaciones de perforación y tronadura para 40 tiros por disparo.</i>	22
<i>Tabla 6: Dimensionamiento de parejas perforistas para metas de 10.000 [t/mes] y 15.000 [t/mes].</i>	23
<i>Tabla 7: Producción para distintas cantidades de parejas perforistas.</i>	23
<i>Tabla 8: Velocidad de movimiento para el LHD y dumper.</i>	25
<i>Tabla 9: Consumo de petróleo del LHD y el dumper.</i>	25
<i>Tabla 10: Parámetros para calcular la capacidad del balde del LHD.</i>	25
<i>Tabla 11: Tiempo promedio diario dedicado a las mantenciones de los equipos LHD y dumper.</i>	26
<i>Tabla 12: Tiempo promedio diario en que el LHD y el dumper están en reserva.</i>	27
<i>Tabla 13: Demoras no programadas para el LHD y dumper.</i>	28
<i>Tabla 14: Perdidas Operacionales del LHD y dumper.</i>	28
<i>Tabla 15: Tiempos del ciclo del LHD que son fijos.</i>	31
<i>Tabla 16: Tiempos del ciclo del dumper que son fijos.</i>	32
<i>Tabla 17: Perdidas operacionales promedio diaria para los equipos LHD y dumper para cumplir las metas de 10.000 [t/mes] y 15.000 [t/mes], utilizando el turno propuesto.</i>	35
<i>Tabla 18: Tiempo efectivo de los equipos LHD y dumper para cumplir las metas de 10.000 [t/mes] y 15.000 [t/mes], utilizando el turno propuesto.</i>	35
<i>Tabla 19: UBED de los equipos LHD y dumper para cumplir las metas de 10.000 [t/mes] y 15.000 [t/mes], utilizando el turno propuesto.</i>	36
<i>Tabla 20: Comparación de la UEBD del LHD entre los turnos 5x2 y 7x7.</i>	36
<i>Tabla 21: Equipos LHD y dumper operativos necesarios para cumplir la meta productiva de 10.000 [t/mes].</i>	37
<i>Tabla 22: Equipos LHD y dumper operativos necesarios para cumplir la meta productiva de 15.000 [t/mes].</i>	37
<i>Tabla 23: Flota de equipos LHD y dumper necesaria para cumplir la meta productiva de 10.000 [t/mes].</i>	38
<i>Tabla 24: Flota de equipos LHD y dumper necesaria para cumplir la meta productiva de 15.000 [t/mes].</i>	38
<i>Tabla 25: Rendimiento de los equipos de carguío y transporte en turnos 5x2 y 7x7.</i>	39
<i>Tabla 26: Flota de equipos de carguío y transporte para cumplir meta de 10.000 [t/mes].</i>	40
<i>Tabla 27: Flota de equipos de carguío y transporte para cumplir meta de 15.000 [t/mes].</i>	40
<i>Tabla 28: Parámetros para calcular el VAC de las distintas combinaciones de carguío y transporte.</i>	41
<i>Tabla 29: Inversiones y costos operacionales para las distintas combinaciones de carguío y transporte.</i>	41
<i>Tabla 30: VAC de las distintas combinaciones de carguío y transporte.</i>	42

<i>Tabla 31: Sensibilidad de la flota de equipos de carguío y transporte en función de las distancias para una producción de 10.000 [t/mes].</i>	43
<i>Tabla 32: Sensibilidad de la flota de equipos de carguío y transporte en función de las distancias para una producción de 15.000 [t/mes].</i>	43
<i>Tabla 33: Velocidades de perforación con barra de 1,2 [m] de la pareja perforista 1.</i>	47
<i>Tabla 34: Velocidades de perforación con barra de 2,4 [m] de la pareja perforista 1.</i>	50
<i>Tabla 35: Velocidades de perforación con barra de 1,2 [m] de la pareja perforista 2.</i>	52
<i>Tabla 36: Velocidades de perforación con barra de 2,4 [m] de la pareja perforista 2.</i>	54
<i>Tabla 37: Velocidades de perforación con barra de 1,2 [m] de la pareja perforista 3.</i>	56
<i>Tabla 38: Velocidades de perforación con barra de 2,4 [m] de la pareja perforista 3.</i>	59
<i>Tabla 39: Velocidades de perforación con barra de 1,2 [m] de la pareja perforista 4.</i>	62
<i>Tabla 40: Velocidades de perforación con barra de 2,4 [m] de la pareja perforista 4.</i>	64
<i>Tabla 41: Velocidades de perforación con barra de 1,2 [m] de la pareja perforista 5.</i>	66
<i>Tabla 42: Velocidades de perforación con barra de 2,4 [m] de la pareja perforista 5.</i>	68
<i>Tabla 43: Velocidades de perforación con barra de 1,2 [m] de la pareja perforista 6.</i>	70
<i>Tabla 44: Velocidades de perforación con barra de 2,4 [m] de la pareja perforista 6.</i>	70
<i>Tabla 45: Tiros por disparo de las 6 parejas perforistas.</i>	71
<i>Tabla 46: Dimensiones de los disparos.</i>	73
<i>Tabla 47: Tiempo de mantenciones de los equipos LHD y dumper.</i>	76
<i>Tabla 48: Tiempos de reservas de los equipos LHD y dumper.</i>	78
<i>Tabla 49: Tiempos de demoras de los equipos LHD y dumper.</i>	79
<i>Tabla 50: Mediciones para calcular la velocidad media vacío del dumper.</i>	81
<i>Tabla 51: Mediciones para calcular la velocidad media cargado del dumper.</i>	82
<i>Tabla 52: Mediciones para calcular la velocidad media vacío del LHD.</i>	83
<i>Tabla 53: Mediciones para calcular la velocidad media cargado del LHD.</i>	83

Índice de Ecuaciones

<i>Ecuación 1: Fórmula para calcular el Tiempo Disponible, según Norma ASARCO.</i>	6
<i>Ecuación 2: Fórmula para calcular el Tiempo Operativo, según Norma ASARCO.</i>	6
<i>Ecuación 3: Fórmula para calcular el Tiempo Efectivo, según Norma ASARCO.</i>	7
<i>Ecuación 4: Fórmula para calcular la Disponibilidad Mecánica.</i>	7
<i>Ecuación 5: Fórmula para calcular la Utilización Efectiva en Base a Disponibilidad.</i>	7
<i>Ecuación 6: Fórmula para calcular la capacidad de carga de un LHD.</i>	10
<i>Ecuación 7: Fórmula para calcular el tiempo de ciclo de un LHD con descarga en piso o pique de traspaso.</i>	10
<i>Ecuación 8: Fórmula para calcular la cantidad de ciclos necesarios para llenar la tolva del camión.</i>	11
<i>Ecuación 9: Fórmula para calcular el tiempo de ciclo para llenar un camión con un LHD.</i>	11
<i>Ecuación 10: Fórmula para calcular los ciclos por hora que puede realizar un LHD.</i>	11
<i>Ecuación 11: Fórmula para calcular el rendimiento de un LHD.</i>	11
<i>Ecuación 12: Fórmula para calcular el número de LHD operativos necesarios para cumplir con una meta productiva determinada.</i>	12
<i>Ecuación 13: Fórmula para calcular la flota de LHD que una faena necesita para cumplir con una meta productiva.</i>	12
<i>Ecuación 14: Fórmula para calcular la capacidad de transporte de un dumper.</i>	13
<i>Ecuación 15: Fórmula para calcular el tiempo de ciclo del dumper.</i>	13
<i>Ecuación 16: Fórmula para calcular la flota de dumpers necesarios para saturar un LHD.</i>	14
<i>Ecuación 17: Fórmula para calcular la flota de dumpers necesarios para saturar todos los LHD operativos.</i>	14
<i>Ecuación 18: Fórmula para calcular el VAN de un proyecto.</i>	16
<i>Ecuación 19: Fórmula para calcular el VAC de un proyecto.</i>	16
<i>Ecuación 20: Tiempo de ciclo del LHD en Minera Rafaela.</i>	30
<i>Ecuación 21: Tiempo de ciclo del dumper en Minera Rafaela.</i>	31
<i>Ecuación 22: Tiempo de ciclo del camión tolva en Minera Rafaela.</i>	38

Índice de Figuras

<i>Figura 1: Cadena de valor para el proceso productivo en minería subterránea para minerales sulfurados.</i>	1
<i>Figura 2: Ubicación de la Mina Rafaela.</i>	2
<i>Figura 3: Distribución de tiempos según la norma ASARCO. [Fuente: Norma ASARCO]</i>	6
<i>Figura 4: Equipo LHD Sandvik modelo Toro 007. [Fuente: SANDVIK]</i>	9
<i>Figura 5: Equipo Dumper DUX DT-24. [Fuente: DUX MACHINERY CORPORATION]</i>	13
<i>Figura 6: Velocidades de perforación con barra de 1,2 [m].</i>	19
<i>Figura 7: Velocidades de perforación con barra de 2,4 [m].</i>	20
<i>Figura 8: Producción para distintas cantidades de parejas perforistas.</i>	24
<i>Figura 9: Sensibilidad del rendimiento por pareja perforista.</i>	24
<i>Figura 10: Tiempos ASARCO para los equipos LHD en Minera Rafaela con turnos 5x2.</i>	29
<i>Figura 11: Tiempos ASARCO para los equipos dumper en Minera Rafaela con turnos 5x2.</i>	29
<i>Figura 12: Tiempos ASARCO para los equipos LHD en Minera Rafaela con turnos 7x7.</i>	36
<i>Figura 13: Tiempos ASARCO para los equipos dumper en Minera Rafaela con turnos 7x7.</i>	36
<i>Figura 14: VAC de las distintas combinaciones de carguío y transporte.</i>	42
<i>Figura 15: Sensibilidad del VAC.</i>	44
<i>Figura 16: Ejemplo 1 de circuito de carguío.</i>	84
<i>Figura 17: Ejemplo 2 de circuito de carguío.</i>	85

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

La cadena de valor para la minería subterránea, específicamente en la explotación de minerales sulfurados de cobre, se compone por la secuencia de perforación, tronadura, carguío, transporte, chancado, molienda, flotación, fusión, conversión y electro refinación (Figura 1).

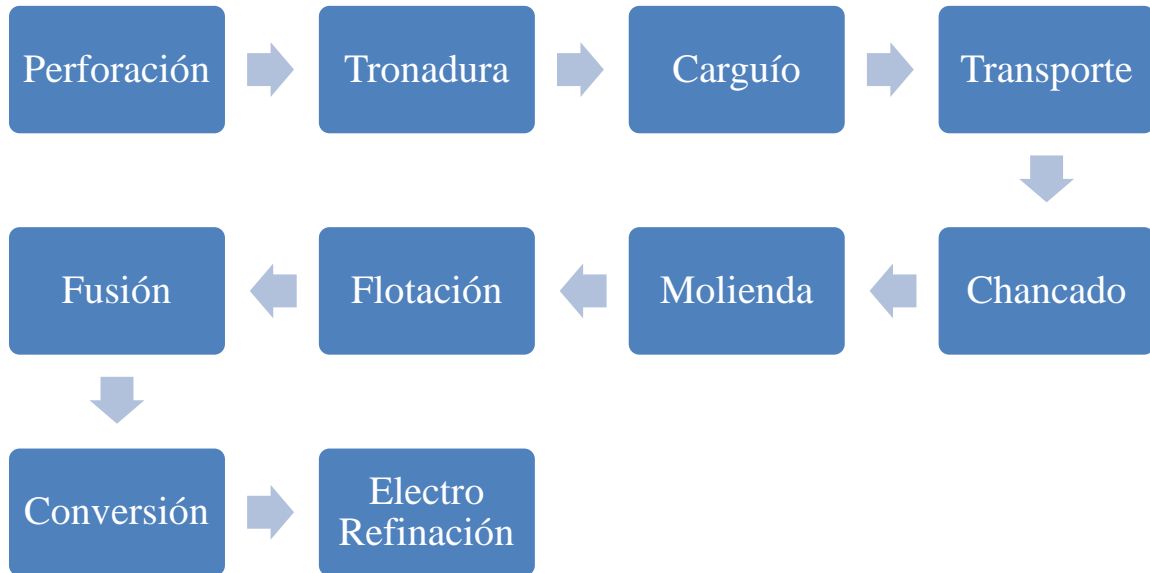


Figura 1: Cadena de valor para el proceso productivo en minería subterránea para minerales sulfurados.

Dentro de la industria de la minería subterránea, uno de los principales factores críticos son las operaciones unitarias de perforación, tronadura, carguío y transporte, es por esto, que utilizar de manera óptima los equipos y el recurso humano disponible, generará una mejora significativa en la productividad y con esto un aumento considerable en la rentabilidad de una empresa minera. Este hecho es aún más notorio en la pequeña y mediana minería, donde existen pocos equipos operando, por lo cual, cada uno de ellos es responsable de un gran porcentaje de la producción total de la mina. Por esta razón, es que las empresas mineras generan grandes esfuerzos en encontrar los puntos críticos de cada operación, con el fin de poder reducir las ineficiencias en cada proceso, ya sea de manera individual o como un sistema de operaciones en conjunto.

1.1 Antecedentes

Mina Rafaela es una faena que explota sulfuros cobre con subproductos de plata mediante minería subterránea, la cual está ubicada en la V región de Chile en la comuna de Cabildo. En esta faena se extraen aproximadamente 5.000 toneladas de mineral mensualmente, del cual la venta de este está dividida entre el poder comprador de Enami y Minera Las Cenizas S.A., ambos ubicados en Cabildo.

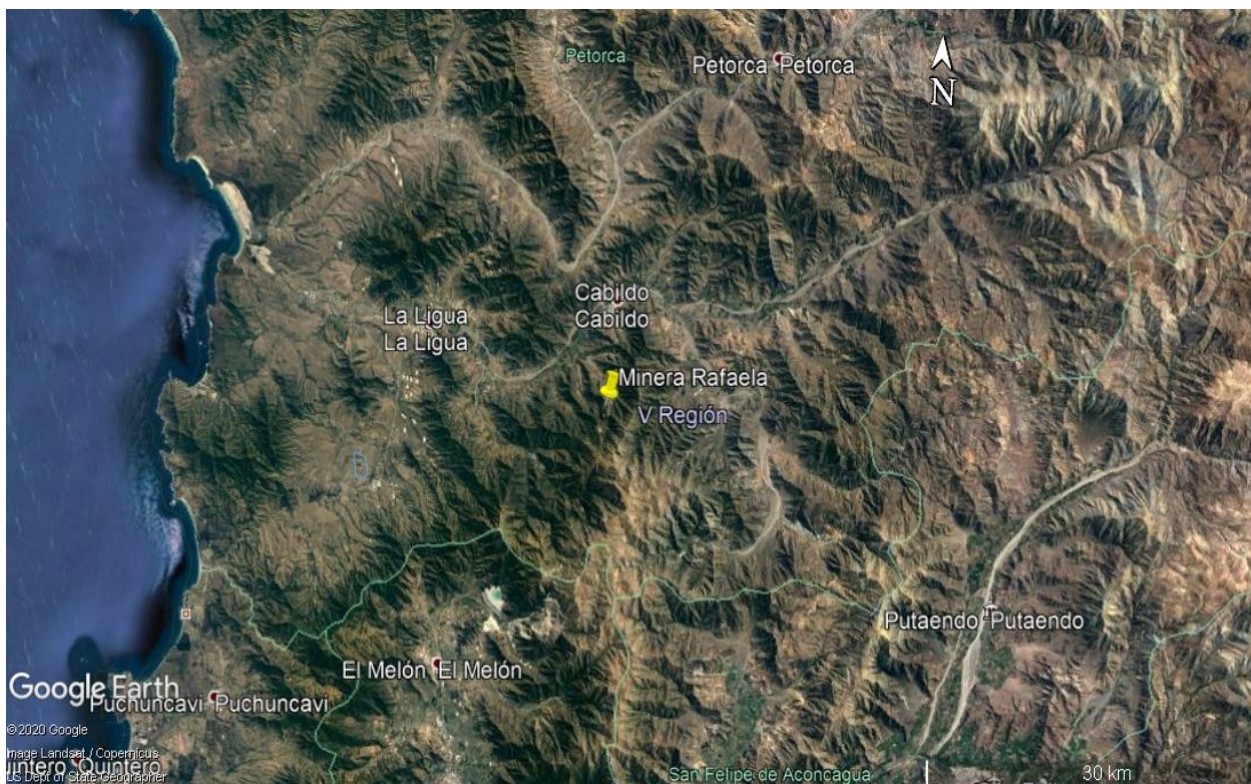


Figura 2: Ubicación de la Mina Rafaela.

1.1.1 Geología

Mina Rafaela corresponde a una explotación de un yacimiento que posee ciertas características que lo asemejan a un estratoligado de cobre y plata. Se caracteriza, como todos los yacimientos de este tipo, por alojar su mineralización en niveles estratificados de origen volcánico, infrayacentes a una capa superior estratificada de origen sedimentario. La mineralización más abundante del yacimiento corresponde a calcopirita, seguida en menor cantidad por bornita, covelina y escasamente calcosina hipógena. La mineralización se ve distribuida en cercanías a vetas, las cuales corresponden a fallas normales previas, y en cercanías a diques andesíticos que, a modo de interpretación, se presentan como camino a los fluidos hidrotermales.

1.1.2 Minería

Considerando la geología del yacimiento, la cual está compuesta por mantos y vetas mineralizadas, esta mina se explota mediante un método combinado de Room and Pillar y Shrinkage Stopping.

1.1.3 Minera Rafaela y Sectores Cercanos

A través de ciertos acuerdos, Minera Rafaela ha sido contratada por compañías vecinas para explotar algunos yacimientos adyacentes y colindantes. Estos yacimientos comparten las mismas vetas y mantos mineralizados, además, las pertenencias de ambas minas son contiguas. Esto último, permite que Minera Rafaela pueda, según un tipo de contrato determinado, explotar dichos recursos mineros y naturalmente utilizar todas las labores de infraestructuras disponibles, mediante lo cual se obtienen diversas sinergias.

1.2 Motivación del Trabajo

Minera Rafaela comenzó la explotación en 2004, desde ese entonces hasta el día de hoy ha estado en constante expansión y mejoramiento de sus operaciones, junto con lo anterior se ha visualizado un aumento continuo en su producción, partiendo solamente con 200 [t/mes] de mineral explotado hasta las 5.000 [t/mes] aprox. que se extraen en la mina en la actualidad. Además, existe un acuerdo entre Minera Rafaela y compañías vecinas, lo cual significa que Minera Rafaela debe adaptar sus operaciones para poder explotar ambas minas en conjunto y de esta forma aumentar su producción total. Lo antes mencionado indica el estado de transición en que está la faena, pasando de pequeña a media minería en producción. Es por esta razón que la mina en su objetivo de seguir con su mejoramiento global necesita optimizar específicamente las distintas operaciones unitarias presentes en la faena. Para lo anterior es clave encontrar y evaluar las distintas ineficiencias y oportunidades de mejora cada proceso.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar estrategias de mejoras en las operaciones unitarias de perforación, tronadura, carguío y transporte en la mina subterránea Rafaela, con el fin de reducir costos y aumentar la producción.

1.3.2 Objetivos Específicos:

- Identificar los índices y características operacionales de las operaciones unitarias de perforación, tronadura, carguío y transporte.
- Identificar ineficiencias y oportunidades de mejoras en las operaciones unitarias de perforación, tronadura, carguío y transporte.
- Desarrollar una propuesta de mejora para las operaciones unitarias de perforación, tronadura carguío y transporte, de forma separada y en conjunto.

1.4 Alcances

Los alcances de esta memoria son las siguientes:

- Las operaciones unitarias en estudio son la perforación, tronadura, carguío y transporte.
- Para el estudio no se considerará cambiar el tipo de perforación y tronadura, solo se propondrá un mejor uso de los equipos y personal disponibles.
- Se considera solo el transporte en el interior mina, lo que abarca desde el punto de carguío hasta un pique de traspaso o acopio en el exterior de la mina. El transporte en el nivel de acarreo o principal a superficie, desde el pique de traspaso o acopio de mineral hasta la planta de procesamiento queda excluido.
- El equipo de carguío debe esperar con la pala cargada al equipo de transporte sin acopios intermedios. Esto queda definido previamente por la faena.
- Se considera que la totalidad del movimiento de material corresponde a roca mineralizada, ya que los desarrollos en estéril son mínimos dentro de la explotación de la mina. Como máximo se realiza un disparo mensual en estéril y el material es depositado en el botadero, por lo cual, no afecta la alimentación a planta.
- Se analizarán la utilización e ineficiencias tanto de equipos como de recurso humano.
- Se evaluará el rendimiento y costo asociado a las distintas operaciones unitarias en estudio.

1.5 Estructura

Ya habiendo presentado el tema, los antecedentes, los objetivos y alcances de este trabajo, se realizará una breve descripción de los siguientes capítulos desarrollados

En el Capítulo 2: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA, se presenta los conceptos básicos obtenidos de la literatura, relacionados con tipos de perforación y tronadura, fortificación, índices operacionales y cálculos de flotas de equipos de carguío y transporte en minería subterránea, los cuales darán sustento teórico al desarrollo de este trabajo.

En el Capítulo 3: METODOLOGÍA, se presenta la metodología utilizada para desarrollar el trabajo y obtener los resultados.

En el Capítulo 4: RESULTADOS Y ANÁLISIS, se presenta los resultados obtenidos con sus respectivos análisis.

Finalmente, en el

Capítulo 5: CONCLUSIONES, se presenta las conclusiones derivadas del análisis realizado en el capítulo anterior y se propondrán recomendaciones para estudios futuros del mismo tema.

CAPÍTULO 2: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Distribución de Tiempos ASARCO

La norma ASARCO (American Smelting & Refining Co.) es el marco de referencia utilizado para la definición de conceptos y distribución de los tiempos en que el equipo, máquina o instalación incurren durante la operación. Con los adecuados ajustes a la realidad operacional de la mina, pondera una serie de variables y proporciona indicadores del comportamiento y rendimiento de los equipos empleados en la extracción, beneficio e industrialización de los minerales. En la *Figura 3* se muestra, a modo general, la distribución de tiempos según la norma ASARCO.

Tiempo Nominal			
Tiempo Disponible			Fuera de Servicio (M/R)
			Programadas
			Imprevistos
Tiempo Operativo		Reservas	
Tiempo Efectivo	Pérdidas Operacionales	Demoras	
		Progr.	No Progr.

Figura 3: Distribución de tiempos según la norma ASARCO. [Fuente: Norma ASARCO]

2.1.1 Definición de Tiempos

- **Tiempo Nominal:** Espacio de tiempo en que se produce la medición (espacio muestral). Este dependerá del tiempo de continuidad de la faena productiva.
- **Fuera de Servicio:** Espacio de tiempo en que se encuentra el equipo fuera de servicio o no disponible, ya sea, por una mantención programada o imprevistos de tipo mecánico o eléctrico.
- **Tiempo Disponible:** Espacio de tiempo en que el equipo se encuentra mecánicamente habilitado para cumplir con su función de diseño. Este tiempo se calcula con la fórmula de la *Ecuación 1*.

$$\text{Tiempo Disponible} = \text{Tiempo Nominal} - \text{Fuera de Servicio}$$

Ecuación 1: Fórmula para calcular el Tiempo Disponible, según Norma ASARCO.

- **Reservas:** Espacio de tiempo en que el equipo se encuentra mecánicamente apto para cumplir su función de diseño no teniendo operador que lo utilice, o que bajo una condición específica del avance de la operación no pueda ser operado.
- **Tiempo Operativo:** Espacio de tiempo en que el equipo se encuentra mecánicamente apto, con operador y cumpliendo con las actividades asociadas a la operación. Este tiempo se calcula con la fórmula de la *Ecuación 2*.

$$\text{Tiempo Operativo} = \text{Tiempo Disponible} - \text{Reservas}$$

Ecuación 2: Fórmula para calcular el Tiempo Operativo, según Norma ASARCO.

- **Demoras Programadas:** Tiempo de detenciones programadas.
- **Demoras No Programadas:** Tiempo de detenciones no programadas, donde no se sabe cuánto durarán.
- **Perdidas Operacionales:** Tiempo en que el equipo se encuentra esperando.
- **Tiempo Efectivo:** Espacio de tiempo en que el equipo se encuentra desarrollando las actividades específicas para las cuales ha sido adquirido en la organización. Este tiempo se calcula con la fórmula de la *Ecuación 3*.

$$\text{Tiempo Efectivo} = \text{Tiempo Operativo} - \text{Perdidas operacionales} - \text{Demoras}$$

Ecuación 3: Fórmula para calcular el Tiempo Efectivo, según Norma ASARCO.

2.1.2 Índices Operacionales de Gestión

- **Disponibilidad Mecánica (DM):** Es el porcentaje de horas nominales en que la flota, equipo, máquina o instalación, estuvo en condiciones mecánicas y/o eléctricas de ser operado. El indicador establece la capacidad de la función de mantenimiento y establece el marco de referencia funcional que deberá enfrentar la operación. En la *Ecuación 4* se muestra la fórmula para su cálculo.

$$DM[\%] = \frac{\text{Tiempo Nominal} - \text{Fuera de Servicio}}{\text{Tiempo Nominal}} \times 100$$

Ecuación 4: Fórmula para calcular la Disponibilidad Mecánica.

- **Utilización Efectiva en Base a Disponibilidad (UEBD):** Es el porcentaje de horas disponibles en que la flota, equipo, máquina o instalación, se encuentra efectivo. El indicador provee información sobre la eficiencia operacional del proceso. En la *Ecuación 55* se muestra la fórmula para su cálculo.

$$UEBD[\%] = \frac{\text{Tiempo Efectivo}}{\text{Tiempo Disponible}} \times 100$$

Ecuación 5: Fórmula para calcular la Utilización Efectiva en Base a Disponibilidad.

2.2 Operaciones Unitarias

Dentro de una faena minera subterránea existen distintos procesos con su objetivo específico, los cuales se denominan operaciones unitarias. Cada operación unitaria presenta un ciclo productivo característico, compuesto por una serie de maniobras y actividades que se representan dentro de los tiempos de ASARCO. Utilizando la Norma ASARCO y sus respectivos índices de gestión, es posible analizar y evaluar la eficiencia de cada una de las operaciones unitarias presentes en el negocio minero.

Considerando los alcances de este estudio, se evalúan y analizan las operaciones unitarias de perforación, tronadura, carguío y transporte en interior mina en minería subterránea. A continuación, se describen las distintas actividades que conforman los ciclos de estas operaciones unitarias.

2.2.1 Perforación

La perforación es la operación unitaria que tiene como objetivo generar huecos en el macizo rocoso, con una distribución y geometría específica, donde se alojarán las cargas explosivas.

2.2.1.1 Tipos de Perforación

- **Perforación Manual:** Este tipo de perforación se realiza mediante el uso de un barreno con la finalidad de facilitar su extracción y rotación. El barreno es sostenido por el ayudante, mientras que el otro golpea con una comba, luego se gira en cierto ángulo para proseguir con el proceso de perforación.
- **Perforación Neumática:** Este tipo de perforación se lleva a cabo mediante el uso de una perforadora convencional. La energía utilizada en el proceso proviene de aire comprimido. En cada golpe que la perforadora da al barreno y mediante el giro automático la roca va desgastándose poco a poco.
- **Perforación Eléctrica:** Este tipo de perforación se realiza mediante el empleo de un generador eléctrico que se conecta a una perforadora con un barreno helicoidal, el cual puede realizar tiros de hasta 90 [cm] de longitud.
- **Perforación Hidráulica:** Se realiza mediante el empleo de equipos altamente sofisticados, robotizados, de gran capacidad de avance. Utiliza energía hidráulica para la transmisión, control de fuerzas y movimientos en la perforación. Además, cuenta con un tablero de control computarizado, equipado con un software de perforación.

2.2.2 Tronadura

La operación unitaria de tronadura tiene como objetivo el arranque del mineral desde el macizo rocoso, aprovechando de la mejor forma posible la energía liberada por el explosivo colocado en los tiros realizados en la operación de perforación. El mejor aprovechamiento se obtiene al aplicar la energía justa y necesaria para generar una buena fragmentación del mineral, evitando daños en las cajas y techo de la labor minera.

2.2.2.1 Elementos de la Tronadura

- **Cebo o Prima:** El cebo o prima es el conjunto formado por un explosivo secundario (dinamita), y un fulminante que se inserta en él, utilizado para iniciar la detonación de la carga explosiva.
- **Mecha de Seguridad o Guía de Fuego:** Este elemento tiene como objetivo transmitir al fulminante, el fuego aplicado con un encendedor o fosforo. La guía consiste en un cordón continuo en cuyo centro se ubica la pólvora protegida por varias capas de diferentes materiales, como papel impermeabilizante, hilo de algodón, brea, material plástico, etc.
- **Nonel:** En lugar de preparar un cebo se puede usar un nonel, que es un iniciador no eléctrico, formado por un fulminante conectado a un tubo capaz de conducir una onda explosiva.

- El uso de noneles requiere de un explosivo secundario de alta velocidad (por ejemplo, la dinamita).
- Todos los noneles se deben unir con una línea de cordón detonante que se conecta a su vez con un fulminante a fuego.
- Al manipular los noneles, éstos no deben golpearse ya que podría provocarse una iniciación prematura o la pérdida del accesorio.

2.2.3 Extracción y Carguío en Minería Subterránea

Esta operación unitaria corresponde al uso de un equipo de carguío (Ejemplo: LHD) para cargar en equipos de transporte (Ejemplo: Camiones) el material disponible en una frente.

2.2.3.1 Equipo LHD

El LHD es un equipo utilizado en minería subterránea, el cual puede cumplir las funciones de cargar, transportar y descargar. Dentro de sus características principales se tiene lo siguiente:

- Pequeños radios de giro.
- Pequeños en altura y ancho.
- Gran capacidad de tolva (pala).
- Buena velocidad de desplazamiento.
- Puede descargar en camiones, piques de traspaso y piso.
- Existen LHD Diesel, eléctricos e híbridos.



Figura 4: Equipo LHD Sandvik modelo Toro 007. [Fuente: SANDVIK]

2.2.3.2 Capacidad del Equipo LHD

Para calcular la capacidad que puede cargar un equipo LHD por ciclo se utiliza la fórmula de la *Ecuación 6*.

$$C_{LHD} = \frac{C_{balde} \times F_{llenado} \times \rho}{1 + \varepsilon}$$

Ecuación 6: Fórmula para calcular la capacidad de carga de un LHD.

Donde:

- C_{LHD} : Capacidad del equipo de carguío [t].
- C_{balde} : Capacidad del balde [m^3].
- $F_{llenado}$: Factor de llenado.
- ρ : Densidad de la roca [t/m^3].
- ε : Esponjamiento del material.

2.2.3.3 Cálculo de Flota de LHD

Para el cálculo de la flota de LHD necesaria en una mina subterránea, primeramente, se debe calcular el tiempo de ciclo del equipo. Para este cálculo es necesario hacer la distinción si el LHD descargará en el piso o pique o si cargará un camión. Para el primer caso el tiempo de ciclo se calcula con la *Ecuación 7*.

$$t_{ciclo} = t_{carga} + t_{viaje\ cargado} + t_{descarga} + t_{viaje\ vacio} + t_{maniobra}$$

Ecuación 7: Fórmula para calcular el tiempo de ciclo de un LHD con descarga en piso o pique de traspaso.

Donde:

- t_{ciclo} : Corresponde al tiempo del ciclo completo que debe realizar el LHD.
- t_{carga} : Corresponde al tiempo que le toma al equipo LHD extraer el material proveniente de una frente de explotación.
- $t_{viaje\ cargado}$: Corresponde al tiempo empleado por el LHD para transportar el material desde la frente de trabajo hasta el piso o pique de destino.
- $t_{descarga}$: Corresponde al tiempo que se demora el LHD en descargar en el pique o piso.
- $t_{viaje\ vacio}$: Corresponde al tiempo empleado por el LHD en moverse sin carga desde el pique o piso hasta la frente de trabajo.
- $t_{maniobra}$: Corresponde al tiempo que le toma al LHD realizar las maniobras previas a la carga de material, darse vuelta si es necesario, esperar en intersecciones, etc.

Para el caso de carga de un camión es necesario calcular la cantidad de ciclos con la que se llena la tolva de este. Este cálculo se realiza con la *Ecuación 8*.

$$N_{\text{camión}} = \frac{C_c}{C_{LHD}}$$

Ecuación 8: Fórmula para calcular la cantidad de ciclos necesarios para llenar la tolva del camión.

Donde:

- $N_{\text{camión}}$: Número de ciclos para llenar el camión.
- C_c : Capacidad del camión [t].
- C_{LHD} : Capacidad del balde del LHD [t].

Luego con la *Ecuación 9* se calcula el tiempo de ciclo para llenar un camión.

$$T_{\text{llenado-camion}} = N_{\text{camión}}(T_1 + T_2 + T_3 + T_4)$$

Ecuación 9: Fórmula para calcular el tiempo de ciclo para llenar un camión con un LHD.

Donde:

- $T_{\text{llenado-camion}}$: Tiempo de ciclo para llenar un camión con un LHD.
- T_1 : Tiempo de carga en la frente de trabajo.
- T_2 : Tiempo de viaje.
- T_3 : Tiempo de descarga en camión.
- T_4 : Tiempo de maniobras y esperas.

Con el tiempo de ciclo calculado se debe determinar los ciclos por hora que puede realizar el LHD. Este cálculo se realiza con la *Ecuación 10*.

$$N_c \left[\frac{\text{Ciclos}}{h} \right] = \frac{60 \left[\frac{\text{min}}{h} \right]}{t_{\text{ciclo}} \left[\frac{\text{min}}{\text{Ciclo}} \right]}$$

Ecuación 10: Fórmula para calcular los ciclos por hora que puede realizar un LHD.

Donde:

- N_c : Número de ciclos que puede realizar un LHD en una hora.
- t_{ciclo} : Tiempo de ciclo del LHD.

Con el número de ciclos cálculo se puede determinar el rendimiento del LHD. Este cálculo se puede realizar con la *Ecuación 11*.

$$R_{LHD} \left[\frac{t}{d} \right] = N_c \left[\frac{\text{Ciclos}}{h} \right] \times C_{LHD} \left[\frac{t}{\text{ciclo}} \right] \times FO \left[\frac{h}{d} \right] \text{UEBD}[\%]$$

Ecuación 11: Fórmula para calcular el rendimiento de un LHD.

Donde:

- R_{LHD} : Rendimiento del LHD.
- N_c : Número de ciclos que puede realizar un LHD en una hora.
- C_{LHD} : Capacidad del LHD.
- FO : Horas de trabajo por día.
- $UEBD$: Utilización efectiva en base a disponibilidad del LHD.

Una vez calculado el rendimiento es posible determinar el número de LHD operativos necesarios para cumplir con un ritmo productivo. Este cálculo se puede realizar con la *Ecuación 12*.

$$N_{LHD,op} = \text{entero superior} \left[\frac{R_{productivo} \left[\frac{t}{d} \right]}{R_{LHD} \left[\frac{t}{d} \right]} \right]$$

Ecuación 12: Fórmula para calcular el número de LHD operativos necesarios para cumplir con una meta productiva determinada.

Donde:

- $N_{LHD,op}$: Cantidad de LHD operativos necesarios para cumplir con ritmo productivo determinado.
- $R_{productivo}$: Ritmo productivo que la faena tiene como meta.
- R_{LHD} : Rendimiento del LHD.

Finalmente, la flota de LHD necesaria para cumplir con una meta productiva en una faena se calcula con la *Ecuación 13*.

$$N_{LHD} = \text{entero superior} \left[\frac{N_{LHD,op}}{DM} \right]$$

Ecuación 13: Fórmula para calcular la flota de LHD que una faena necesita para cumplir con una meta productiva.

Donde:

- N_{LHD} : Flota de LHD necesaria para cumplir con meta productiva.
- $N_{LHD,op}$: Cantidad de LHD operativos necesarios para cumplir con ritmo productivo determinado.
- DM : Disponibilidad mecánica del LHD [%].

2.2.4 Transporte en Minería Subterránea

Esta operación consiste en utilizar un equipo para transportar el material desde un punto de carga a un punto de descarga. Un ejemplo de equipo de transporte es el dumper.

2.2.4.1 Equipo Dumper

El dumper es un equipo de trabajo utilizado en minería subterránea destinado al transporte de materiales dotado de una caja, tolva o volquete basculante para la descarga.



Figura 5: Equipo Dumper DUX DT-24. [Fuente: DUX MACHINERY CORPORATION]

2.2.4.2 Capacidad del Equipo Dumper

Para calcular la capacidad que puede transportar un dumper por ciclo se utiliza la fórmula de la Ecuación 14.

$$C_{Dumper} = \frac{C_{balde} \times F_{llenado} \times \rho}{1 + \varepsilon}$$

Ecuación 14: Fórmula para calcular la capacidad de transporte de un dumper.

Donde:

- C_{Dumper} : Capacidad del equipo de carguío [t].
- C_{balde} : Capacidad del balde [m^3].
- $F_{llenado}$: Factor de llenado.
- ρ : Densidad de la roca [t/m^3].
- ε : Esponjamiento del material.

2.2.4.3 Cálculo de Flota de Dumper

Es común en minería subterránea utilizar LHD para cargar los dumper. Por lo general, es necesario saturar el LHD. En la Ecuación 15 se presenta la fórmula para calcular el tiempo de ciclo del dumper.

$$TCD = TPP + TC + TVC + TPV + TD + TVV + R$$

Ecuación 15: Fórmula para calcular el tiempo de ciclo del dumper.

Donde:

- TCD : Tiempo de ciclo del dumper.
- TPP : Tiempo de posicionamiento de la unidad de carguío.
- TC : Tiempo de carguío.
- TVC : Tiempo de viaje cargado.
- TPV : Tiempo de posicionamiento en lugar de descarga.
- TD : Tiempo de descarga.
- TVV : Tiempo de viaje vacío.
- R : Retrasos.

En la *Ecuación 16* se presenta la fórmula para calcular la flota de dumpers necesarios para saturar un LHD.

$$Dumper_{LHD} = \text{entero superior} \left[\frac{TCD}{(T_{llenado-Dumper} + T_{maniobras}) \times DM \times UEED} \right]$$

Ecuación 16: Fórmula para calcular la flota de dumpers necesarios para saturar un LHD.

Donde:

- $Dumper_{LHD}$: Flota de dumpers necesaria para saturar un LHD.
- TCD : Tiempo de ciclo del dumper.
- $T_{llenado-Dumper}$: Tiempo de carga de un dumper.
- $T_{maniobras}$: Tiempo de maniobras.
- DM : Disponibilidad mecánica del dumper.
- $UEED$: Utilización efectiva en base a disponibilidad del dumper.

En la *Ecuación 17* se presenta la fórmula para calcular la flota de dumpers necesarios para saturar todos los LHD operativos.

$$Flota_{Dumper} = LHD_{op} \times Dumper_{LHD}$$

Ecuación 17: Fórmula para calcular la flota de dumpers necesarios para saturar todos los LHD operativos.

Donde:

- $Flota_{Dumper}$: Flota total de dumpers.
- LHD_{op} : LHDs operativos.
- $Dumper_{LHD}$: Dumper operativos por LHD.

2.2.5 Fortificación

La fortificación es el conjunto de procedimientos que permiten mantener estable las labores cuando su condición no es auto soportante en una mina subterránea.

El rol fundamental de la fortificación es:

- Mantener las labores seguras y con una sección y dimensiones suficientes para la circulación del personal, equipos, aire, etc.
- Impedir el desmoronamiento de material fracturado.
- Disminuir el movimiento de las cajas, techo y piso.
- Mantener la cohesión de los terrenos.

El reconocimiento y tratamiento oportuno del terreno peligroso mediante fortificación, es vital para evitar que se produzcan accidentes, pérdidas en la producción o daños en los equipos.

3.2.5.1 Clasificación de la Fortificación

De acuerdo con el mecanismo de sostenimiento, se distinguen los siguientes tipos de fortificación:

- **Fortificación Activa o Reforzamiento:** Se orienta a restablecer el equilibrio original de los diferentes esfuerzos y, al mismo tiempo, a modificar estructuralmente la roca para hacerla “autosoportable”. Los métodos más empleados son el anclaje de rocas (puntuales o repartidas) y las proyecciones neumáticas de hormigón (shotcrete) o mortero.
- **Fortificación Pasiva:** Es aquella en que, por razones operacionales y de seguridad, no aplica ninguna carga externa al momento de la instalación y sólo trabaja cuando el macizo rocoso experimenta alguna deformación. Los métodos más empleados son la enmaderación, los marcos metálicos (rígidos, deslizantes o articulados), el hormigón armado (vigas - marco de concreto, mampostería), shotcrete y malla.
- **Fortificación Combinada:** Es aquella en que, por razones operacionales y de seguridad, combina soportes y refuerzos. Los métodos más empleados son la enmaderación (reforzada con perfiles metálicos), los marcos de acero - pernos de anclaje y shotcrete, el hormigón proyectado (reforzado con cerchas o perfiles metálicos), y el shotcrete con pernos de anclaje y mallas de acero. Los soportes se deben ubicar de manera uniforme, sistemática y a intervalos apropiados.

3.2 Indicadores Económicos

Los indicadores económicos tienen como finalidad dar una valorización cuantificable a un proyecto, en función de distintos criterios.

Valor Actual Neto (VAN): Mide la variación de la riqueza del accionista considerando el costo de oportunidad de similar riesgo. En la *Ecuación 18* se presenta la fórmula para calcular el VAN de un proyecto.

$$VAN = \sum_{t=0}^n \frac{FC_t}{(1+r)^t}$$

Ecuación 18: Fórmula para calcular el VAN de un proyecto.

Donde:

- FC_t : Flujo de caja neto en t.
- n : Horizonte de evaluación.
- r : Costo de oportunidad de similar riesgo (tasa de descuento).

Tasa Interna de Retorno (TIR): Mide la rentabilidad efectiva de la inversión en el proyecto. Se obtiene determinado aquella tasa de descuento que hace el VAN = 0.

Valor Actual de Costos (VAC): Mide la variación de los costos asociados a un proyecto considerando el costo de oportunidad de similar riesgo. En la *Ecuación 19* se presenta la fórmula para calcular el VAC de un proyecto.

$$VAC = I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

Ecuación 19: Fórmula para calcular el VAC de un proyecto.

Donde:

- I_0 : Inversión inicial.
- C_t : Costos en el periodo t.
- n : Horizonte de evaluación.
- r : Costo de oportunidad de similar riesgo (tasa de descuento).

CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA

La metodología de trabajo estará alineada con los objetivos específicos antes mencionados.

3.1 Recolección de Datos

Primeramente, se tomarán datos en terreno de las operaciones unitarias de perforación, tronadura carguío y transporte en interior mina. La recolección de datos se hará manualmente por lo que se obtendrán datos reales de los distintos equipos y operadores sobre los cuales se requiere hacer el estudio. Una vez obtenida una base de datos lo suficientemente robusta se procederá a realizar un análisis de estos.

3.2 Planteamiento del Caso Base

Con el análisis de la base de datos se obtendrán valores promedio de cada operación con el fin de poder normalizarlas. Con esto se espera tener una idea clara del funcionamiento de las distintas operaciones que se requiere estudiar. Luego, se procede a crear el caso base con el cual se está operando en la mina. En este caso base se identificará los tiempos de ciclos de las distintas operaciones, rendimientos de la perforación y tronadura, índices operacionales de los equipos de carguío y transporte, en base a la norma ASARCO. Además, se calculará características de operación de los equipos, tales como: Velocidades, tanto vacío como cargados, consumo de petróleo, capacidades, etc.

3.3 Identificación de Oportunidades de Mejoras

Seguido de tener un caso base, se procederá a identificar las distintas ineficiencias y las posibles oportunidades de mejoras en cada una de las operaciones en estudio.

3.4 Propuesta de Mejora

Con las oportunidades de mejoras ya identificadas, se planteará una propuesta que reduzca las ineficiencias presentes y mejore cada una de las operaciones en estudio, además, de proyectar las operaciones para poder tener un aumento en la producción.

3.5 Cuantificación del Impacto del Caso Propuesto

Finalmente, se analizará cuantitativamente el impacto del caso propuesto sobre el caso base, con lo cual se procederá a entregar conclusiones y sugerencias obtenidas a partir del estudio realizado sobre las distintas operaciones unitarias ya mencionadas.

CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1 Recolección de Datos

Para el estudio es necesario tomar datos de las distintas operaciones de interés directamente en terreno. Esta etapa del estudio es abarcada durante 3 meses, aproximadamente. La mina, durante el periodo de medición, tiene turnos de 5x2. Los turnos son de 9 horas de trabajo más 1 hora de colación diaria.

Para la operación de perforación se utiliza perforadoras neumáticas YT27. Además, se utilizan barras de 1,2 y 2,4 [m] de largo y diámetro de 38-40 [mm]. Por otro lado, para la tronadura se utiliza como explosivo ANFO tradicional (Amex de Orica Chile S.A. u otro producto similar), con un consumo de 250 a 300 [gr/ton] de material removido. Como iniciador del ANFO se usa cartuchos de Emultex CN de 7/8"x8" o 1"x8" de Enaex u otro producto similar. Además, se utilizarán los accesorios tradicionales para este tipo de operación, tales como mecha de seguridad, fulminantes a fuego N° 8 y, eventualmente, algún otro sistema de iniciación, como detonadores no eléctricos de retardo.

Finalmente, identificó que la operación de carguío se realiza con un LHD de 7 [yd³] o equivalente a 10 [t] de capacidad y, por otro lado, la operación de transporte se realiza con un dumper de 16,8 [yd³] o equivalente a 24 [t] de capacidad.

4.2 Perforación y Tronadura

4.2.1 Características Operacionales de la Perforación y Tronadura

A continuación, se presentará las características de las operaciones de perforación y tronadura durante el periodo de la toma de datos. Con estos datos se plantea el caso base para estas operaciones unitarias.

4.2.1.1 Velocidad de Perforación

Durante el periodo de medición se disponía de 6 parejas perforistas. En la *Tabla 1* se presenta el promedio de las velocidades de perforación con barra de 1,2 [m] de las distintas parejas, además, se presenta el promedio ponderado de perforación con esta barra.

En el capítulo 7.1 Velocidades de Perforación se encuentra el detalle de estas mediciones.

Tabla 1: Resumen de las velocidades de perforación con barra de 1,2 [m] de las 6 parejas perforistas.

Pareja Perforista	Cantidad de Datos	Velocidad de Perforación [m/min]
1	80	0,38
2	75	0,33
3	95	0,36
4	75	0,34
5	75	0,42
6	15	0,50
Promedio Ponderado		0,37

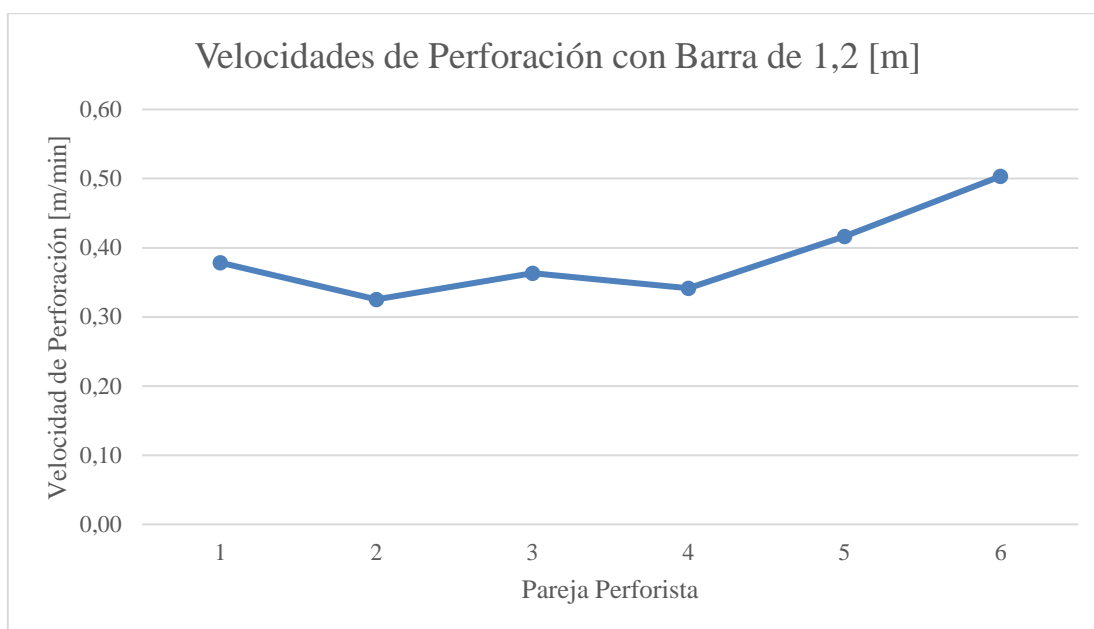


Figura 6: Velocidades de perforación con barra de 1,2 [m].

De la *Tabla 1* y la *Figura 6* se observa que la pareja perforista 6 tiene una velocidad de perforación considerablemente mayor que las otras parejas. Esto se debe a que de esta pareja tiene muchas menos mediciones que las otras (solo tiene 15 datos), además, las mediciones fueron solo en roca blanda, por lo cual no están incluidas sus perforaciones en roca dura. Todo esto genera que la velocidad de perforación de esta pareja, aparentemente, sea mucho mayor que la del resto. El resto de las parejas presenta una baja diferencia en sus velocidades de perforación.

De la *Tabla 1* se puede observar que el promedio ponderado de perforación con barra de 1,2 [m] es 0,37 [m/min]. Este valor será utilizado para el cálculo del ciclo de perforación.

En la *Tabla 2* se presenta el promedio de las velocidades de perforación con barra de 2,4 [m] de las distintas parejas, además, se presenta el promedio ponderado de perforación con esta barra.

En el capítulo 7.1 Velocidades de Perforación se encuentra el detalle de estas mediciones.

Tabla 2: Resumen de las velocidades de perforación con barra de 2,4 [m] de las 6 parejas perforistas.

Pareja Perforista	Cantidad de Datos	Velocidad de Perforación [m/min]
1	75	0,37
2	75	0,30
3	95	0,33
4	75	0,32
5	75	0,39
6	15	0,34
Promedio Ponderado		0,34

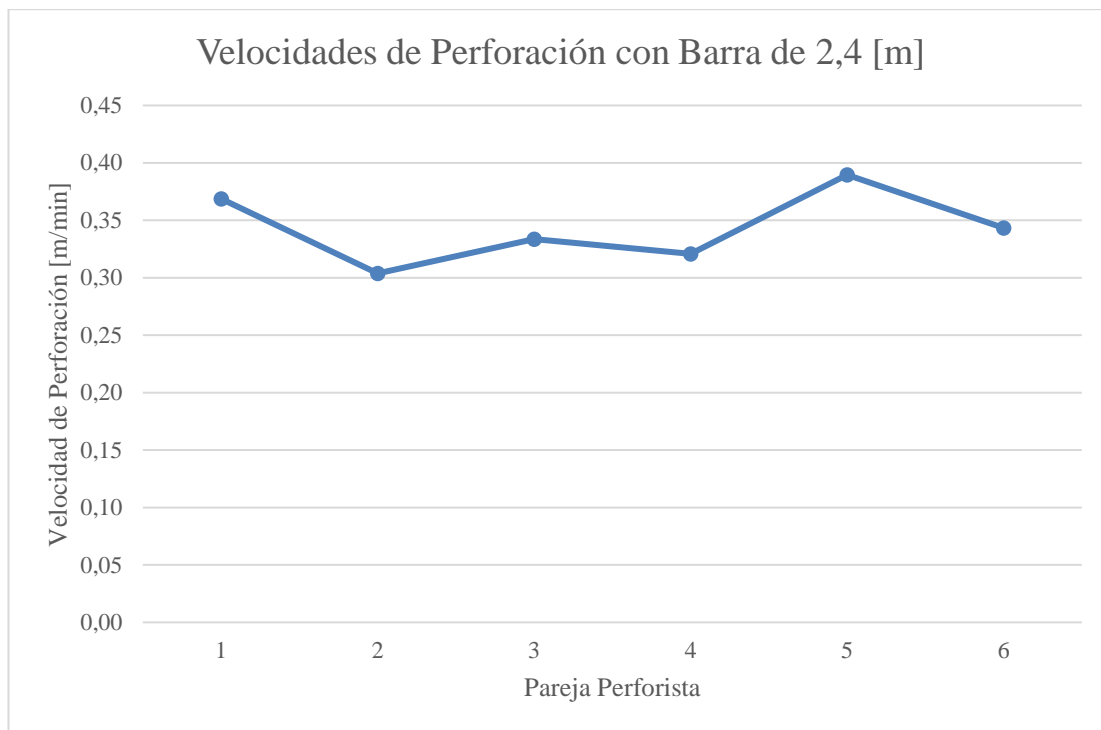


Figura 7: Velocidades de perforación con barra de 2,4 [m].

De la *Tabla 2* y la *Figura 7* se observa que existe una baja diferencia entre las velocidades de perforación, con barra de 2,4 [m], entre las distintas parejas perforistas.

De la *Tabla 2* se puede observar que el promedio ponderado de perforación con barra de 2,4 [m] es 0,34 [m/min]. Este valor será utilizado para el cálculo del ciclo de perforación.

4.2.1.2 Dimensiones de los Disparos

En la *Tabla 3* se presenta el promedio de las dimensiones por disparo.

En el capítulo 7.2 Dimensiones por Disparo se encuentra el detalle de las dimensiones por disparo.

Tabla 3: Dimensión promedio por disparo.

Parámetro	Valor
Alto [m]	2,8
Ancho [m]	3,3
Largo barra [m]	2,4
Factor de avance	0,82
Avance real [m]	2,0
Densidad de la roca [ton/m ³]	2,6
Tiros por disparo	20
Toneladas por disparo [ton]	47,6

De la *Tabla 3* se puede observar que en promedio se obtienen 47,6 [ton] en cada disparo.

4.2.1.3 Ciclo Perforación y Tronadura

En la *Tabla 4* se presenta los parámetros que componen el ciclo de perforación y tronadura en conjunto.

Tabla 4: Tiempo de ciclo de las operaciones de perforación y tronadura para 20 tiros por disparo.

Parámetro	Valor [min]
Coordinación	10
Acuñadura	60
Instalación de postura	15
Tiempo perforando con barra de 1,2 [m]	65
Tiempo perforando con barra de 2,4 [m]	70
Cambio de barra de 1,2 [m] a 2,4 [m]	10
Cambio de barra de 2,4 [m] a 1,2 [m]	10
Cambio de tiro y empatada	12
Retiro del equipo de perforación	15
Carga de explosivo	35
Tiempo de ciclo por disparo	302

De la *Tabla 4* se puede observar que un disparo realizado en esta faena (20 tiros por disparo en promedio) conlleva un ciclo total de 302 [min] lo que es equivalente a 5 [h]. Además, se midió que existe una pérdida de 40 [min] en total entre la entra y salida del turno y del medio tiempo. Por lo tanto, ciclo perforación y tronadura total para 20 tiros, incluyendo las pérdidas operacionales, es de 5,7 [h]

Tomando en cuenta que el turno tiene una duración de 9 [h] de trabajo, la pareja perforista tiene una holgura operacional de 3,5 [h] para realizar el disparo diario.

4.2.1.4 Pérdidas Laborales

Durante el periodo de medición se registró que existen pérdidas de un 3% de los días hábiles del mes producto de detenciones operacionales totales. Por otro lado, hay una pérdida de un 4% de los días mensuales debido a feriados. Además, existe una ausencia laboral de un 3%. Para el caso de la perforación y tronadura las ausencias son irremplazables, por lo que se genera una pérdida laboral de un 10% en total en turnos 5x2.

4.2.1.5 Rendimiento de la Perforación y Tronadura

Considerando el tonelaje por disparo, los días hábiles por mes y las perdidas laborales, cada pareja perforista tiene, en promedio, un rendimiento de 918 [t/mes]

4.2.2 Identificación de Oportunidades de Mejoras

Uno de los desafíos que tiene la faena a mediano y largo plazo es aumentar su producción. Del caso base se puede notar que al tener turnos 5x2, la faena no tiene una continuidad operacional, lo que limita su aspiración a aumentar la producción. Por otro lado, también se puede notar que se pierden un 4% de los días debido a feriados. Finalmente, aprovechando la holgura operacional que tienen las parejas perforistas, existe una potencial oportunidad de mejora, mediante el uso de un nuevo sistema de trabajo en la faena, lo que podría permitir aumentar el rendimiento de la perforación y tronadura.

4.2.3 Propuesta de Mejora

Para darle continuidad operacional a la faena, se propone modificar el sistema de turno a uno de 7x7. Según lo estipulado en el Código del Trabajo de Chile, al implementar un turno de 7x7, la jornada laboral debe ser máximo de 12 [h], donde una 1 [h] corresponde al medio tiempo o colación. Además, con este tipo de turnos está permitido trabajar días feriados, con su respectiva compensación. Para el caso de la perforación y tronadura la operación efectiva (días efectivamente trabajados por mes) para un turno 7x7 llegaría a un 94%.

Considerando el implementar turnos 7x7, para el caso de la perforación y tronadura se puede cambiar la meta de 1 disparo de 20 tiros por día a 2 disparos de 20 tiros por día o en su defecto, si las condiciones de las frentes de trabajo lo permiten, realizar 1 disparo de 40 tiros por día. Ambos casos deben generar el mismo tonelaje. Los disparos de 40 tiros se utilizan cuando se requiere agrandar la sección de la galería o cuando se realizan banqueos.

Para el primer caso, utilizando la *Tabla 4*, se tiene que la realización de un disparo toma 302 [min] o equivalente a 5 [h], por lo tanto, realizar 2 disparos de las mismas dimensiones tomaría 10 [h], eso sumado a los 40 [min] de pérdidas operacionales, da un total de 10,7 [h]. Esto significa que teóricamente, si las condiciones operacionales lo permiten, la pareja podría realizar 2 disparos diarios de 20 tiros durante el turno de 11 [h] son operacionales (sumado a 1 [h] colación el turno sería de 12 [h]).

Para el segundo caso se tiene los parámetros de la *Tabla 5*.

Tabla 5: Tiempo de ciclo de las operaciones de perforación y tronadura para 40 tiros por disparo.

Parámetro	Valor [m]
Coordinación	10
Acuñadura	120
Instalación de postura	15
Tiempo perforando con barra de 1,2 [m]	130
Tiempo perforando con barra de 2,4 [m]	140
Cambio de barra de 1,2 [m] a 2,4 [m]	20
Cambio de barra de 2,4 [m] a 1,2 [m]	20
Cambio de tiro	24
Retiro del equipo de perforación	15
Carga de explosivo	70
Tiempo de ciclo por disparo	564

De la *Tabla 5* se puede observar que realizar un disparo de 40 tiros tomaría 564 [min] o equivalente a 9,4 [h], esto sumado a 40 [min] de pérdidas operacionales, da un total de 10,1 [h], lo que significa que dentro de un turno de 11 [h] operacionales, esto podría ser factible de realizarse.

4.2.3.1 Dimensionamiento del Personal de Perforación y Tronadura

En la *Tabla 6* se presenta la comparación del dimensionamiento de personal necesario para cumplir con las metas productivas de 10.000 [t/mes] y 15.000 [t/mes] en turnos 5x2 (caso base) y en turnos 7x7 (caso propuesto). Estas metas se están alineadas con las proyecciones que tiene la faena en función de las reservas geológicas, el diseño y el programa minero,

Es importante mencionar que para el turno propuesto se da una flexibilidad, ante cualquier inconveniente operacional, de 2 días a la semana de realizar solo 1 disparo. Con lo anterior se tiene que para un ciclo completo de turno-descanso (7 días de turno y 7 días descanso) cada pareja perforista debe realizar 12 disparos, es decir, equivalente a 6 disparos por semana. Esta flexibilidad operacional se obtuvo como resultado de pruebas realizadas en la faena.

Tabla 6: Dimensionamiento de parejas perforistas para metas de 10.000 [t/mes] y 15.000 [t/mes].

Parámetro	Turno 5x2	Turno 7x7
Toneladas por disparo [t]	47,6	47,6
Disparos por semana por pareja	5	6
Operación efectiva	90%	94%
Rendimiento por pareja [t/mes]	918	1.150
Parejas para meta de 10.000 [t/mes]	11	9
Parejas para meta de 15.000 [t/mes]	17	14

De la *Tabla 6* se puede observar que al pasar del turno base de 5x2 al turno propuesto de 7x7, con sus respectivas condiciones, el rendimiento aumenta de 918 [t/mes] por pareja perforista a 1.150 [t/mes], lo que se traduce en un aumento de un 25% en la producción por pareja. Asimismo, para el turno propuesto se necesitan 2 parejas perforistas menos que en el turno base para cumplir con la meta de 10.000 [t/mes]. Por otro lado, para la meta de 15.000 [t/mes] se necesitan 3 parejas menos que en el caso propuesto.

Con este resultado se puede observar que existe una potencial oportunidad de mejora en las operaciones de perforación y tronadura.

4.2.3.2 Producción por Cantidad de Parejas Perforistas

En la *Tabla 7* y *Figura 8* se presenta la producción para distintas cantidades de parejas perforistas, en turnos 5x2 y 7x7.

Tabla 7: Producción para distintas cantidades de parejas perforistas.

Parejas	Producción Turno 5x2 [t/mes]	Producción Turno 7x7 [t/mes]	Incremento [t/mes]
4	3.671	4.600	930
5	4.588	5.750	1.162
6	5.506	6.901	1.395
7	6.423	8.051	1.627
8	7.341	9.201	1.860
9	8.259	10.351	2.092
10	9.176	11.501	2.325
11	10.094	12.651	2.557
12	11.012	13.801	2.790
13	11.929	14.951	3.022
14	12.847	16.101	3.255

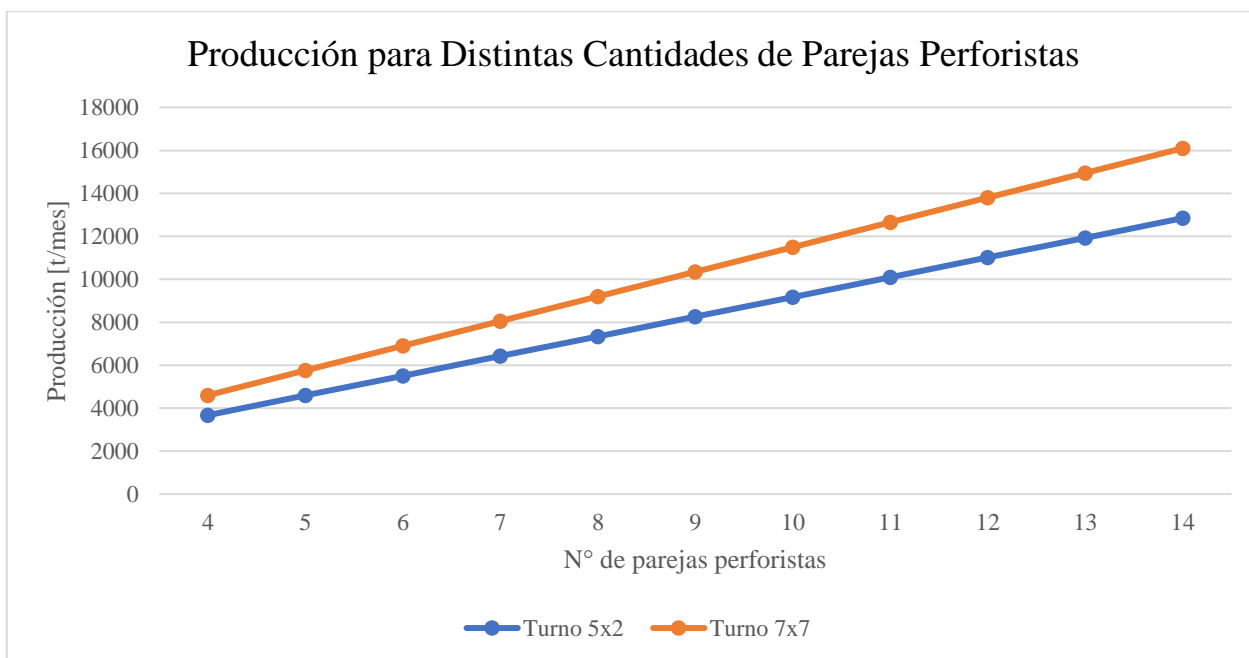


Figura 8: Producción para distintas cantidades de parejas perforistas.

De la *Tabla 7* y *Figura 8* se puede observar que a medida que aumenta la cantidad de parejas perforistas, el incremento de producción de la mina al pasar de turno 5x2 a 7x7 va aumentando. Al tener 6, 8, 10, 12 y 14 parejas perforistas, el incremento de producción de la faena al cambiar el tipo de turno es de 1.395 [t/mes], 1.860 [t/mes], 2.325 [t/mes], 2.790 [t/mes] y 3.255 [t/mes], respectivamente.

4.2.3.3 Sensibilidad de la Perforación y Tronadura

En la *Figura 9* se presenta la sensibilidad por pareja perforista al variar la cantidad de disparos semanales. Este cálculo se realiza sobre los resultados obtenidos en turnos 7x7.

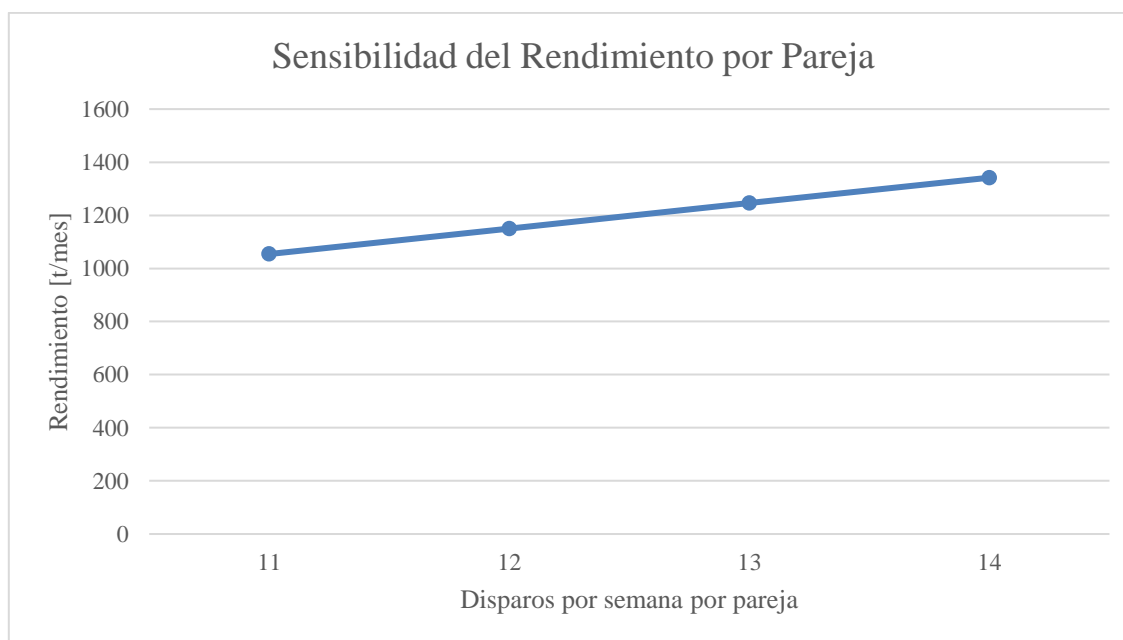


Figura 9: Sensibilidad del rendimiento por pareja perforista.

De la *Figura 9* se observa que, en el peor caso, es decir, que se realice 11 disparos semanales por pareja, el rendimiento disminuye a 1.050 [t/mes], lo que equivale a un 8,3% menos que en la situación inicial (12 disparos semanales por pareja). Por otro lado, al realizarse 13 disparos semanales por pareja, el rendimiento podría aumentar en un 8,3%, alcanzando una producción de 1.246 [t/mes] por pareja. Finalmente, el mejor caso, pero a su vez el más complicado de llevar a cabo, es el de realizar 14 disparos semanales por pareja, donde se observa que podría aumentar el rendimiento en un 16,7%, alcanzando una producción 1.342 [t/mes] por pareja.

4.3 Carguío y Transporte

4.3.1 Características Operacionales del Carguío y Transporte

A continuación, se presentará las características de las operaciones de carguío y transporte durante el periodo de la toma de datos. Con estos datos se plantea el caso base para estas operaciones unitarias.

4.3.1.1 Velocidad de los Equipos

En la *Tabla 8* se muestra las velocidades de movimiento cargado y vacío, tanto para el LHD como para el dumper.

En el capítulo 7.4 Velocidades de los Equipos de Carguío y Transporte se encuentra el detalle para obtener los resultados de la *Tabla 8*.

Tabla 8: Velocidad de movimiento para el LHD y dumper.

Equipo	Velocidad cargado [km/h]	Velocidad vacío [km/h]
LHD	3,6	4,3
Dumper	7,2	7,9

4.3.1.2 Consumo de Petróleo de los Equipos

En la *Tabla 9* se muestra el consumo promedio de petróleo por parte del LHD y el dumper.

Tabla 9: Consumo de petróleo del LHD y el dumper.

Equipo	Consumo de petróleo [l/h]
LHD	35
Dumper	21

4.3.1.3 Capacidad de los Equipos

Tabla 10: Parámetros para calcular la capacidad del balde del LHD.

Parámetro	Valor
C_{balde} [yd ³]	7
Yd ³ /m ³	0,76
$F_{llenado}$	0,7
ρ [t/m ³]	2,6
ϵ	0,48

Para calcular la capacidad del balde del LHD se utiliza *Ecuación 6*. En la *Tabla 10* se presentan los parámetros para calcular esta capacidad.

$$C_{LHD} = \frac{7 \times 0,76 \times 0,7 \times 2,6}{1 + 0,48}$$

$$C_{LHD} = 6,5 [t]$$

De las mediciones se observó que el dumper se llena con 2 paladas del LHD, por lo tanto, tiene una capacidad de 13 [t].

4.3.2 Distribución de Tiempos ASARCO

A continuación, se presenta la distribución de tiempos para los equipos de carguío y transporte de la mina según la Norma ASARCO, para el caso base de operación.

4.3.2.1 Tiempo Nominal

Según la norma ASARCO lo primero que debe identificarse es el tiempo nominal, es decir la duración del turno. Como antes fue mencionado, el turno está compuesto por 9 [h] de trabajo más 1 [h] de colación, lo que significa que se tiene un tiempo nominal de 10 [h].

4.3.2.2 Fuera de Servicio

Se midió el tiempo que se le dedica a las mantenciones de los equipos LHD y dumper, durante 40 días. En la *Tabla 11* se muestra el tiempo promedio de estas mantenciones. El detalle de las mediciones se encuentra en el Capítulo 7.3 Tiempos Según Norma ASARCO. Cabe destacar que se toman en conjunto las mantenciones programadas y no programadas.

Tabla 11: Tiempo promedio diario dedicado a las mantenciones de los equipos LHD y dumper.

Equipo	Mantención diaria [h]
LHD	1,2
Dumper	0,8

De la *Tabla 11* se puede observar que el tiempo promedio que se le dedica diariamente a la mantención del LHD es 1,2 [h]. Del mismo modo, al dumper se le dedican, en promedio, 0,8 [h] diariamente. Por lo tanto, los tiempos fuera de servicio para el LHD y el dumper son 1,2 y 0,8 [h], respectivamente.

4.3.2.3 Tiempo Disponible

Para calcular el tiempo disponible del LHD y del dumper se utiliza la *Ecuación 1*.

Para el LHD se tiene:

$$\text{Tiempo Disponible} = 10 - 1,2 [h]$$

$$\text{Tiempo Disponible} = 8,8 [h]$$

Para el dumper se tiene:

$$\text{Tiempo Disponible} = 10 - 0,8 [h]$$

$$\text{Tiempo Disponible} = 9,2 [h]$$

Por lo tanto, se tiene para el LHD y el dumper 8,8 [h] y 9,2 [h] de tiempo disponible, respectivamente.

4.3.2.4 Reservas

Se midió el tiempo en que el LHD y el dumper no operaban por falta de operador durante 38 días. Esto corresponde al tiempo en que el equipo está en reserva. En la *Tabla 12* se muestra el promedio de estas mediciones. El detalle de las mediciones se encuentra en el Capítulo 7.3 Tiempos Según Norma ASARCO.

Tabla 12: Tiempo promedio diario en que el LHD y el dumper están en reserva.

Equipo	Reservas diarias [h]
LHD	0,1
Dumper	0,1

De la *Tabla 12* se puede observar que, en promedio, el tiempo de reserva diaria para el LHD y el dumper es 0,1 [h] para ambos.

4.3.2.5 Tiempo Operativo

Para calcular el tiempo operativo del LHD y del dumper se utiliza la *Ecuación 2*.

Para el LHD se tiene:

$$\text{Tiempo Operativo} = 8,8 - 0,1 \text{ [h]}$$

$$\text{Tiempo Operativo} = 8,7 \text{ [h]}$$

Para el dumper se tiene:

$$\text{Tiempo Operativo} = 9,2 - 0,1 \text{ [h]}$$

$$\text{Tiempo Operativo} = 9,1 \text{ [h]}$$

Por lo tanto, se tiene para el LHD y el dumper 8,7 [h] y 9,1 [h] de tiempo operativo, respectivamente.

4.3.2.6 Demoras

Dentro de las demoras se debe distinguir entre programadas y no programadas. La única demora programada que se tiene es el medio turno o colación, el cual consta de 1 [h] en total. Dentro de las demoras no programadas, por lo tanto, que no se sabe con exactitud su duración, se encuentra la coordinación entre operadores y el llenado de petróleo. En la *Tabla 13* se muestra el promedio de las demoras no programadas diarias. El detalle de las mediciones se encuentra en el Capítulo 7.3 Tiempos Según Norma ASARCO. Cabe destacar que el llenado de petróleo y la coordinación lo realizan en conjunto los operadores de ambos equipos, por lo tanto, las demoras no programadas son las mismas para ambos equipos.

De la *Tabla 13* se puede observar que las demoras no programadas diarias para el LHD y el dumper, en promedio, es 0,5 [h]. Por lo tanto, al sumar las demoras programadas y no programadas, se tiene en total de 1,5 [h] diarias, en promedio.

Tabla 13: Demoras no programadas para el LHD y dumper.

Equipo	Demora [h]
LHD	0,5
Dumper	0,5

4.3.2.7 Perdidas operacionales

Las pérdidas operacionales asociadas al LHD se producen, en primer lugar, por la salida y entrada a los puntos de carguío en el inicio y fin del turno y en el inicio y fin del medio turno o colación. En segundo lugar, el LHD tiene pérdidas operacionales al moverse de un punto de carguío a otro. Por otra parte, el dumper tiene pérdidas operacionales por la espera de que el LHD llegue a los puntos de carguío. Por lo tanto, ambos equipos tienen el mismo tiempo de pérdidas operacionales. En la *Tabla 14* se presenta los movimientos que provocan pérdidas operacionales. Las distancias presentadas en esta tabla son un promedio obtenido durante el periodo de medición. Cabe destacar, que a medida que la mina vaya aumentando su profundidad estas distancias variarán.

Tabla 14: Perdidas Operacionales del LHD y dumper.

Movimiento	Distancia promedio [m]	Cantidad de movimientos	Tiempo [min]
Entrada al punto de carguío	575	2	16
Salida de la mina	575	2	16
De un punto de carguío a otro	107	2	3

En la *Tabla 14* se puede observar que el total de pérdidas operacionales para el LHD y dumper son 35 [min], lo que equivale a 0,6 [h].

4.3.2.8 Tiempo Efectivo

Para el cálculo del tiempo efectivo del LHD y el dumper se utiliza la *Ecuación 3*.

Para el LHD se tiene:

$$Tiempo Efectivo = 8,7 - 1,5 - 0,6 \text{ [h]}$$

$$Tiempo Efectivo = 6,6 \text{ [h]}$$

Para el dumper se tiene:

$$Tiempo Efectivo = 9,1 - 1,5 - 0,6 \text{ [h]}$$

$$Tiempo Efectivo = 7 \text{ [h]}$$

Por lo tanto, se tiene para el LHD y el dumper 6,6 [h] y 7 [h] de tiempo efectivo, respectivamente.

En la *Figura 10* y *Figura 11* se presenta los tiempos ASARCOS, en Minera Rafaela con turnos 5x2, de los equipos LHD y dumper, respectivamente.

Tiempo Nominal: 10 [h]		
Tiempo Disponible: 8,8 [h]		Fuera de Servicio: 1,2 [h]
Tiempo Operativo: 8,7 [h]		Reservas: 0,1 [h]
Tiempo Efectivo: 6,6 [h]	Pérdidas Operacionales: 0,6 [h]	Demoras: 1,5 [h]

Figura 10: Tiempos ASARCO para los equipos LHD en Minera Rafaela con turnos 5x2.

Tiempo Nominal: 10 [h]		
Tiempo Disponible: 9,2 [h]		Fuera de Servicio: 0,8 [h]
Tiempo Operativo: 9,1 [h]		Reservas: 0,1 [h]
Tiempo Efectivo: 7 [h]	Pérdidas Operacionales: 0,6 [h]	Demoras: 1,5 [h]

Figura 11: Tiempos ASARCO para los equipos dumper en Minera Rafaela con turnos 5x2.

4.3.3 Índices Operacionales

A continuación, se presenta los índices operacionales de los equipos de carguío y transporte según la Norma ASARCO.

4.3.3.1 Disponibilidad Mecánica

Para calcular la disponibilidad mecánica (DM) de los equipos, se utiliza la fórmula de la Ecuación 4.

Para el LHD se tiene:

$$DM_{LHD} = \frac{10 - 1,2}{10} \times 100$$

$$DM_{LHD} = 88[\%]$$

Para el dumper se tiene:

$$DM_{Dumper} = \frac{10 - 0,8}{10} \times 100$$

$$DM_{Dumper} = 92[\%]$$

Por lo tanto, se tiene que la disponibilidad mecánica del LHD y el dumper es 88% y 92%, respectivamente.

4.3.3.2 Utilización Efectiva en Base a Disponibilidad

Para calcular la utilización efectiva en base a disponibilidad (UEBD) de los equipos se utiliza la fórmula de la Ecuación 5.

Para el LHD se tiene:

$$UEBD_{LHD} = \frac{6,6}{8,8} \times 100$$

$$UEBD_{LHD} = 75[\%]$$

Para el dumper se tiene:

$$UEBD_{Dumper} = \frac{7}{9,2} \times 100$$

$$UEBD_{Dumper} = 76[\%]$$

Por lo tanto, se tiene que la UEBD del LHD y el dumper es 75% y 76%, respectivamente.

4.3.3.4 Pérdidas Laborales

Durante el periodo de medición se registró que existen pérdidas de un 3% de los días hábiles del mes producto de detenciones operacionales totales. Por otro lado, hay una pérdida de un 4% de los días mensuales debido a feriados. Además, existe un ausentismo laboral de un 3%, sin embargo, para el carguío y transporte las ausencias laborales pueden ser reemplazadas por otros operadores disponibles en faena, lo que genera para este caso una pérdida laboral de un 7% en turnos 5x2.

4.3.4 Tiempo de Ciclo

Para definir el tiempo de ciclo de los equipos es necesario, en primera instancia, identificar las partes que lo componen. Se debe tener claro que al ser una faena de pequeña minería es importante no sobre dimensionar las flotas, tanto de equipos de carguío como de transporte. Por esta razón, la configuración carguío-transporte presenta un dinamismo, donde dependiendo de las condiciones de operación del momento, se puede tener saturación de LHD o saturación de dumper, es decir, puede haber esperas por parte del dumper o por parte del LHD.

De las mediciones se ha observado que el dumper se llena con 2 paladas del LHD, donde el tiempo de descarga de ambas paladas es diferente. Lo anterior se debe a que la segunda palada es más lenta, ya que el operador debe distribuir el material de forma que no exista caída de rocas durante el viaje cargado del dumper.

4.3.4.1 Ciclo del LHD

Para el caso particular de esta faena, se considerará como ciclo del LHD al tiempo que le toma cargar completamente al dumper. El ciclo de este equipo queda definido por la *Ecuación 20*.

$$TC_{LHD} = TVV + TC + TVC + TE + TM + TPD + TVV + TC + TVC + TM + TSD$$

Ecuación 20: Tiempo de ciclo del LHD en Minera Rafaela.

Donde:

- TC_{LHD} : Tiempo de ciclo del LHD.
- TVV : Tiempo de viaje vacío.
- TC : Tiempo de carga.
- TVC : Tiempo de viaje cargado.

- TE : Tiempo de espera de dumper disponible para cargar.
- TM : Tiempo de maniobra previa a descargar.
- TPD : Tiempo de primera descarga.
- TSD : Tiempo de segunda descarga.

Es importante destacar que el TE es cero cuando se está trabajando con saturación del LHD.

Los tiempos TVV , TVC y TE varían dependiendo de las distancias que deben recorrer los equipos y de la cantidad de dumpers operando por LHD. Sin embargo, los tiempos TC , TM , TPD y TSD son fijos. En la *Tabla 15* se muestra los valores promedio de estos últimos.

Tabla 15: Tiempos del ciclo del LHD que son fijos.

Maniobra	Tiempo [s]
TC	35
TM	15
TPD	31
TSD	39

4.3.4.2 Ciclo del Dumper

En la *Ecuación 21* se presenta el tiempo de ciclo del dumper. Esta fórmula es específica, en primera instancia, solo para esta faena.

$$TC_{dumper} = TVVD + TAC + TE + TM + TPD + TVV + TC + TVC + TM + TSD + TVCD + TAD + TD$$

Ecuación 21: Tiempo de ciclo del dumper en Minera Rafaela.

Donde:

- TC_{dumper} : Tiempo de ciclo del dumper.
- $TVVD$: Tiempo de viaje vacío del dumper.
- TAC : Tiempo de acuatamiento en zona de descarga.
- TE : Tiempo de espera del LHD.
- TM : Tiempo de maniobra del LHD previa a descargar.
- TPD : Tiempo de primera descarga.
- TVV : Tiempo de viaje vacío del LHD.
- TC : Tiempo de carga del LHD.

- *TVC*: Tiempo de viaje cargado del LHD.
- *TSD*: Tiempo de segunda descarga.
- *TVCD*: Tiempo de viaje cargado del dumper.
- *TAD*: Tiempo de aculatamiento en zona de descarga.
- *TD*: Tiempo de descarga.

Es importante destacar que el *TE* es cero cuando se está trabajando con saturación de dumper.

Los tiempos TVVD, TVCD y TE varían dependiendo de las distancias que deben recorrer los equipos y de la cantidad de dumpers operando por LHD. Sin embargo, los tiempos TAC, TAD y TD son fijos. En la *Tabla 16* se muestra los valores promedio de estos últimos.

Tabla 16: Tiempos del ciclo del dumper que son fijos.

Maniobra	Tiempo [s]
TAC	65
TAD	25
TD	23

4.3.5 Cumplimiento de Meta Productiva

Durante el periodo de medición la faena explotaba aproximadamente 5.000 [t/mes]. Para cumplir esta meta era necesario tener operativo solamente un LHD y un dumper. Utilizando la *Ecuación 13* calcula la flota de equipos que necesita la faena para cumplir la meta productiva de 5.000 [t/mes].

Para el LHD se tiene:

$$N_{equipos} = \text{entero superior} \left[\frac{N_{LHD,op}}{DM} \right]$$

$$N_{equipos} = \text{entero superior} \left[\frac{1}{88\%} \right]$$

$$N_{equipos} = 2$$

Para el dumper se tiene:

$$N_{equipos} = \text{entero superior} \left[\frac{N_{LHD,op}}{DM} \right]$$

$$N_{equipos} = \text{entero superior} \left[\frac{1}{92\%} \right]$$

$$N_{equipos} = 2$$

Por lo tanto, para cumplir la meta productiva de 5.000 [t/mes] se necesita una flota de 2 LHD y 2 dumper. Considerando que solo se necesita un LHD y un dumper operando, la faena requiere como personal solo un operador de LHD y un operador de dumper.

Al momento de las mediciones la distancia promedio que debía recorrer el LHD desde las frentes a los puntos de carguío era 100 [m] y del mismo modo, la distancia que debía recorrer el dumper desde los puntos de carguío hasta el acopio de mineral era 575 [m]. Tomando en cuenta estas condiciones, para cumplir la meta el LHD debe operar 127 [h/mes] y de la misma manera el dumper debe operar 115 [h/mes].

4.3.5 Identificación de Oportunidades de Mejoras

Uno de los desafíos que tiene la faena a mediano y largo plazo es aumentar su producción. Del caso base se puede notar que al tener turnos 5x2, la faena no tiene una continuidad operacional, lo que limita considerablemente su aspiración a aumentar la producción. Para el carguío y transporte se puede evaluar la utilización de otro tipo de equipos que puedan cumplir con estas operaciones.

4.3.6 Propuesta de Mejora

Para darle continuidad operacional a la faena, se propone modificar el sistema de turno a uno de 7x7. Según lo estipulado en el Código del Trabajo de Chile, al implementar un turno de 7x7, la jornada laboral debe ser máximo de 12 [h], donde una 1 [h] corresponde al medio tiempo o colación. Además, con este tipo de turnos está permitido trabajar días feriados, con su respectiva compensación. Para el caso del carguío y transporte la operación efectiva (días efectivamente trabajados por mes) llegaría a un 97%, ya que solo se tendría la pérdida de días producto de detenciones totales de la faena (3%). Por otro lado, considerando las dimensiones de las labores de la mina, es posible utilizar camiones tolva para la operación de transporte.

En función de las reservas geológicas, el diseño y el programa minero, la faena tiene como metas productivas alcanzar las 10.000 [t/mes] y las 15.000 [t/mes]. Las proyecciones de la faena indican que, al momento de alcanzar estas metas, la distancia promedio desde los puntos de carguío hasta el acopio o pique disponible será de 1.500 [m] y la distancia promedio entre las frentes de trabajo hasta los puntos de carguío será de 100 [m].

4.3.6.1 Distribución de Tiempos ASARCO

A continuación, se presenta la distribución de tiempos para los equipos de carguío y transporte según la Norma ASARCO considerando la propuesta de mejora.

4.3.6.1.1 Tiempo Nominal

Según la norma ASARCO lo primero que debe identificarse es el tiempo nominal, es decir la duración del turno. Como antes fue mencionado, el turno propuesto está compuesto por 11 [h] de trabajo más 1 [h] de colación lo que significa que se tiene un tiempo nominal de 12 [h].

4.3.6.1.2 Fuera de Servicio

Se considera como supuesto que las mantenciones son proporcionales a la duración del turno, por esta razón, la disponibilidad mecánica de los equipos será la misma que en el turno 5x2.

Para el LHD se tiene:

$$DM_{LHD} = 88[\%]$$

$$Fuera\ de\ servicio = Tiempo\ Nominal \times (100 - 88)[\%]$$

$$\text{Fuera de servicio} = 12[h] \times 12[\%]$$

$$\text{Fuera de servicio} = 1,4[h]$$

Para el dumper se tiene:

$$DM_{\text{Dumper}} = 92[\%]$$

$$\text{Fuera de servicio} = \text{Tiempo Nominal} \times (100 - 92)[\%]$$

$$\text{Fuera de servicio} = 12[h] \times 8[\%]$$

$$\text{Fuera de servicio} = 1[h]$$

Por lo tanto, el tiempo fuera de servicio para el LHD y dumper es 1,4 y 1 [h], respectivamente.

4.3.6.1.3 Tiempo Disponible

Para calcular el tiempo disponible del LHD y del dumper se utiliza la *Ecuación 1*.

Para el LHD se tiene:

$$\text{Tiempo Disponible} = 12 - 1,4 [h]$$

$$\text{Tiempo Disponible} = 10,6 [h]$$

Para el dumper se tiene:

$$\text{Tiempo Disponible} = 12 - 1 [h]$$

$$\text{Tiempo Disponible} = 11 [h]$$

Por lo tanto, el tiempo disponible para el LHD y dumper es 10,6 y 11 [h], respectivamente.

4.3.6.1.4 Reservas

Para el turno propuesto se espera tener el mismo tiempo de reserva que en el turno 5x2. Por lo tanto, se considerará los resultados obtenidos en la *Tabla 12*, donde se puede observar que, en promedio, el tiempo de reserva diaria para el LHD y el dumper es 0,1 [h] para ambos.

4.3.6.1.5 Tiempo Operativo

Para calcular el tiempo operativo del LHD y del dumper se utiliza la *Ecuación 2*.

Para el LHD se tiene:

$$\text{Tiempo Operativo} = 10,6 - 0,1 [h]$$

$$\text{Tiempo Operativo} = 10,5 [h]$$

Para el dumper se tiene:

$$\text{Tiempo Operativo} = 11 - 0,1 [h]$$

$$\text{Tiempo Operativo} = 10,9 [h]$$

Por lo tanto, el tiempo operativo para el LHD y el dumper es 10,5 [h] y 10,9 [h], respectivamente.

4.3.6.1.6 Demoras

Dentro de las demoras se debe distinguir entre programadas y no programadas. La única demora programada que se tiene es el medio turno o colación, el cual consta de 1 [h] en total. Para las demoras no programadas se considerarán los resultados obtenidos en la *Tabla 13*, donde se puede observar que las demoras no programadas diarias para el LHD y dumper, en promedio, es 0,5 [h]. Por lo tanto, al sumar las demoras programadas y no programadas, se tiene un total de 1,5 [h] diarias, en promedio.

4.3.6.1.7 Perdidas Operacionales

Las pérdidas operacionales asociadas al LHD se producen, en primer lugar, por la salida y entrada a los puntos de carguío en el inicio y fin del turno y en el inicio y fin del medio turno o colación. En segundo lugar, el LHD tiene pérdidas operacionales al moverse de un punto de carguío a otro. Por otra parte, el dumper tiene pérdidas operacionales por la espera de que el LHD llegue a los puntos de carguío. Por lo tanto, ambos equipos tienen el mismo tiempo de pérdidas operacionales. En la *Tabla 17* *Tabla 14* se presenta las pérdidas operacionales promedio diaria para cumplir las metas de 10.000 [t/mes] y 15.000 [t/mes].

Tabla 17: Perdidas operacionales promedio diaria para los equipos LHD y dumper para cumplir las metas de 10.000 [t/mes] y 15.000 [t/mes], utilizando el turno propuesto.

Equipo	Perdida Operacional [h]
LHD	1,5
Dumper	1,5

De la *Tabla 17* se observa que, para el turno propuesto, las pérdidas operacionales promedio diaria, tanto para el LHD y el dumper es 1,5 [h].

4.3.6.1.8 Tiempo Efectivo

Para el cálculo del tiempo efectivo del LHD y el dumper se utiliza la *Ecuación 3*. En *Tabla 18* se presenta el tiempo efectivo para cumplir las metas de 10.000 [t/mes] y 15.000 [t/mes].

Tabla 18: Tiempo efectivo de los equipos LHD y dumper para cumplir las metas de 10.000 [t/mes] y 15.000 [t/mes], utilizando el turno propuesto.

Equipo	Tiempo Efectivo [h]
LHD	7,5
Dumper	7,9

De la *Tabla 18* se observa que, para el turno propuesto, el tiempo efectivo del LHD y dumper es 7,5 [h] y 7,9 [h], respectivamente.

En la *Figura 12* y *Figura 13* se presenta los tiempos ASARCOS, en Minera Rafaela con turnos 7x7, de los equipos LHD y dumper, respectivamente.

Tiempo Nominal: 12 [h]		
Tiempo Disponible: 11 [h]		Fuera de Servicio: 1 [h]
Tiempo Operativo: 10,9 [h]		Reservas: 0,1 [h]
Tiempo Efectivo: 7,9 [h]	Pérdidas Operacionales: 1,5 [h]	Demoras: 1,5 [h]

Figura 12: Tiempos ASARCO para los equipos LHD en Minera Rafaela con turnos 7x7.

Tiempo Nominal: 12 [h]		
Tiempo Disponible: 10,6 [h]		Fuera de Servicio: 1,4 [h]
Tiempo Operativo: 10,5 [h]		Reservas: 0,1 [h]
Tiempo Efectivo: 7,5 [h]	Pérdidas Operacionales: 1,5 [h]	Demoras: 1,5 [h]

Figura 13: Tiempos ASARCO para los equipos dumper en Minera Rafaela con turnos 7x7

4.3.6.2 Índices Operacionales

A continuación, se presenta los índices operacionales de los equipos de carguío y transporte según la Norma ASARCO considerando la propuesta de mejora.

4.3.6.2.1 Disponibilidad Mecánica

Para el turno propuesto se tiene como supuesto que los equipos mantendrán la misma disponibilidad mecánica que en el turno 5x2, es decir, 88% y 92% para el LHD y el dumper, respectivamente.

4.3.6.2.2 Utilización Efectiva en Base a Disponibilidad

Para calcular la utilización efectiva en base a disponibilidad (UEBD) de los equipos se utiliza la fórmula de la Ecuación 5. En la Tabla 19 se presenta la UEBD del LHD y dumper para cumplir las metas de 10.000 [t/mes] y 15.000 [t/mes].

Tabla 19: UEBD de los equipos LHD y dumper para cumplir las metas de 10.000 [t/mes] y 15.000 [t/mes], utilizando el turno propuesto.

Equipo	UEBD [%]
LHD	71
Dumper	72

De la Tabla 19 se observa que, para el turno propuesto, la UEBD del LHD y el dumper es 71% y 72%, respectivamente.

En la Tabla 20 se presenta la comparación de la UEBD del LHD y el dumper al pasar de un turno 5x2 a un turno 7x7.

Tabla 20: Comparación de la UEBD del LHD entre los turnos 5x2 y 7x7.

Equipo	UEBD Turno 5x2 [%]	UEBD Turno 7x7 [%]	Diferencia [%]
LHD	65	71	6
Dumper	67	72	5

De la *Tabla 20* se puede observar que al pasar de turnos 5x2 a 7x7, la UEBD del LHD y el dumper aumentan en un 6% y 5%, respectivamente. Este resultado demuestra que existe una potencialidad de mejora en las operaciones de carguío y transporte al pasar de turnos 5x2 a 7x7.

4.3.6.2.3 Pérdidas Laborales

Para el turno propuesto se estima que las perdidas laborales serán solo debido a detenciones operacionales, lo cual se considera que será el mismo porcentaje que en el turno 5x2, es decir, un 3%. Es por esto, que habrá un 97% de días efectivamente operados por mes.

4.3.6.3 Flota de Equipos

Uno de los desafíos que tiene esta faena es alcanzar metas productivas de 10.000 [t/mes] y 15.000 [t/mes]. En este capítulo se comparará la flota de LHD y dumper necesaria para cumplir estas metas en turnos de 5x2 y 7x7. Para el cálculo del ciclo del LHD y dumper se utiliza la *Ecuación 20* y la *Ecuación 21*, respectivamente. El cálculo de los LHD y dumper operativos y la flota de LHD y dumper necesarios para cumplir las metas productivas se realiza utilizando las ecuaciones presentes en el capítulo 2.2.3 Extracción y Carguío en Minería y en el capítulo 2.2.4 Transporte en Minería Subterránea.

En la *Tabla 21* y en la *Tabla 22* se muestra la comparación de los equipos de carguío y transporte operativos necesarios para cumplir la meta productiva de 10.000 [t/mes] y 15.000 [t/mes], respectivamente.

Tabla 21: Equipos LHD y dumper operativos necesarios para cumplir la meta productiva de 10.000 [t/mes].

Equipo	Operativos en Turno 5x2	Operativos en Turno 7x7
LHD	1	1
Dumper	3	2

Tabla 22: Equipos LHD y dumper operativos necesarios para cumplir la meta productiva de 15.000 [t/mes].

Equipo	Flota en Turno 5x2	Flota en Turno 7x7
LHD	2	2
Dumper	5	3

Considerando los resultados de la *Tabla 21* y la *Tabla 22*, para cumplir la meta de 10.000 [t/mes] utilizando el turno 5x2, se necesita 1 operador de LHD y 3 operadores de dumper. Por otro lado, al utilizar turnos 7x7 los operadores van rotando cada semana, debido a esto el número de operadores necesarios para cumplir la meta debe ser el doble de los equipos operativos, es decir, se necesitaría 2 operadores de LHD y 4 operadores de dumper. De la misma forma para cumplir la meta de 15.000 [t/mes] en turnos 5x2 se necesita 2 operadores de LHD y 5 operadores de dumper. Finalmente, para cumplir esta misma meta en turno 7x7 se necesitaría 4 operadores de LHD y 6 operadores de dumper.

Se puede observar que, para ambas metas productivas, el turno 5x2 necesita menos personal para operar los equipos de carguío y transporte.

En la *Tabla 23* y en la

Tabla 24 se presenta la flota de equipos de carguío y transporte necesaria para cumplir las metas productivas de 10.000 [t/mes] y 15.000 [t/mes], respectivamente.

Tabla 23: Flota de equipos LHD y dumper necesaria para cumplir la meta productiva de 10.000 [t/mes].

Equipo	Flota en Turno 5x2	Flota en Turno 7x7
LHD	2	2
Dumper	4	3

Tabla 24: Flota de equipos LHD y dumper necesaria para cumplir la meta productiva de 15.000 [t/mes].

Equipo	Flota en Turno 5x2	Flota en Turno 7x7
LHD	3	3
Dumper	6	4

De la Tabla 23 y la

Tabla 24 se observa que para cumplir las metas productivas de 10.000 [t/mes] y 15.000 [t/mes], el turno 7x7 necesita una flota menor de equipos de carguío y transporte, lo que significa que se necesitaría, eventualmente, una inversión menor en estos equipos. Para la meta de 10.000 [t/mes], tanto en el turno 5x2 como en el turno 7x7, se necesita una flota de 2 LHD, sin embargo, con respecto a la flota de dumper, el turno 7x7 necesita 1 equipo menos que en el turno base. Por otro lado, para la meta de 15.000 [t/mes], la flota de LHD en ambos turnos es de 3 equipos, adicional a esto, se puede observar que la flota de dumper en el turno 7x7 requiere 2 equipos menos que en el turno base.

Actualmente, la faena cuenta con un camión tolva que, dadas las dimensiones de las labores, este puede realizar la operación de transporte entre los puntos de carguío y el pique de traspaso en algunos sectores. Debe tenerse en cuenta que existen labores en la mina donde estos camiones no pueden operar, debido a las dimensiones, por lo que no es posible que reemplacen completamente a los dumper. Se evaluará la potencial mejora que implica usar una combinación de dumper y camiones tolva en conjunto como equipos de transporte.

Las pruebas del camión han concluido que se llena con 3 paladas del LHD, es decir, tiene una capacidad de 19,5 [t]. Para los cálculos de la flota de camiones tolva, se considerará como supuesto que tiene características operacionales similares al dumper, ya sea en velocidades, en maniobras y en índices operacionales.

La mina está dividida en 2 sectores, uno donde puede operar los camiones tolva y otro donde solo pueden operar los dumper. Para la evaluación de esta potencial mejora, se tomará como supuesto que, como máximo, los camiones tolva pueden extraer el 50% del mineral. Además, se considerará utilizar turnos 7x7.

En la *Ecuación 21* se presenta el tiempo de ciclo del dumper. Esta fórmula es específica, en primera instancia, solo para esta faena.

$$TC_{dumper} = TVVD + TAC + TE + TM + TPD + TVV + TC + TVC + TM + TPD + TVV + TC + TVC + TM + TTD + TVCD + TAD + TD$$

Ecuación 22: Tiempo de ciclo del camión tolva en Minera Rafaela.

Donde:

- TC_{dumper} : Tiempo de ciclo del dumper.
- $TVVD$: Tiempo de viaje vacío del dumper
- TAC : Tiempo de acuatamiento en zona de descarga.
- TE : Tiempo de espera del LHD.
- TM : Tiempo de maniobra del LHD previa a descargar.
- TPD : Tiempo de primera o segunda descarga.
- TVV : Tiempo de viaje vacío del LHD.
- TC : Tiempo de carga del LHD.
- TVC : Tiempo de viaje cargado del LHD.
- TTD : Tiempo de tercera descarga.
- $TVCD$: Tiempo de viaje cargado del dumper.
- TAD : Tiempo de acuatamiento en zona de descarga.
- TD : Tiempo de descarga.

En la *Tabla 25* se presenta la comparación de los rendimientos de los equipos de carguío y transporte en turnos 5x2 y 7x7.

Tabla 25: Rendimiento de los equipos de carguío y transporte en turnos 5x2 y 7x7.

Equipo	Rendimiento Efectivo en Turno 5x2 [t/mes]	Rendimiento Efectivo en Turno 7x7 [t/mes]	Aumento [%]
LHD	10.267	12.454	21
Dumper	3.502	6.638	90
Camiones Tolva	5.611	8.325	48

De la *Tabla 25* se puede observar que al pasar del turno 5x2 a 7x7 el LHD aumenta su rendimiento en un 21%. De la misma manera el dumper aumenta su rendimiento en un 90%. Finalmente, el camión tolva aumenta el rendimiento en un 48%. Por otro lado, también se puede observar que los camiones tolvas tienen rendimiento de 8.325 [t/mes], lo cual es un 25% mayor al rendimiento del dumper. Considerando lo anterior, la faena debe preferir utilizar los camiones tolva como equipo de transporte, siempre y cuando las condiciones operacionales lo permitan.

El tiempo de ciclo del camión tolva se obtiene utilizando la *Ecuación 22*. El cálculo de los camiones tolva operativos y la flota necesaria de estos mismos para cumplir las metas

productivas, se realiza utilizando las ecuaciones presentes en el capítulo 2.2.4 Transporte en Minería Subterránea.

En la *Tabla 26* y en la *Tabla 27* se presenta los equipos operativos y la flota de equipos de carguío y transporte para cumplir las metas de 10.000 [t/mes] y 15.000 [t/mes], respectivamente, considerando utilizar una combinación de dumper y camiones tolva.

Tabla 26: Flota de equipos de carguío y transporte para cumplir meta de 10.000 [t/mes].

Equipo	Operativos en Turno 7x7	Flota en Turno 7x7
LHD	1	2
Dumper	1	2
Camiones Tolva	1	1

Tabla 27: Flota de equipos de carguío y transporte para cumplir meta de 15.000 [t/mes].

Equipo	Operativos en Turno 7x7	Flota en Turno 7x7
LHD	2	3
Dumper	2	3
Camiones Tolva	1	1

De la *Tabla 26* se observa que, para cumplir con la meta de 10.000 [t/mes], se requiere una flota de 2 LHD, 2 dumper y 1 camión tolva. De la misma manera, de la *Tabla 27* se puede ver que, para cumplir la meta de 15.000 [t/mes], se requiere una flota de 3 LHD, 3 dumper y 1 camión tolva.

Por otro lado, de la *Tabla 26* se observa que, para la meta de 10.000 [t/mes] se requiere 1 operador para el LHD, 1 para el dumper y 1 para el camión tolva por cada ciclo de trabajo, lo que significa que en total la faena necesitaría 6 operadores para carguío y transporte. De la misma forma, en la *Tabla 27* se observa que, para la meta de 15.000 [t/mes], se requiere de 2 operadores para LHD, 2 para dumper y 1 para el camión tolva por cada ciclo de trabajo, lo que se traduce en que la faena requeriría de 10 operadores de carguío y transporte en total.

4.3.6.5 Cálculo del VAC para las Distintas Combinaciones de Carguío y Transporte

Las distintas combinaciones de carguío y transporte mencionadas en el capítulo anterior cumplen el objetivo de alcanzar las metas de 10.000 [t/mes] y 15.000 [t/mes], por lo cual, económicamente hablando, todas entregan los mismos ingresos, por lo que la mejor forma de evaluar cual combinación es mejor es calculando el VAC de cada una de ellas, donde la que presente un menor valor será la mejor opción para implementarse en la faena.

En la *Tabla 28* se presenta los parámetros incluidos en el cálculo del VAC de las distintas combinaciones de carguío y transporte.

En función de las reservas geológicas, el diseño y el programa minero, se evaluará un proyecto de 2 años de explotación. Para el año 1 se considera un nivel de producción de 10.000 [t/mes] y para el año 2 una producción 15.000 [t/mes].

Debe tenerse en cuenta, al momento de la inversión en equipos, que actualmente en la faena se cuenta con 1 LHD, 2 dumper y 1 camión tolva disponible para las operaciones de carguío y transporte.

En la *Tabla 29* se presenta la comparación de las inversiones y los costos operacionales de las distintas combinaciones de carguío y transporte.

Tabla 28: Parámetros para calcular el VAC de las distintas combinaciones de carguío y transporte.

Parámetro	Valor
Consumo Petróleo LHD [l/h]	35,0
Consumo Petróleo Dumper [l/h]	21,0
Precio Petróleo [\$]	484,0
Costo Neumático [USD/h]	10,6
Costo Mantenición [USD/h]	16,4
Sueldo Operador LHD [USD/mes]	1.375
Sueldo Operador Dumper [USD/mes]	1.375
Sueldo Mecánico [USD/mes]	1.125
Costo Faena por Persona [USD/mes]	143
Precio de Mercado LHD (Vida útil de 2 años) [\$]	80.000.000
Precio de Mercado Dumper (Vida útil de 2 años) [\$]	70.000.000
Precio de Mercado Camión Tolva (Vida útil de 2 años) [\$]	20.000.000
Costo Fortificación Estación de Carguío [\$] (*)	900.000
Precio dólar [\$] (**)	744
Tasa de descuento (***)	8%

(*) La fortificación utilizada en las estaciones de carguío es mediante perno Split Set y malla.

(**) Precio del dólar al 05 de diciembre de 2020.

(***) Esta tasa es ampliamente utilizada en la evaluación de proyectos mineros.

Tabla 29: Inversiones y costos operacionales para las distintas combinaciones de carguío y transporte.

Combinación	Inversión Inicial [kUSD]	Costo Operacional en 10,000 [t/mes] [kUSD/mes]	Inversión en Año 2 [kUSD]	Costo Operacional en 15,000 [t/mes] [kUSD/mes]
1(*)	296	28	296	43
2(**)	202	32	202	40
3(***)	108	30	202	38

(*) Utilización de LHD y dumper en turno 5x2.

(**) Utilización de LHD y dumper en turno 7x7.

(***) Utilización de LHD, dumper y camión tolva en turno 7x7.

De la *Tabla 29* se observa que la combinación 3 es la que requiere menor inversión inicial, con un valor de 108 [kUSD], lo cual es menor en un 88% que la inversión inicial de la combinación 2, de la misma manera, es menor en un 175% a la inversión inicial de la combinación 1. Por otro lado, con respecto a la inversión en el año 2, la combinación 2 y 3 requieren invertir 202 [kUSD], lo cual es menor en un 47% a la inversión del año 2 que requiere la combinación 1. Con respecto a los costos operacionales, para la meta de 10.000 [t/mes], la combinación 1 es la que tiene un valor menor, el cual es 28 [kUSD/mes], versus los 32 [kUSD/mes] y 30 [kUSD/mes] de las combinaciones 2 y 3, respectivamente. Sin embargo, para la meta de 15.000 [t/mes], la combinación 1, con un valor de 43 [kUSD/mes], ahora es la que presenta un costo operacional mayor y la combinación 3 es la que tiene un menor costo operacional con un valor de 38 [kUSD/mes].

En la *Tabla 30* y en la *Figura 14* se presenta el VAC de las distintas combinaciones de carguío y transporte. El VAC se calculó con la *Ecuación 19*.

De la *Tabla 30* y la *Figura 14* se observa que la combinación 3 es la que presenta un VAC menor, por lo tanto, es la combinación económicamente más conveniente. Esta combinación presenta un VAC de 445 [M\$], lo cual es menor en un 41.1% que la combinación 1, y de la misma manera, es menor en un 30.8% que el VAC de la combinación 2. Con este resultado, se observa que al utilizar camiones tolva en conjunto con los dumper en turnos 7x7, se presenta una potencialidad de mejora en las operaciones de la faena.

Tabla 30: VAC de las distintas combinaciones de carguío y transporte.

Combinación	VAC [kUSD]
1(*)	755
2(**)	643
3(***)	445

(*) Utilización de LHD y dumper en turno 5x2.

(**) Utilización de LHD y dumper en turno 7x7.

(***) Utilización de LHD, dumper y camión tolva en turno 7x7.

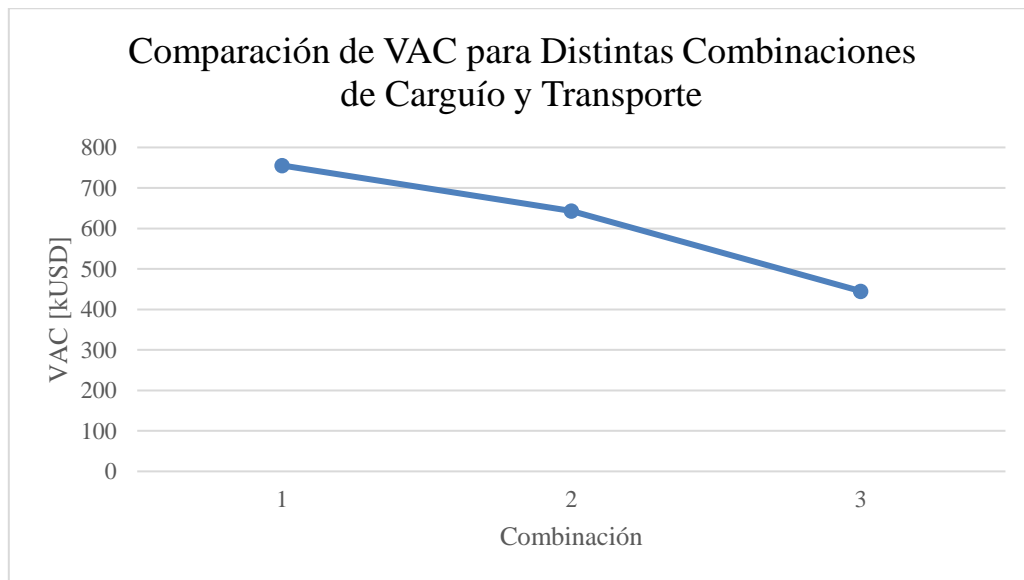


Figura 14: VAC de las distintas combinaciones de carguío y transporte.

Considerando la combinación 3, para cumplir la meta de 10.000 [t/mes], el LHD debe operar 428 [h/mes] y de la misma manera los dumper en conjunto y el camión tolva deben operar 199 [h/mes] y 152 [h/mes], respectivamente. Por otro lado, para alcanzar la meta de 15.000 [t/mes], los LHD en conjunto, los dumper en conjunto y el camión tolva deben operar 657 [h/mes], 299 [h/mes] y 227 [h/mes], respectivamente.

Finalmente, la flota necesaria para la meta de 10.000 [t/mes] es de 2 LHD, 2 dumper y 1 camión tolva. Del mismo modo, para alcanzar las 15.000 [t/mes] se necesitaría una flota de 3 LHD, 3 dumper y 1 camión tolva.

4.3.6.4 Sensibilidad de la Flota de Equipos de Carguío y Transporte

En la *Tabla 31* y en la *Tabla 32* se presenta la sensibilidad de la flota de equipos, de la mejor opción según el cálculo del VAC (utilización de dumper y camiones tolva en turnos 7x7), para las metas de 10.000 [t/mes] y 15.000 [t/mes], respectivamente.

Tabla 31: Sensibilidad de la flota de equipos de carguío y transporte en función de las distancias para una producción de 10.000 [t/mes].

Equipo	Flota 1 (*)	Flota 2 (**)	Flota 3 (***)	Flota 4 (****)	Flota 5 (*****)
LHD	2	2	2	2	2
Dumper	2	2	2	2	2
Camiones Tolva	1	1	1	1	1

(*) Distancia entre frente y punto de carguío de 50 [m]. Distancia entre punto de carguío y zona de descarga de 1.300 [m].

(**) Distancia entre frente y punto de carguío de 200 [m]. Distancia entre punto de carguío y zona de descarga de 1.300 [m].

(***) Distancia entre frente y punto de carguío de 100 [m]. Distancia entre punto de carguío y zona de descarga de 1.500 [m].

(****) Distancia entre frente y punto de carguío de 50 [m]. Distancia entre punto de carguío y zona de descarga de 1.700 [m].

(*****) Distancia entre frente y punto de carguío de 200 [m]. Distancia entre punto de carguío y zona de descarga de 1.700 [m].

Tabla 32: Sensibilidad de la flota de equipos de carguío y transporte en función de las distancias para una producción de 15.000 [t/mes].

Equipo	Flota 1 (*)	Flota 2 (**)	Flota 3 (***)	Flota 4 (****)	Flota 5 (*****)
LHD	2	3	3	3	3
Dumper	2	3	3	3	3
Camiones Tolva	1	1	1	1	1

(*) Distancia entre frente y punto de carguío de 50 [m]. Distancia entre punto de carguío y zona de descarga de 1.300 [m].

(**) Distancia entre frente y punto de carguío de 200 [m]. Distancia entre punto de carguío y zona de descarga de 1.300 [m].

(***) Distancia entre frente y punto de carguío de 100 [m]. Distancia entre punto de carguío y zona de descarga de 1.500 [m].

(****) Distancia entre frente y punto de carguío de 50 [m]. Distancia entre punto de carguío y zona de descarga de 1.700 [m].

(*****) Distancia entre frente y punto de carguío de 200 [m]. Distancia entre punto de carguío y zona de descarga de 1.700 [m].

De la *Tabla 31* se puede observar que, para una producción de 10.000 [t/mes], al variar la distancia entre la frente y el punto de carguío entre 50 [m] y 200 [m] y variando la distancia entre el punto de carguío y la zona de descarga entre 1.300 [m] y 1.700 [m], la flotas de LHD, dumper y camión tolva no varían. Del mismo modo, de la *Tabla 32* se puede observar que, para una producción de 15.000 [t/mes], solo existe una variación en las flotas cuando se tiene una distancia entre la frente y el punto de carguío de 50 [m] y una distancia entre el punto de carguío y la zona de descarga de 1.300 [m]. En este caso, la flota de LHD disminuye de 3 a 2 equipos, la flota de dumper disminuye de 3 a 2 equipos y la flota de camión tolva se mantiene constante en 1 equipo. Para las demás distancias, las flotas se mantienen constantes.

4.3.6.6 Sensibilidad del VAC

Para el cálculo del VAC se utilizó las distancias proyectadas por la faena. La distancia que debe recorrer en promedio el LHD entre las frentes y los puntos de carguío es 100 [m] y el dumper o camión tolva deben recorrer 1.500 [m] en promedio entre los puntos de carguío y el acopio o pique.

En la *Figura 15* se muestra la sensibilidad del VAC de la mejor combinación de carguío y transporte presentada en el capítulo anterior (Utilización de LHD, dumper y camión tolva en turno 7x7), en función de las distancias que deben recorrer el LHD, dumper y camión tolva.

De la *Figura 15* se observa que el valor menor de VAC se presenta cuando la distancia entre la frente y los puntos de carguío disminuye en promedio a 50 [m] y la distancia entre el punto de

carguío y el pique de traspaso o acopio disminuye en promedio a 1.400 [m]. Con estas distancias el VAC tiene un valor de 435 [kUSD], lo cual es un 2,4% menor que el VAC de la situación inicial (445 [kUSD]). Por otro parte, el VAC mayor se presenta cuando la distancia entre la frente y los puntos de carguío aumenta en promedio a 200 [m] y la distancia entre el punto de carguío y el pique de traspaso o acopio aumenta en promedio a 1.600 [m]. En este caso el VAC alcanza un valor de 542 [kUSD], lo cual es un 21,8% mayor que el VAC de la situación inicial (445 [kUSD]).

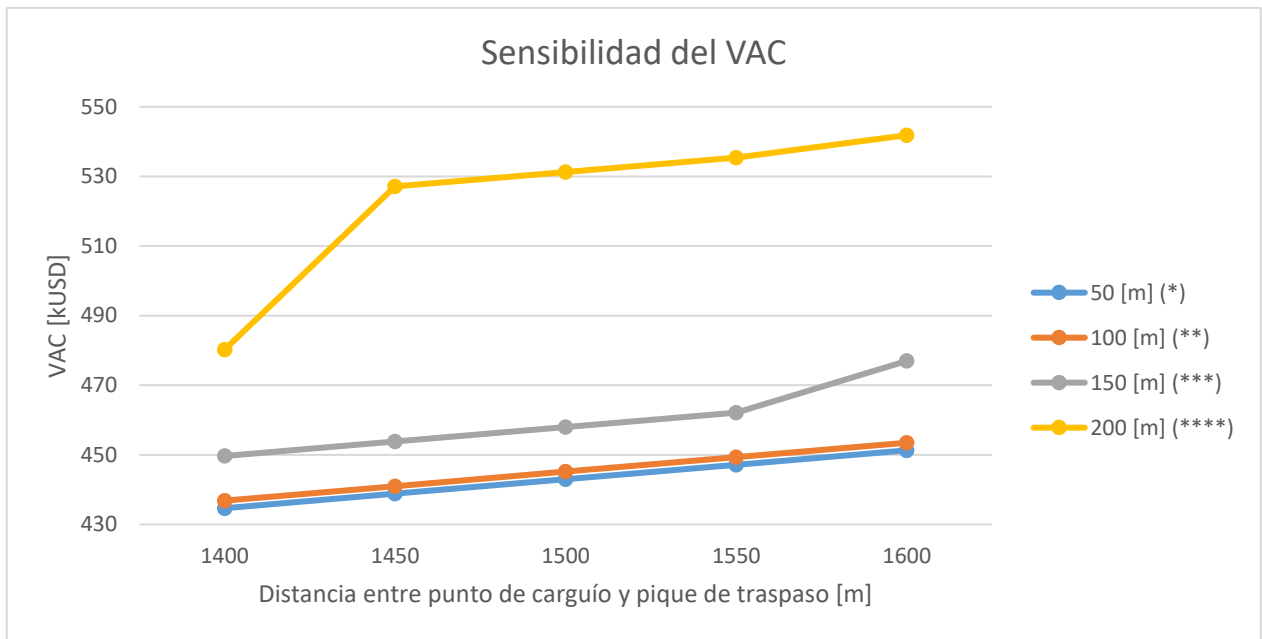


Figura 15: Sensibilidad del VAC.

- (*) Distancia entre frente y punto de carguío de 50 [m].
- (**) Distancia entre frente y punto de carguío de 100 [m].
- (***) Distancia entre frente y punto de carguío de 150 [m].
- (****) Distancia entre frente y punto de carguío de 200 [m].

CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES

En primer lugar, respecto a la perforación y tronadura se concluye que existe una potencial oportunidad de mejora en estas operaciones unitarias. Al cambiar el turno de 5x2 a 7x7 y pasar de realizar 5 [Disparos/Semana] por pareja a 6 [Disparos/Semana] por pareja equivalente, el rendimiento por pareja perforista podría aumentar de 918 [t/mes] a 1.150 [t/mes], es decir, un aumento de un 25%. Por otro lado, al pasar de turnos 5x2 a 7x7, operando con 6, 8, 10, 12 y 14 parejas perforistas, se presenta un incremento productivo en la faena de 1.395 [t/mes], 1.860 [t/mes], 2.325 [t/mes], 2.790 [t/mes] y 3.255 [t/mes], respectivamente. Por último, para alcanzar los ritmos productivos de 10.000 [t/mes] y 15.000 [t/mes], se necesitan 2 y 3 parejas perforistas menos al pasar de turnos 5x2 a turnos 7x7.

Para el caso del carguío y transporte, se concluye que existe una potencial oportunidad de mejora. De la misma manera, las operaciones de carguío y transporte permiten alcanzar niveles de producción de 10.000 [t/mes] y 15.000 [t/mes]. La oportunidad de mejora consiste en pasar de turnos 5x2 a 7x7, lo cual, primeramente, genera una continuidad operacional en la faena. Por otro lado, con este cambio los equipos LHD y dumper podría aumentar su utilización efectiva en base a disponibilidad de 65% a 71% y de 67% a 72%, respectivamente. Con lo anterior, además de la continuidad operacional, el LHD podría aumentar su rendimiento de 10.267 [t/mes] a 12.454 [t/mes], lo que significa un aumento en un 21%. Del mismo modo el dumper puede aumentar su rendimiento de 3.502 [t/mes] a 6.638 [t/mes], es decir, aumenta en un 90%. Sin embargo, con respecto a la inclusión de camiones tolvas en la operación, los resultados entregaron que este equipo puede tener un rendimiento de 8.325 [t/mes] en turnos 7x7, lo que significa que puede rendir 25% más que el dumper. Con lo anterior, se concluye que debe preferirse utilizar el camión tolva siempre y cuando las condiciones operacionales lo permitan, ya que, en ciertos sectores los dumper no pueden ser reemplazados, debido a las dimensiones de las labores. Por otro lado, con respecto al cálculo del VAC para el proyecto de explotar 10.000 [t/mes] durante el primer año y 15.000 [t/mes] durante el segundo año, se concluye que utilizar una combinación de camiones tolva y dumper en turnos 7x7 genera un valor de 445 [kUSD], lo cual es menor en un 41.1% que utilizar solo dumper en turnos 5x2. Adicionalmente, la sensibilidad del VAC de la combinación mejor evaluada (utilización de dumper y camiones tolva en turnos 7x7), indica que en el mejor caso el valor disminuye a 435 [kUSD] y en el peor caso aumenta a 542 [kUSD]. Por otro lado, para explotar 10.000 [t/mes] se necesitaría una flota de 2 LHD, 2 dumper y 1 camión tolva. Del mismo modo, para la meta de 15.000 [t/mes] se necesitaría una flota de 3 LHD, 3 dumper y 1 camión tolva. Finalmente, de la sensibilidad de la flota de equipos, se tiene que solo existe una variación en las flotas para la producción de 15.000 [t/mes] cuando se tiene una distancia entre la frente y el punto de carguío de 50 [m] y una distancia entre el punto de carguío y la zona de descarga de 1.300 [m], disminuyendo la flota de LHD en 1 equipo y la flota de dumper en 1 equipo. Para la producción de 10.000 [t/mes], no se presenta un cambio en la flota de equipos de carguío y transporte al variar la distancia entre la frente y el punto de carguío entre 50 [m] y 200 [m] y al variar la distancia entre el punto de carguío y la zona de descarga entre 1.300 [m] y 1.700 [m].

CAPÍTULO 6: BIBLIOGRAFÍA

1. Toloza, Lemuel. 2017. Geología, alteración y mineralización del yacimiento estratoligado de Mina Rafaela, Cabildo, V Región. Universidad de Chile. Santiago, Chile.
2. American Smelting & Refining Co. 2010. Norma ASARCO.
3. SONAMI. 2013. Guías de operación para la pequeña minería, perforación y tronadura.
4. SERNAGEOMIN. 2013. Guía n° 5 de operación para la pequeña minería, perforación y tronadura.
5. LeFeaux, 1997. Apuntes de carguío y transporte. Universidad de Chile.
6. SONAMI. 2013. Guías de operación para la pequeña minería, fortificación y acuñadura.
7. SERNAGEOMIN. 2013. Guía n° 5 de operación para la pequeña minería, fortificación y acuñadura.
8. Morín, Eduardo y Alvarado Ma. Lizbeth. 2017. Indicadores de rentabilidad. Centro de Estudios para la Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos. México.
9. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. 2020. Texto refundido, coordinado y sistematizado del código del trabajo.
10. Comisión nacional de energía. Sistema de información en línea de precios de combustibles en estaciones de servicio. [En línea] 01 de diciembre de 2020 [Citado el: 01 de diciembre de 2020]. <http://www.bencinaenlinea.cl/web2/buscador.php?region=7>
11. Dolaronline. Valor dólar hoy. [En línea] 05 de diciembre de 2020 [Citado en: 05 de diciembre de 2020]. <https://www.dolaronline.cl/>

CAPÍTULO 7: ANEXOS

7.1 Velocidades de Perforación

Tabla 33: Velocidades de perforación con barra de 1,2 [m] de la pareja perforista 1.

Tiempo de Perforación [min]	Metros Perforados [m]	Velocidad de Perforación [m/min]
3,2	1,2	0,38
3,6	1,2	0,33
3,5	1,2	0,34
3,9	1,2	0,31
3,3	1,2	0,36
3,5	1,2	0,34
3,3	1,2	0,36
2,9	1,2	0,41
3,7	1,2	0,32
3,9	1,2	0,31
3,0	1,2	0,40
2,3	1,2	0,52
3,3	1,2	0,36
2,6	1,2	0,46
2,3	1,2	0,52
3,2	1,2	0,38
3,6	1,2	0,33
2,8	1,2	0,43
3,3	1,2	0,36
2,8	1,2	0,43
3,6	1,2	0,33
2,9	1,2	0,41
3,6	1,2	0,33
3,9	1,2	0,31
3,5	1,2	0,34
4,2	1,2	0,29
5,3	1,2	0,23
4,8	1,2	0,25
4,5	1,2	0,27
5,2	1,2	0,23
2,0	1,2	0,60
1,8	1,2	0,67
2,5	1,2	0,48
2,1	1,2	0,57
2,3	1,2	0,52
1,9	1,2	0,63

1,7	1,2	0,71
2,3	1,2	0,52
2,4	1,2	0,50
2,0	1,2	0,60
2,9	1,2	0,41
3,2	1,2	0,38
3,4	1,2	0,35
3,0	1,2	0,40
2,9	1,2	0,41
3,8	1,2	0,32
4,3	1,2	0,28
4,5	1,2	0,27
4,6	1,2	0,26
3,8	1,2	0,32
4,5	1,2	0,27
4,6	1,2	0,26
4,0	1,2	0,30
4,5	1,2	0,27
4,9	1,2	0,24
4,9	1,2	0,24
4,5	1,2	0,27
5,1	1,2	0,24
4,9	1,2	0,24
4,8	1,2	0,25
3,5	1,2	0,34
3,8	1,2	0,32
3,0	1,2	0,40
3,6	1,2	0,33
3,4	1,2	0,35
2,9	1,2	0,41
3,3	1,2	0,36
3,5	1,2	0,34
3,6	1,2	0,33
3,4	1,2	0,35
2,5	1,2	0,48
2,9	1,2	0,41
3,0	1,2	0,40
3,2	1,2	0,38
2,8	1,2	0,43
2,9	1,2	0,41
2,5	1,2	0,48
2,6	1,2	0,46
3,0	1,2	0,40

2,8	1,2	0,43
Promedio		0,38

Tabla 34: Velocidades de perforación con barra de 2,4 [m] de la pareja perforista 1.

Tiempo de Perforación [min]	Metros Perforados [m]	Velocidad de Perforación [m/min]
3,0	1,2	0,40
2,9	1,2	0,41
3,3	1,2	0,36
3,6	1,2	0,33
2,9	1,2	0,41
2,8	1,2	0,43
3,2	1,2	0,38
3,5	1,2	0,34
3,2	1,2	0,38
3,4	1,2	0,35
3,3	1,2	0,36
2,4	1,2	0,50
3,2	1,2	0,38
3,4	1,2	0,35
3,2	1,2	0,38
3,3	1,2	0,36
3,8	1,2	0,32
2,9	1,2	0,41
3,0	1,2	0,40
3,1	1,2	0,39
5,0	1,2	0,24
4,5	1,2	0,27
4,9	1,2	0,24
5,5	1,2	0,22
4,7	1,2	0,26
2,0	1,2	0,60
2,3	1,2	0,52
2,5	1,2	0,48
1,6	1,2	0,75
2,4	1,2	0,50
2,4	1,2	0,50
1,7	1,2	0,71
2,2	1,2	0,55
2,1	1,2	0,57
1,8	1,2	0,67
3,1	1,2	0,39
3,5	1,2	0,34
3,0	1,2	0,40
3,3	1,2	0,36
3,3	1,2	0,36
4,2	1,2	0,29

3,9	1,2	0,31
4,5	1,2	0,27
4,4	1,2	0,27
4,0	1,2	0,30
4,3	1,2	0,28
4,5	1,2	0,27
4,5	1,2	0,27
4,8	1,2	0,25
5,0	1,2	0,24
4,6	1,2	0,26
4,2	1,2	0,29
5,2	1,2	0,23
5,0	1,2	0,24
4,9	1,2	0,24
3,8	1,2	0,32
4,2	1,2	0,29
4,3	1,2	0,28
4,0	1,2	0,30
4,1	1,2	0,29
3,2	1,2	0,38
3,6	1,2	0,33
3,9	1,2	0,31
3,3	1,2	0,36
3,8	1,2	0,32
3,0	1,2	0,40
3,2	1,2	0,38
2,9	1,2	0,41
3,3	1,2	0,36
3,1	1,2	0,39
3,0	1,2	0,40
3,2	1,2	0,38
2,8	1,2	0,43
2,9	1,2	0,41
3,3	1,2	0,36
Promedio		0,37

Tabla 35: Velocidades de perforación con barra de 1,2 [m] de la pareja perforista 2.

Tiempo de Perforación [min]	Metros Perforados [m]	Velocidad de Perforación [m/min]
3,7	1,2	0,32
4,2	1,2	0,29
4,0	1,2	0,30
3,8	1,2	0,32
4,4	1,2	0,27
3,9	1,2	0,31
4,1	1,2	0,29
4,5	1,2	0,27
4,8	1,2	0,25
3,8	1,2	0,32
3,5	1,2	0,34
4,0	1,2	0,30
3,1	1,2	0,39
3,6	1,2	0,33
3,5	1,2	0,34
3,4	1,2	0,36
2,4	1,2	0,51
2,7	1,2	0,45
2,6	1,2	0,47
3,0	1,2	0,40
3,3	1,2	0,36
4,2	1,2	0,29
3,0	1,2	0,40
4,0	1,2	0,30
4,1	1,2	0,29
3,8	1,2	0,32
4,2	1,2	0,29
3,5	1,2	0,34
3,8	1,2	0,32
4,0	1,2	0,30
3,2	1,2	0,38
4,0	1,2	0,30
4,5	1,2	0,27
3,5	1,2	0,34
4,1	1,2	0,29
3,5	1,2	0,34
3,8	1,2	0,32
3,2	1,2	0,38
4,0	1,2	0,30
3,7	1,2	0,32

3,5	1,2	0,34
4,0	1,2	0,30
4,0	1,2	0,30
4,2	1,2	0,29
3,8	1,2	0,32
3,5	1,2	0,34
4,6	1,2	0,26
4,0	1,2	0,30
4,2	1,2	0,29
3,9	1,2	0,31
4,2	1,2	0,29
4,8	1,2	0,25
4,9	1,2	0,24
4,7	1,2	0,26
4,5	1,2	0,27
3,0	1,2	0,40
4,6	1,2	0,26
4,3	1,2	0,28
4,2	1,2	0,29
4,5	1,2	0,27
2,8	1,2	0,43
3,6	1,2	0,33
4,1	1,2	0,29
3,8	1,2	0,32
3,5	1,2	0,34
3,0	1,2	0,40
3,2	1,2	0,38
3,8	1,2	0,32
3,5	1,2	0,34
3,3	1,2	0,36
3,0	1,2	0,40
3,2	1,2	0,38
3,8	1,2	0,32
3,5	1,2	0,34
3,3	1,2	0,36
Promedio		0,33

Tabla 36: Velocidades de perforación con barra de 2,4 [m] de la pareja perforista 2.

Tiempo de Perforación [min]	Metros Perforados [m]	Velocidad de Perforación [m/min]
4,0	1,2	0,30
4,3	1,2	0,28
4,4	1,2	0,27
3,8	1,2	0,32
3,5	1,2	0,34
3,7	1,2	0,32
4,3	1,2	0,28
4,2	1,2	0,29
4,3	1,2	0,28
3,5	1,2	0,34
3,7	1,2	0,32
3,4	1,2	0,35
3,0	1,2	0,40
4,2	1,2	0,29
3,2	1,2	0,38
2,6	1,2	0,46
2,6	1,2	0,46
2,9	1,2	0,42
2,8	1,2	0,44
2,7	1,2	0,44
2,9	1,2	0,41
3,2	1,2	0,38
3,0	1,2	0,40
3,2	1,2	0,38
3,3	1,2	0,36
3,6	1,2	0,33
3,5	1,2	0,34
4,1	1,2	0,29
3,7	1,2	0,32
4,3	1,2	0,28
3,9	1,2	0,31
4,0	1,2	0,30
4,2	1,2	0,29
4,5	1,2	0,27
4,3	1,2	0,28
3,8	1,2	0,32
4,5	1,2	0,27
4,8	1,2	0,25
3,9	1,2	0,31
4,0	1,2	0,30
4,2	1,2	0,29

5,1	1,2	0,24
5,0	1,2	0,24
4,5	1,2	0,27
4,8	1,2	0,25
4,8	1,2	0,25
5,0	1,2	0,24
4,2	1,2	0,29
4,3	1,2	0,28
4,5	1,2	0,27
4,7	1,2	0,26
4,5	1,2	0,27
4,8	1,2	0,25
4,8	1,2	0,25
4,8	1,2	0,25
5,5	1,2	0,22
6,4	1,2	0,19
5,9	1,2	0,20
5,7	1,2	0,21
6,2	1,2	0,19
4,8	1,2	0,25
4,3	1,2	0,28
5,8	1,2	0,21
5,6	1,2	0,21
4,9	1,2	0,24
3,3	1,2	0,36
3,6	1,2	0,33
4,0	1,2	0,30
3,9	1,2	0,31
3,6	1,2	0,33
3,4	1,2	0,35
3,6	1,2	0,33
3,5	1,2	0,34
3,3	1,2	0,36
3,8	1,2	0,32
Promedio		0,30

Tabla 37: Velocidades de perforación con barra de 1,2 [m] de la pareja perforista 3.

Tiempo de Perforación [min]	Metros Perforados [m]	Velocidad de Perforación [m/min]
3,4	1,2	0,35
3,5	1,2	0,34
3,9	1,2	0,31
4,3	1,2	0,28
3,6	1,2	0,33
3,4	1,2	0,35
4,2	1,2	0,29
3,8	1,2	0,32
3,6	1,2	0,33
3,4	1,2	0,35
3,3	1,2	0,36
3,5	1,2	0,34
4,0	1,2	0,30
3,2	1,2	0,38
2,8	1,2	0,43
2,5	1,2	0,49
2,6	1,2	0,46
3,0	1,2	0,40
2,9	1,2	0,42
2,9	1,2	0,42
2,9	1,2	0,41
2,8	1,2	0,43
3,5	1,2	0,34
3,2	1,2	0,38
2,8	1,2	0,43
2,5	1,2	0,48
2,8	1,2	0,43
2,2	1,2	0,55
3,0	1,2	0,40
2,0	1,2	0,60
4,0	1,2	0,30
3,5	1,2	0,34
3,6	1,2	0,33
3,8	1,2	0,32
3,9	1,2	0,31
2,5	1,2	0,48
2,6	1,2	0,46
2,8	1,2	0,43
3,0	1,2	0,40
2,4	1,2	0,50
3,5	1,2	0,34

4,0	1,2	0,30
3,2	1,2	0,38
3,8	1,2	0,32
4,2	1,2	0,29
3,7	1,2	0,32
3,6	1,2	0,33
3,3	1,2	0,36
3,7	1,2	0,32
3,4	1,2	0,35
3,5	1,2	0,34
3,6	1,2	0,33
3,2	1,2	0,38
3,3	1,2	0,36
3,2	1,2	0,38
2,6	1,2	0,46
3,9	1,2	0,31
3,5	1,2	0,34
3,2	1,2	0,38
2,9	1,2	0,41
4,5	1,2	0,27
4,8	1,2	0,25
4,3	1,2	0,28
5,0	1,2	0,24
4,7	1,2	0,26
3,8	1,2	0,32
4,5	1,2	0,27
4,2	1,2	0,29
4,8	1,2	0,25
4,3	1,2	0,28
4,6	1,2	0,26
3,2	1,2	0,38
3,4	1,2	0,35
3,8	1,2	0,32
4,0	1,2	0,30
3,3	1,2	0,36
3,0	1,2	0,40
3,2	1,2	0,38
3,5	1,2	0,34
3,3	1,2	0,36
3,2	1,2	0,38
3,0	1,2	0,40
3,5	1,2	0,34
3,3	1,2	0,36
3,4	1,2	0,35

2,5	1,2	0,48
2,8	1,2	0,43
3,2	1,2	0,38
3,0	1,2	0,40
2,8	1,2	0,43
3,0	1,2	0,40
3,2	1,2	0,38
3,3	1,2	0,36
3,5	1,2	0,34
3,1	1,2	0,39
Promedio		0,36

Tabla 38: Velocidades de perforación con barra de 2,4 [m] de la pareja perforista 3.

Tiempo de Perforación [min]	Metros Perforados [m]	Velocidad de Perforación [m/min]
3,1	1,2	0,39
2,5	1,2	0,48
3,2	1,2	0,38
3,6	1,2	0,33
3,0	1,2	0,40
4,5	1,2	0,27
3,9	1,2	0,31
3,5	1,2	0,34
3,9	1,2	0,31
4,0	1,2	0,30
3,1	1,2	0,39
3,3	1,2	0,36
3,2	1,2	0,38
2,5	1,2	0,48
3,1	1,2	0,39
4,4	1,2	0,27
4,5	1,2	0,26
4,1	1,2	0,29
4,7	1,2	0,26
4,5	1,2	0,27
2,9	1,2	0,41
3,5	1,2	0,34
3,6	1,2	0,33
3,5	1,2	0,34
3,3	1,2	0,36
2,8	1,2	0,43
2,2	1,2	0,55
2,6	1,2	0,46
1,9	1,2	0,63
2,9	1,2	0,41
3,9	1,2	0,31
3,1	1,2	0,39
3,5	1,2	0,34
3,3	1,2	0,36
3,4	1,2	0,35
2,8	1,2	0,43
3,2	1,2	0,38
3,0	1,2	0,40
3,1	1,2	0,39
2,9	1,2	0,41
4,5	1,2	0,27

4,9	1,2	0,24
3,8	1,2	0,32
4,2	1,2	0,29
4,8	1,2	0,25
3,9	1,2	0,31
3,7	1,2	0,32
3,8	1,2	0,32
4,2	1,2	0,29
4,0	1,2	0,30
3,6	1,2	0,33
3,5	1,2	0,34
3,3	1,2	0,36
3,9	1,2	0,31
3,0	1,2	0,40
2,8	1,2	0,43
3,5	1,2	0,34
3,6	1,2	0,33
3,0	1,2	0,40
3,2	1,2	0,38
5,0	1,2	0,24
4,5	1,2	0,27
4,8	1,2	0,25
4,9	1,2	0,24
4,8	1,2	0,25
4,5	1,2	0,27
4,2	1,2	0,29
4,2	1,2	0,29
4,0	1,2	0,30
4,4	1,2	0,27
5,2	1,2	0,23
4,5	1,2	0,27
4,8	1,2	0,25
4,7	1,2	0,26
4,9	1,2	0,24
5,0	1,2	0,24
5,8	1,2	0,21
6,6	1,2	0,18
4,5	1,2	0,27
4,5	1,2	0,27
3,6	1,2	0,33
3,6	1,2	0,33
3,8	1,2	0,32
3,9	1,2	0,31
4,0	1,2	0,30

3,1	1,2	0,39
3,0	1,2	0,40
3,2	1,2	0,38
2,9	1,2	0,41
3,3	1,2	0,36
3,5	1,2	0,34
3,8	1,2	0,32
3,5	1,2	0,34
4,0	1,2	0,30
3,2	1,2	0,38
Promedio		0,33

Tabla 39: Velocidades de perforación con barra de 1,2 [m] de la pareja perforista 4.

Tiempo de Perforación [min]	Metros Perforados [m]	Velocidad de Perforación [m/min]
3,0	1,2	0,40
3,5	1,2	0,34
3,7	1,2	0,32
3,3	1,2	0,36
3,5	1,2	0,34
8,6	1,2	0,14
8,2	1,2	0,15
7,8	1,2	0,15
9,1	1,2	0,13
8,3	1,2	0,14
7,5	1,2	0,16
7,9	1,2	0,15
6,2	1,2	0,19
8,6	1,2	0,14
8,3	1,2	0,14
6,3	1,2	0,19
5,8	1,2	0,21
5,2	1,2	0,23
6,5	1,2	0,18
7,1	1,2	0,17
2,5	1,2	0,48
2,5	1,2	0,48
2,4	1,2	0,50
2,5	1,2	0,48
2,2	1,2	0,55
3,2	1,2	0,38
3,8	1,2	0,32
3,5	1,2	0,34
3,3	1,2	0,36
3,5	1,2	0,34
2,4	1,2	0,50
2,3	1,2	0,52
2,5	1,2	0,48
2,4	1,2	0,50
2,0	1,2	0,60
2,5	1,2	0,48
4,1	1,2	0,29
3,3	1,2	0,36
4,0	1,2	0,30
3,8	1,2	0,32
4,3	1,2	0,28

3,8	1,2	0,32
3,7	1,2	0,32
4,0	1,2	0,30
4,5	1,2	0,27
4,1	1,2	0,29
3,9	1,2	0,31
4,0	1,2	0,30
4,2	1,2	0,29
3,4	1,2	0,35
3,5	1,2	0,34
3,9	1,2	0,31
3,4	1,2	0,35
3,2	1,2	0,38
3,8	1,2	0,32
3,0	1,2	0,40
3,2	1,2	0,38
3,1	1,2	0,39
3,6	1,2	0,33
3,5	1,2	0,34
3,0	1,2	0,40
3,1	1,2	0,39
2,8	1,2	0,43
3,5	1,2	0,34
3,3	1,2	0,36
3,2	1,2	0,38
3,5	1,2	0,34
3,3	1,2	0,36
2,8	1,2	0,43
3,0	1,2	0,40
2,5	1,2	0,48
2,6	1,2	0,46
2,3	1,2	0,52
2,7	1,2	0,44
2,5	1,2	0,48
Promedio		0,34

Tabla 40: Velocidades de perforación con barra de 2,4 [m] de la pareja perforista 4.

Tiempo de Perforación [min]	Metros Perforados [m]	Velocidad de Perforación [m/min]
3,8	1,2	0,32
4,0	1,2	0,30
3,9	1,2	0,31
3,8	1,2	0,32
3,5	1,2	0,34
7,0	1,2	0,17
8,8	1,2	0,14
6,7	1,2	0,18
8,3	1,2	0,14
7,8	1,2	0,15
5,9	1,2	0,20
6,8	1,2	0,18
8,2	1,2	0,15
7,0	1,2	0,17
7,6	1,2	0,16
7,0	1,2	0,17
6,5	1,2	0,18
5,9	1,2	0,20
6,2	1,2	0,19
6,0	1,2	0,20
2,1	1,2	0,57
2,1	1,2	0,57
2,1	1,2	0,57
2,1	1,2	0,57
2,2	1,2	0,55
3,9	1,2	0,31
3,1	1,2	0,39
3,7	1,2	0,32
3,9	1,2	0,31
3,6	1,2	0,33
2,8	1,2	0,43
2,9	1,2	0,41
2,6	1,2	0,46
2,7	1,2	0,44
2,8	1,2	0,43
6,0	1,2	0,20
7,0	1,2	0,17
6,6	1,2	0,18
3,5	1,2	0,34
4,1	1,2	0,29
3,6	1,2	0,33

4,5	1,2	0,27
4,3	1,2	0,28
4,0	1,2	0,30
3,8	1,2	0,32
3,5	1,2	0,34
3,8	1,2	0,32
3,9	1,2	0,31
3,5	1,2	0,34
4,2	1,2	0,29
2,9	1,2	0,41
2,6	1,2	0,46
4,2	1,2	0,29
3,3	1,2	0,36
3,5	1,2	0,34
3,8	1,2	0,32
3,5	1,2	0,34
3,4	1,2	0,35
4,0	1,2	0,30
3,8	1,2	0,32
3,2	1,2	0,38
3,6	1,2	0,33
3,5	1,2	0,34
3,2	1,2	0,38
3,3	1,2	0,36
3,0	1,2	0,40
3,5	1,2	0,34
3,3	1,2	0,36
3,6	1,2	0,33
3,3	1,2	0,36
3,2	1,2	0,38
3,5	1,2	0,34
3,2	1,2	0,38
3,0	1,2	0,40
3,3	1,2	0,36
Promedio		0,32

Tabla 41: Velocidades de perforación con barra de 1,2 [m] de la pareja perforista 5.

Tiempo de Perforación [min]	Metros Perforados [m]	Velocidad de Perforación [m/min]
4,5	1,2	0,27
3,9	1,2	0,31
2,2	1,2	0,55
3,5	1,2	0,34
4,0	1,2	0,30
4,3	1,2	0,28
2,6	1,2	0,46
3,8	1,2	0,32
3,2	1,2	0,38
4,0	1,2	0,30
4,2	1,2	0,29
3,6	1,2	0,33
2,5	1,2	0,48
4,0	1,2	0,30
2,4	1,2	0,50
2,2	1,2	0,55
2,3	1,2	0,52
2,1	1,2	0,57
2,5	1,2	0,48
2,0	1,2	0,60
2,1	1,2	0,57
2,2	1,2	0,55
2,1	1,2	0,57
2,5	1,2	0,48
2,3	1,2	0,52
3,2	1,2	0,38
3,6	1,2	0,33
4,2	1,2	0,29
3,9	1,2	0,31
4,0	1,2	0,30
3,5	1,2	0,34
4,1	1,2	0,29
4,0	1,2	0,30
3,8	1,2	0,32
4,2	1,2	0,29
4,4	1,2	0,27
3,8	1,2	0,32
4,2	1,2	0,29
3,6	1,2	0,33
4,0	1,2	0,30
3,0	1,2	0,40

3,5	1,2	0,34
2,8	1,2	0,43
3,8	1,2	0,32
3,7	1,2	0,32
2,5	1,2	0,48
2,3	1,2	0,52
2,7	1,2	0,44
2,5	1,2	0,48
2,6	1,2	0,46
2,8	1,2	0,43
2,5	1,2	0,48
3,0	1,2	0,40
3,1	1,2	0,39
2,9	1,2	0,41
2,8	1,2	0,43
2,9	1,2	0,41
3,2	1,2	0,38
3,0	1,2	0,40
2,9	1,2	0,41
2,4	1,2	0,50
2,4	1,2	0,50
2,5	1,2	0,48
2,2	1,2	0,55
2,7	1,2	0,44
2,3	1,2	0,52
2,5	1,2	0,48
2,5	1,2	0,48
2,1	1,2	0,57
2,6	1,2	0,46
2,3	1,2	0,52
2,8	1,2	0,43
2,5	1,2	0,48
2,1	1,2	0,57
2,7	1,2	0,44
Promedio		0,42

Tabla 42: Velocidades de perforación con barra de 2,4 [m] de la pareja perforista 5.

Tiempo de Perforación [min]	Metros Perforados [m]	Velocidad de Perforación [m/min]
3,1	1,2	0,39
2,2	1,2	0,55
3,0	1,2	0,40
2,7	1,2	0,44
3,8	1,2	0,32
3,3	1,2	0,36
2,4	1,2	0,50
3,7	1,2	0,32
2,7	1,2	0,44
3,1	1,2	0,39
3,2	1,2	0,38
3,0	1,2	0,40
2,5	1,2	0,48
3,3	1,2	0,36
2,9	1,2	0,41
2,5	1,2	0,48
2,8	1,2	0,43
2,7	1,2	0,44
2,3	1,2	0,52
2,5	1,2	0,48
2,3	1,2	0,52
2,5	1,2	0,48
2,0	1,2	0,60
2,1	1,2	0,57
2,3	1,2	0,52
5,0	1,2	0,24
5,2	1,2	0,23
4,5	1,2	0,27
4,5	1,2	0,27
6,0	1,2	0,20
4,0	1,2	0,30
4,3	1,2	0,28
5,9	1,2	0,20
4,6	1,2	0,26
4,9	1,2	0,24
4,2	1,2	0,29
4,1	1,2	0,29
4,2	1,2	0,29
4,7	1,2	0,26
4,5	1,2	0,27
3,8	1,2	0,32

4,0	1,2	0,30
3,2	1,2	0,38
3,5	1,2	0,34
3,8	1,2	0,32
3,1	1,2	0,39
3,5	1,2	0,34
2,8	1,2	0,43
2,9	1,2	0,41
3,5	1,2	0,34
3,1	1,2	0,39
3,0	1,2	0,40
3,3	1,2	0,36
2,9	1,2	0,41
3,4	1,2	0,35
3,3	1,2	0,36
3,2	1,2	0,38
3,0	1,2	0,40
3,4	1,2	0,35
3,3	1,2	0,36
3,1	1,2	0,39
3,6	1,2	0,33
3,2	1,2	0,38
3,0	1,2	0,40
3,4	1,2	0,35
3,3	1,2	0,36
3,7	1,2	0,32
3,2	1,2	0,38
3,1	1,2	0,39
2,9	1,2	0,41
3,5	1,2	0,34
3,1	1,2	0,39
3,0	1,2	0,40
3,4	1,2	0,35
3,3	1,2	0,36
Promedio		0,37

Tabla 43: Velocidades de perforación con barra de 1,2 [m] de la pareja perforista 6.

Tiempo de perforación [min]	Metros perforados [m]	Velocidad de perforación [m/min]
2,2	1,2	0,55
2,4	1,2	0,50
2,3	1,2	0,52
2,6	1,2	0,46
2,3	1,2	0,52
2,3	1,2	0,52
2,5	1,2	0,48
2,0	1,2	0,60
2,5	1,2	0,48
2,2	1,2	0,55
2,8	1,2	0,43
2,5	1,2	0,48
2,3	1,2	0,52
2,6	1,2	0,46
2,5	1,2	0,48
Promedio		0,50

Tabla 44: Velocidades de perforación con barra de 2,4 [m] de la pareja perforista 6.

Tiempo de perforación [min]	Metros perforados [m]	Velocidad de perforación [m/min]
3,6	1,2	0,33
3,4	1,2	0,35
3,5	1,2	0,34
3,2	1,2	0,38
3,5	1,2	0,34
3,5	1,2	0,34
3,3	1,2	0,36
3,3	1,2	0,36
3,5	1,2	0,34
3,6	1,2	0,33
3,5	1,2	0,34
3,6	1,2	0,33
3,8	1,2	0,32
3,5	1,2	0,34
3,7	1,2	0,32
Promedio		0,34

7.2 Dimensiones por Disparo

Tabla 45: Tiros por disparo de las 6 parejas perforistas.

Tiros por Disparo						
N° Disparo	Pareja 1	Pareja 2	Pareja 3	Pareja 4	Pareja 5	Pareja 6
1	24	19	23	20	15	24
2	26	26	10	23	21	26
3	11	12	15	23	13	17
4	10	10	12	18	20	24
5	10	12	12	20	20	28
6	15	12	20	23	16	26
7	18	20	20	23	16	28
8	20	16	15	23	20	
9	24	20	23	18	18	
10	20	18	20	22	18	
11	17	20	18	15	20	
12	20	17	18	17	20	
13	20	17	11	23	20	
14	12	20	18	15	30	
15	20	18	15	17	17	
16	26	20	16	30	20	
17	25	20	13	32	32	
18	25	20	14	26	17	
19	20	17	29	26	18	
20	20	20	18	30	16	
21	20	16	22	30	27	
22	20	20	14	30	20	
23	23	16	26	20	22	
24	20	17	30	26	15	
25	20	21	24	24	18	
26	25	20	19	27	25	
27	22	20	21	27	26	
28	20	24	17	18	20	
29	20	15	19	15	15	
30	20	20	13	18	17	
31	20	15	7	20	15	
32	15	15	14	25	18	
33	15	17	8	25	14	
34	20	17	25	23	18	
35	20	17	22	22	16	
36	15	14	22	20	20	
37	20	16	6	20	20	
38	21	18	16	24	20	
39	20	14	12	20	19	

40	18	16	13	20	19
41	16	20	20	20	15
42	16	18	20	22	15
43	18	18	22	15	22
44	15	15	22	22	25
45	18	18	11	21	25
46	20	15	8	18	25
47	18	23	20	22	23
48	19	15	30	12	19
49	25	11	28	20	18
50	24	17	31	15	20
51	14	18		18	16
52	20	18		25	17
53	20	15		29	30
54	30	16			30
55	35				25
56	30				24
57	26				
58	20				

Tabla 46: Dimensiones de los disparos.

N° Disparo	Alto [m]	Ancho [m]	Largo Barra [m]	Factor de Avance	Avance Real [m]
1	2,3	4,5	2,4	0,8	1,9
2	3,2	4	2,4	0,8	1,9
3	3,3	3	2,4	0,8	1,9
4	3	3,6	2,4	0,8	1,9
5	3	4	2,4	0,8	1,9
6	2,3	3,8	2,4	0,8	1,9
7	2,5	4	2,4	0,8	1,9
8	3,2	2,7	2,4	0,8	1,9
9	2,5	3,6	2,4	0,8	1,9
10	2	4,5	2,4	0,8	1,9
11	2,5	3,5	2,4	0,8	1,9
12	2	4	2,4	0,8	1,9
13	3	3	2,4	0,8	1,9
14	3,5	3,5	2,4	0,8	1,9
15	3	3,5	2,4	0,8	1,9
16	2,5	3,5	2,4	0,8	1,9
17	2	4,5	2,4	0,8	1,9
18	2	4	2,4	0,8	1,9
19	3,3	3,3	2,4	0,8	1,9
20	3	3,5	2,4	0,8	1,9
21	3	3	2,4	0,8	1,9
22	2	3,5	2,4	0,8	1,9
23	2,8	3,5	2,4	0,8	1,9
24	3	2,8	2,4	0,8	1,9
25	2,3	3,6	2,4	0,8	1,9
26	3	3,2	2,4	0,8	1,9
27	2	3,5	2,4	0,8	1,9
28	3	3,5	2,4	0,8	1,9
29	2,5	3,5	2,4	0,8	1,9
30	3	3,3	2,4	0,8	1,9
31	1,5	4	2,4	0,8	1,9
32	3,2	3,4	2,4	0,8	1,9
33	3,2	3,5	2,4	0,8	1,9
34	3,1	3,5	2,4	0,8	1,9
35	3	3	2,4	0,8	1,9
36	2	4,2	2,4	0,8	1,9
37	2	3,8	2,4	0,8	1,9
38	3,3	3,5	2,4	0,8	1,9
39	2,1	3,9	2,4	0,8	1,9
40	1,9	4,2	2,4	0,8	1,9
41	2	3,8	2,4	0,8	1,9

42	2	4	2,4	0,8	1,9
43	3,3	3,5	2,4	0,8	1,9
44	3	4	2,4	0,8	1,9
45	3,4	3,2	2,4	0,8	1,9
46	3	3,3	2,4	0,8	1,9
47	2,5	4	2,4	0,8	1,9
48	2,5	3,5	2,4	0,8	1,9
49	3,3	3,3	2,4	0,8	1,9
50	2,9	3	2,4	0,8	1,9
51	2,3	3,9	2,4	0,8	1,9
52	2,2	4,3	2,4	0,8	1,9
53	3	2,8	2,4	0,8	1,9
54	3,2	3,2	2,4	0,8	1,9
55	2,9	2,7	2,4	0,8	1,9
56	3	2,7	2,4	0,8	1,9
57	1,5	4	2,4	0,8	1,9
58	2,8	3,8	2,4	0,9	2,2
59	3,2	3,5	2,4	0,9	2,2
60	2,8	2,8	2,4	0,9	2,2
61	3	3,1	2,4	0,9	2,2
62	2,8	3,2	2,4	0,8	1,9
63	2,5	4	2,4	0,9	2,2
64	2,8	3	2,4	0,9	2,2
65	3,1	3,1	2,4	0,9	2,2
66	2,5	2,3	2,4	0,9	2,2
67	4	2,2	2,4	0,9	2,2
68	3	2,9	2,4	0,8	1,9
69	3	3,1	2,4	0,8	1,9
70	2,5	2,5	2,4	0,8	1,9
71	3,5	3	2,4	0,8	1,9
72	3,5	3,5	2,4	0,9	2,2
73	2,6	3	2,4	0,9	2,2
74	3,5	3,5	2,4	0,8	1,9
75	3	3	2,4	0,8	1,9
76	3	3,5	2,4	0,8	1,9
77	3,2	3,5	2,4	0,9	2,2
78	2,8	3	2,4	0,9	2,2
79	3	3,2	2,4	0,8	1,9
80	3	3	2,4	0,8	1,9
81	3	3	2,4	0,8	1,9
82	3	3,5	2,4	0,9	2,2
83	2,8	3	2,4	0,9	2,2
84	3	2,9	2,4	0,8	1,9
85	3	3	2,4	0,8	1,9

86	3	2,5	2,4	0,8	1,9
87	2	3,5	2,4	0,9	2,2
88	3	3	2,4	0,9	2,2
89	3	2,2	2,4	0,8	1,9
90	3	3	2,4	0,8	1,9
91	3	3	2,4	0,8	1,9
92	4	1,5	2,4	0,9	2,2
93	3,5	1,5	2,4	0,9	2,2
94	3	2,7	2,4	0,8	1,9
95	3	3	2,4	0,8	1,9
96	3	3	2,4	0,8	1,9
97	4	1,5	2,4	0,9	2,2
98	3,5	1,5	2,4	0,9	2,2
99	3	2,7	2,4	0,8	1,9
100	3	3	2,4	0,8	1,9
Promedio	2,8	3,3	2,4	0,82	2,0

7.3 Tiempos Según Norma ASARCO

Tabla 47: Tiempo de mantenencias de los equipos LHD y dumper.

Día	Mantenición LHD [h]	Mantenición Dumper [h]
1	4,5	0,0
2	0,0	0,8
3	1,7	0,8
4	4,3	4,3
5	2,0	2,7
6	1,2	0,0
7	2,4	0,0
8	0,0	0,8
9	0,0	2,6
10	0,0	0,0
11	2,0	2,0
12	2,2	2,2
13	0,0	4,0
14	0,5	0,0
15	0,5	0,5
16	0,0	0,0
17	2,0	0,0
18	3,2	0,0
19	0,4	0,5
20	1,0	0,0
21	0,0	0,0
22	0,0	0,0
23	0,0	0,0
24	0,0	0,0
25	8,0	0,0
26	1,8	0,3
27	0,0	2,9
28	0,0	0,5
29	0,0	1,0
30	0,0	0,0
31	0,0	0,0
32	0,0	0,0
33	0,0	0,0
34	0,0	0,0
35	0,0	1,0
36	3,2	1,5
37	2,8	1,0
38	1,9	0,0
39	0	0,0
40	1,2	0,8

Promedio	1,2	0,8
-----------------	------------	------------

Tabla 48: Tiempos de reservas de los equipos LHD y dumper.

Día	Reservas LHD [h]	Reservas dumper [h]
1	0,0	0,0
2	0,0	2,0
3	2,0	0,0
4	0,0	0,0
5	0,0	0,0
6	0,0	0,0
7	0,0	0,0
8	0,0	0,0
9	0,0	0,0
10	0,0	0,0
11	0,0	0,0
12	0,0	0,0
13	0,0	0,0
14	0,0	0,0
15	0,0	0,0
16	0,0	0,0
17	0,0	0,0
18	0,0	0,0
19	1,1	0,0
20	0,0	0,0
21	0,0	0,0
22	0,0	0,0
23	0,0	0,0
24	0,0	0,0
25	0,0	0,0
26	0,0	0,0
27	0,0	0,0
28	0,0	0,0
29	0,0	0,0
30	0,0	0,0
31	0,0	0,0
32	0,0	0,0
33	0,0	0,0
34	0,0	0,0
35	0,0	0,0
36	1,0	0,0
37	0,0	0,0
38	0,9	0,0
Promedio	0,1	0,1

Tabla 49: Tiempos de demoras de los equipos LHD y dumper.

Día	Duración demora [h]
1	0,6
2	0,4
3	0,7
4	0,4
5	0,5
6	0,6
7	0,7
8	0,4
9	0,3
10	0,4
11	0,6
12	0,5
13	0,3
14	0,3
15	0,5
16	0,6
17	0,7
18	0,6
19	0,6
20	0,5
21	0,3
22	0,6
23	0,6
24	0,4
25	0,5
26	0,5
27	0,4
28	0,5
29	0,7
30	0,5
31	0,3
32	0,4
33	0,5
34	0,6
35	0,7
36	0,4
37	0,5
38	0,5
39	0,4
40	0,6

Promedio	0,5
-----------------	------------

7.4 Velocidades de los Equipos de Carguío y Transporte

Tabla 50: Mediciones para calcular la velocidad media vacío del dumper.

Medición	Distancia [m]	Tiempo [s]	Velocidad media vacío [m/s]
1	571	244	2,3
2	571	284	2,0
3	571	210	2,7
4	571	300	1,9
5	571	248	2,3
6	571	249	2,3
7	571	253	2,3
8	571	251	2,3
9	571	241	2,4
10	571	272	2,1
11	571	234	2,4
12	571	234	2,4
13	571	237	2,4
14	619	222	2,8
15	619	230	2,7
16	619	225	2,8
17	619	217	2,9
18	633	466	1,4
19	633	412	1,5
20	633	348	1,8
21	633	353	1,8
22	633	342	1,9
23	633	362	1,7
24	633	349	1,8
25	571	297	1,9
26	571	335	1,7
27	571	269	2,1
28	571	271	2,1
29	571	290	2,0
30	571	263	2,2
31	571	299	1,9
32	571	281	2,0
33	619	241	2,6
34	619	241	2,6
35	619	256	2,4
36	619	282	2,2
Promedio			2,2

Tabla 51: Mediciones para calcular la velocidad media cargado del dumper.

Medición	Distancia [m]	Tiempo [s]	Velocidad media cargado [m/s]
1	571	233	2,5
2	571	258	2,2
3	571	293	1,9
4	571	297	1,9
5	571	200	2,9
6	571	247	2,3
7	571	254	2,2
8	571	244	2,3
9	571	251	2,3
10	571	249	2,3
11	571	249	2,3
12	571	249	2,3
13	571	251	2,3
14	619	263	2,4
15	619	261	2,4
16	619	254	2,4
17	619	245	2,5
18	633	443	1,4
19	633	446	1,5
20	633	417	1,8
21	633	425	1,8
22	633	408	1,9
23	633	415	1,7
24	633	428	1,8
25	571	282	2,0
26	571	341	1,7
27	571	304	1,9
28	571	333	1,7
29	571	332	1,7
30	571	313	1,8
31	571	307	1,9
32	571	316	1,8
33	619	334	1,9
34	619	344	1,8
35	619	347	1,8
36	619	330	1,9
Promedio			2,0

Tabla 52: Mediciones para calcular la velocidad media vacío del LHD.

Medición	Distancia [m]	Tiempo [s]	Velocidad media [m/s]
1	33	33	1,0
2	33	34	1,0
3	18	14	1,3
4	18	14	1,3
5	18	14	1,3
6	18	12	1,5
7	18	15	1,2
Promedio			1,2

Tabla 53: Mediciones para calcular la velocidad media cargado del LHD.

Medición	Distancia [m]	Tiempo [s]	Velocidad media [m/s]
1	33	37	0,9
2	33	49	0,7
3	18	15	1,2
4	18	15	1,2
5	18	15	1,2
6	18	18	1,0
7	18	23	0,8
8	29	30	1,0
9	29	28	1,0
10	29	34	0,9
Promedio			1,0

7.5 Circuitos de Carguío

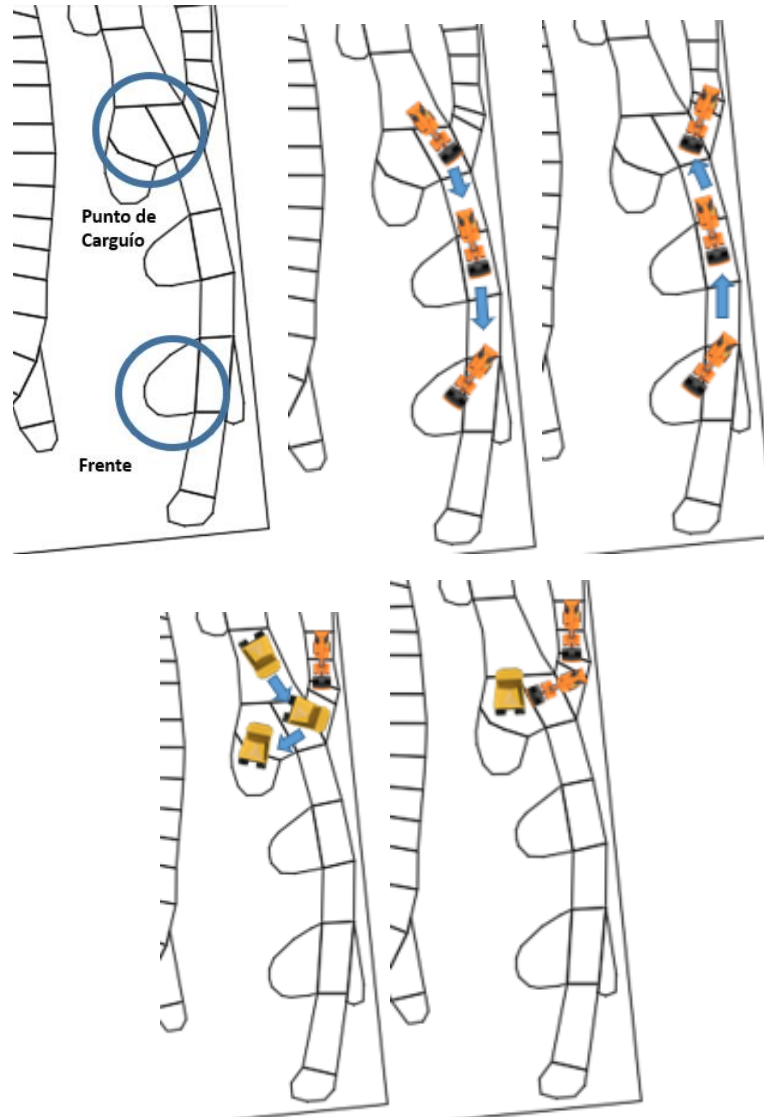


Figura 16: Ejemplo 1 de circuito de carguío.



Figura 17: Ejemplo 2 de circuito de carguío.