



Escuela de Postgrado GERENS

Maestría en Gestión Minera

MGM-2013-II

Identificación y Análisis de los Tiempos Improductivos en Equipos de las Principales Actividades Operativas del ciclo de producción de una Mina Subterránea *Sublevel Stopping* (Tajeo por Subniveles)

Tesis presentada de acuerdo a los reglamentos de la Escuela de Postgrado GERENS para obtener el grado de Magíster en Gestión Minera

por¹:

.....

Miller Arriel Pereira

.....

Luis Vela Arellano

.....

José Marco Rojas Pérez

Lima 08 de enero de 2016

¹ Revisado en enero del 2016

© Autor, año.

Todos los derechos reservados.

En primer lugar a Dios, por guiar mi camino.

En segundo lugar, a mi esposa Luz y a mis hijos Yahir y Steve, quienes con su paciencia y comprensión, sacrificaron su tiempo para que yo pueda cumplir con este objetivo. Gracias por su amor y sacrificio, ahora puedo decir que esta tesis lleva mucho de ustedes.

José Marco Rojas Pérez

A mi amada esposa Fernanda y a mi hermosa hija Beatriz que, con mucho cariño y paciencia, siempre me apoyaron para que yo lograra esta importante etapa de mi vida. Muy grato también a Víctor Gobitz, pues si no fuera por su incentivo y consejos nada de esto sería posible.

Miller Arriel Pereira

A mi querida esposa Pamela y a mis hijos Joseph, Jean y Astrid que con mucho cariño y paciencia, me apoyaron para lograr este importante paso en mi vida profesional.

Luis Vela Arellano

Agradecimiento

Agradecemos especialmente a la Cia Minera Milpo por la apertura para realizar el trabajo y apoyo en suministrar los datos e informaciones. También al asesor Jaime Polar por la dedicación en apoyarnos en concluir este trabajo y a la profesora Ana Rosa Adaniya que, desde el comienzo, siempre nos ayudó y nos incentivó a desarrollar este estudio.

José Marco Rojas

Luis Vela Arellano

Miller Arriel Pereira

Resumen Ejecutivo

Compañía Minera MILPO S.A.A. con más de 65 años de operaciones mineras en el Perú (1949), es uno de los principales productores de Zinc, Plomo y Cobre en el Perú. MILPO es una organización líder en la concepción, ejecución y operación de proyectos minero-metalúrgicos, teniendo como premisa generar un proceso de mejora continua en la gestión de responsabilidad social de la compañía, a través de la creación de valor de manera responsable para sus accionistas, clientes, trabajadores, socios de negocio y comunidades.

Con operaciones desde el año 1949 en el Perú, y en alianza estratégica con el Grupo Votorantim desde el año 2010, MILPO ha venido adaptando y mejorando sus procesos con el objeto de generar mayor valor para todos sus grupos de interés bajo un enfoque de triple resultado (económico, social y ambiental).

MILPO cuenta con tres unidades mineras en operación en el Perú: Cerro Lindo (Ica), El Porvenir y Atacocha (Pasco), así como con los Proyectos: Hilarión (Ancash), Pukaqaqa (Huancavelica) y Magistral (Ancash), entre otros.

Este estudio se enfocó en la mina subterránea Cerro Lindo de Compañía Minera Milpo. La unidad minera se encuentra ubicada en el departamento de Ica, Perú, a 240 km de Lima.

En su gran mayoría, las operaciones industriales presentan pérdidas por presentar ineficiencias en sus actividades y consecuentemente desperdicio de recursos. Lo mismo se estima sucede en la industria minera, donde los tiempos improductivos son reconocidos como una de las principales fuentes de utilización deficiente de los recursos disponibles.

Tomando en cuenta el estudio de *McKinsey Global Institute* el mayor potencial de valor que puede ser adicionado por la industria minera alcanza a \$ 370 billones para 2025 y los 2 principales enfoques para llegar a estos valores son: Gestión de Operaciones y Mantenimiento de Equipos.

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo identificar, clasificar, cuantificar y analizar los tiempos improductivos presentados en las principales actividades del ciclo de minado de una mina subterránea y como estos impactan en los tiempos dedicados a actividades esenciales del proceso, a partir, principalmente, de la metodología de la “Gestión Lean (Gestión Esbelta) en la Industria Minera” en la operación Sublevel Stopping (Tajeo por Subniveles) de la mina subterránea Cerro Lindo, propiedad de la Cía. Minera Milpo.

Como resultado de la aplicación de la metodología Lean (Gestión Esbelta) en una mina de fluorita se tuvo inicialmente una distribución de la siguiente manera: 45.5% de actividades esenciales, 39.4% de actividades auxiliares y 15.1% de desperdicios. Pero a partir de acciones de mejoras, se obtuvo la siguiente distribución: 60.7% de actividades esenciales, 33.5% de actividades auxiliares y 5.8% de desperdicios o inútiles.

Los resultados obtenidos en el presente estudio, son alentadores y muestran una gran oportunidad de mejora para la Unidad Minera. A continuación se describen los resultados del análisis.

Los equipos analizados en la mina subterránea Cerro Lindo fueron, en primer lugar, los equipos de perforación de taladros largos, cuyos resultados iniciales tuvieron la siguiente distribución: 36.2% de actividades esenciales, 38.8% de actividades auxiliares y 25% de desperdicios. Pero con las acciones de mejora adecuadas, se obtendría 55.3% para las actividades esenciales, es decir, un incremento del 19.1%. En segundo lugar, se tienen los equipos de carguío, acarreo y descarga, cuyos resultados iniciales tuvieron la siguiente distribución: 45.3% de actividades esenciales, 43.6% de actividades auxiliares y 11.1% de desperdicios. Pero con las acciones de mejora adecuadas, se obtendría 61.7% para las actividades esenciales, es decir, un incremento del 18.1%. Y en tercer lugar, se tienen los equipos de perforación horizontal, con la siguiente distribución inicial: 26.5% de actividades esenciales, 53.8% de actividades auxiliares y 19.7%

de desperdicios. Pero con las acciones de mejora adecuadas, se obtendría 48.6% para las actividades esenciales, es decir, un incremento del 22.1%.

Como producto del incremento de las actividades esenciales, se podría incrementar la capacidad de producción hasta en 24,000 tpd, para los equipos de taladros largos y hasta de 27, 000 tpd para los equipos de carguío, acarreo y descarga.

Para llevar a cabo este trabajo, se tomó los reportes por equipo que fueron llenados por los mismos operadores; para un periodo de 4 meses. Así mismo se han realizado entrevistas a las personas involucradas con la operación.

En el primer capítulo se define el problema, se indica los objetivos de la tesis, tanto generales como específicas, se plantean 8 preguntas de investigación y se justifica el estudio.

En el segundo capítulo se trata sobre los conceptos de la aplicación del Lean Management, introducción al mantenimiento minero, gestión de productividad total, disponibilidad y utilización.

El tercer capítulo describe la empresa y la unidad minera en estudio, se indica los formatos de reporte para la medición, y se analizan los resultados.

El cuarto capítulo trata sobre el impacto de la disminución de los tiempos improductivos por tipo de equipo.

El último capítulo trata sobre las conclusiones y recomendaciones.

ÍNDICE

Lista de Figuras	xii
Lista de Tablas	xvi
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	1
1.1 Definición del problema	1
1.2 Objetivos de la tesis	1
1.2.1 Objetivos Generales	1
1.2.2 Objetivos Específicos	1
1.3 Preguntas de la investigación	2
1.4 Justificación del estudio	3
CAPÍTULO 2: MARCO CONCEPTUAL	5
2.1 Aplicación de <i>Lean Management</i> (“Gestión Esbelta”) al Ciclo de Maduración en una Empresa Industrial	5
2.2 Implementación de la Gestión <i>Lean</i> (“Gestión Esbelta”) en la Industria Minera	7
2.3 Introducción al Mantenimiento Minero	16
2.4 Gestión de Productividad Total en Empresas de Minería Subterránea	17
2.5 Resumen de los Conceptos Básicos de Disponibilidad y Utilización	21
2.5.1 Disponibilidad	21
2.5.2 Utilización	22
CAPÍTULO 3: DESCRIPCIÓN, MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	23
3.1 Descripción de la Empresa y Unidad Minera Foco del Estudio	23
3.2 Proceso de Mina en Cerro Lindo	25
3.2.1 Método <i>Sublevel Stopping</i> (Tajeo por Subniveles)	25
3.2.2 Ciclo de Minado y Equipos Utilizados	26
3.3 Alcance del Estudio: Actividades del Ciclo de Minado y Equipos	27
3.4 Medición de la Data	29
3.5 Análisis y Resultados	32
3.5.1 Evaluación de las Mediciones para los Equipos de Perforación de Taladros Largos	32

3.5.2	Tiempos Improductivos de Equipos de Limpieza y Carguío – Equipos de carga, acarreo y descargas	50
3.5.3	Tiempos Improductivos de Equipos de perforación horizontal	69
CAPÍTULO 4: IMPACTO DE LA DISMINUCIÓN DE LOS TIEMPOS IMPRODUCTIVOS		87
4.1	Evaluación de Escenarios de Mejora - Equipos de perforación de taladros largos	87
4.2.	Evaluación de Escenarios de Mejora - Equipos de Limpieza y Carguío Equipos de carga, acarreo y descarga	91
4.3.	Evaluación de Escenarios de Mejora - Equipos de perforación Equipos de perforación horizontal.....	95
4.4	Impacto económico.....	100
CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		102

Lista de figuras

Figura 1.1 Impacto económico potencial, de las aplicaciones para 2025.	3
Figura 2.1 Medios para generar innovaciones – industria minera.	9
Figura 2.2 Método de trabajo.	11
Figura 2.3 Marco conceptual – medición de inicial de tiempos.	12
Figura 2.4 Marco Conceptual – resumen de las primeras mediciones de tiempos.	12
Figura 2.5 Resumen de los tiempos después de las acciones.	13
Figura 2.6 Resumen de los tiempos después de las acciones tomadas.	14
Figura 2.7 Distribución del tiempo.	21
Figura 3.1 Ubicación.	24
Figura 3.2 Método de Explotación por Sublevel Stoping (Tajeo por Subniveles).	26
Figura 3.3 Ciclo de Minado en la Mina Cerro Lindo.	27
Figura 3.4 Equipos utilizados en el ciclo de minado.	27
Figura 3.5 Ejemplo de formato para colecta de datos perforación taladros largos	30
Figura 3.6 Ejemplo de formato para colecta de datos Equipos de carga, acarreo y descarga.	31
Figura 3.7 Equipos de perforación de taladros largos	33
Figura 3.8 Disponibilidad de taladros largos	34
Figura 3.9 Actividades de mantenimiento para taladros largos	35
Figura 3.10 Utilización de taladros largos	35
Figura 3.11 Tiempo utilizado y no utilizado para taladros largos.	36
Figura 3.12 Tiempo utilizado y no utilizado propuesta para taladros largos.	37
Figura 3.13 Distribución de tiempos en A, B y C de los taladros largos	37
Figura 3.14 Distribución de tiempos en A, B y C propuesta para taladros largos	38
Figura 3.15 Distribución de tiempos en A, B y C por equipo de taladros largos	39
Figura 3.16 Distribución de tiempos por guardia de taladros largos	40
Figura 3.17 Tiempos por operador de taladros largos	41
Figura 3.18 Distribución de tiempos por operador de taladros largos	41
Figura 3.19 Causas de los tiempos auxiliares B de taladros largos	43
Figura 3.20 Causas de los tiempos inútiles C de taladros largos.	45

Figura 3.21 Ratio y meta propuesta de taladros largos.	48
Figura 3.22 Incremento de producción por aumento de rendimiento de taladros largos.	49
Figura 3.23 Equipos de carga, acarreo y descarga.	50
Figura 3.24 Disponibilidad de Equipos de carga, acarreo y descarga s.	51
Figura 3.25 Utilización de Equipos de carga, acarreo y descarga s.	51
Figura 3.26 Tiempo utilizado y no utilizado de Equipos de carga, acarreo y descarga s.	52
Figura 3.27 Tiempo utilizado y no utilizado propuesto para Equipos de carga, acarreo y descarga s.	53
Figura 3.28 Distribución de tiempos en A, B y C para Equipos de carga, acarreo y descarga s.	54
Figura 3.29 Distribución en A, B y C propuesta para Equipos de carga, acarreo y descarga.	55
Figura 3.30 Tiempo medido por Equipos de carga, acarreo y descarga .	55
Figura 3.31 Distribución de tiempos en A, B y C por Equipos de carga, acarreo y descarga.	56
Figura 3.32 Distribución de tiempos por guardia de Equipos de carga, acarreo y descarga.	57
Figura 3.33 Pareto de tiempos medidos por operador para Equipos de carga, acarreo y descarga.	58
Figura 3.34 Distribución de Tiempos por Operador para Equipos de carga, acarreo y descarga.	59
Figura 3.35 Causas de los tiempos auxiliares B de Equipos de carga, acarreo y descarga.	61
Figura 3.36 Causas de los tiempos inútiles C de Equipos de carga, acarreo y descarga s.	64
Figura 3.37 Ratio de perforación de Equipos de carga, acarreo y descarga s.	67
Figura 3.38 Incremento de producción por aumento de rendimiento de equipos de carga, acarreo y descarga.	68
Figura 3.39 Equipos de perforación horizontal	69
Figura 3.40 Disponibilidad de Equipos de perforación horizontales.	70
Figura 3.41 Utilización de Equipos de perforación horizontales.	70

Figura 3.42 Tiempo utilizado y no utilizado para Equipos de perforación horizontal.	71
Figura 3.43 Distribución de tiempos en A, B y C de Equipos de perforación horizontal.	72
Figura 3.44 Resultados por equipo (Equipos de perforación horizontal).	73
Figura 3.45 Pareto de las causas de los tiempos inútiles “C” por equipos.	74
Figura 3.46 Distribución de tiempos medidos (excluye Equipos de perforación horizontal 006).	75
Figura 3.47 Tiempos: propuesta hipotética Equipos de perforación horizontal.	76
Figura 3.48 Distribución de tiempos por guardia Equipos de perforación horizontal.	77
Figura 3.49 Pareto de tiempos medidos por operador de Equipos de perforación horizontal.	78
Figura 3.50 Distribución de tiempos por operador de Equipos de carga, acarreo y descarga s.	78
Figura 3.51 Causas de los tiempos auxiliares B de Equipos de perforación horizontal.	80
Figura 3.52 Causas de los tiempos inútiles C de Equipos de perforación horizontal.	83
Figura 4.1 Impacto de Reducción de tiempos auxiliares B de taladros largos.	88
Figura 4.2 Impacto de Reducción de tiempos inútiles C de taladros largos.	89
Figura 4.3 Impacto de reducción de tiempos B y C de taladros largos.	90
Figura 4.4 Incremento de producción por cada 5% de reducción de los tiempos B y C para taladros largos.	91
Figura 4.5 Impacto de Reducción de Tiempos Auxiliares B de Equipos de carga, acarreo y descarga	92
Figura 4.6 Impacto de Reducción de Tiempos Auxiliares C de Equipos de carga, acarreo y descarga.	93
Figura 4.7 Impacto de reducción de tiempos auxiliares B y C de Equipos de carga, acarreo y descarga.	94
Figura 4.8 Incremento de producción por cada 5% de reducción de los tiempos B y C para Equipos de carga, acarreo y descarga.	95
Figura 4.9 Impacto de reducción de tiempos auxiliares B en Equipos de perforación horizontal.	96

Figura 4.10 Impacto de reducción de tiempos inútiles C en Equipos de perforación horizontal.	97
Figura 4.11 Impacto de reducción de tiempos inútiles B y C en Equipos de perforación horizontal.	98
Figura 4.12 Impacto de potenciales mejoras para Equipos de perforación horizontal.	99
Figura 4.13 Impacto de potenciales mejoras en producción por Equipos de perforación horizontal.	100

Lista de tablas

Tabla 2.1 Pérdidas y acciones tomadas.	13
Tabla 2.2 Comparación de las mediciones de tiempos.	14
Tabla 2.3 mejoras presentadas en los indicadores.	15
Tabla 3.1 Costos de adquisición promedio de equipos.	28
Tabla 3.2 Estadística de las causas de los tiempos B de taladros largos.	44
Tabla 3.3 Estadística de las causas de los tiempos C de taladros largos.	46
Tabla 3.4 Metros de perforación, horas de utilización, ratio y meta propuesta de taladros largos.	48
Tabla 3.5 Características de los Equipos de carga, acarreo y descarga s.	50
Tabla 3.6 Estadística de las causas de los tiempos B de Equipos de carga, acarreo y descarga s.	62
Tabla 3.7 Estadística de las causas de los tiempos C de los Equipos de carga, acarreo y descarga.	65
Tabla 3.8 Tonelaje, horas de utilización, ratio y meta propuesta por Equipos de carga, acarreo y descarga.	67
Tabla 3.9 Estadística de las causas de los tiempos B de Equipos de perforación horizontal.	81
Tabla 3.10 Estadística de las causas de los tiempos C de los Equipos de perforación horizontal.	84
Tabla 3.11 Metros de perforación, horas de utilización y ratio de Equipos de perforación horizontal.	85
Tabla 3.12 Ratio de perforación Equipos de perforación horizontal.	86
Tabla 4.1 Escenarios de reducción de tiempos B de taladros largos.	87
Tabla 4.2 Escenarios de reducción de tiempos C de taladros largos.	88
Tabla 4.3 Mejora / Reducción de tiempos auxiliares B y C de taladros largos.	89
Tabla 4.4 Mejora / Reducción de Tiempos Auxiliares B de Equipos de carga, acarreo y descarga s.	92
Tabla 4.5 Escenarios de Reducción de Tiempos C de Equipos de carga, acarreo y descarga.	93

Tabla 4.6 Escenarios de Reducción de Tiempos B y C de Equipos de carga, acarreo y descarga.	94
Tabla 4.7 Escenarios de reducción de tiempos auxiliares B para Equipos de perforación horizontal.	96
Tabla 4.8 Escenarios de reducción de tiempos C para Equipos de perforación horizontal.	97
Tabla 4.9 Escenarios de Reducción de Tiempos B y C para el Equipos de perforación horizontal.	98
Tabla 4.10 Impacto económico producto de reducir los tiempos B y C	101

Capítulo 1: Introducción

1.1 Definición del problema

En su gran mayoría, las operaciones industriales presentan pérdidas por presentar ineficiencias en sus actividades y consecuentemente desperdicio de recursos. Lo mismo se estima sucede en la industria minera, donde los tiempos improductivos son reconocidos como una de las principales fuentes de utilización deficiente de los recursos disponibles.

Para comprobar la afirmación anterior, este estudio propone identificar, cuantificar y analizar los tiempos improductivos de las principales actividades de una mina subterránea. En esta oportunidad se tomó como referencia la operación de la mina subterránea denominada Cerro Lindo, propiedad de la Cía. Minera Milpo.

1.2 Objetivos de la tesis

1.2.1 Objetivos Generales

El objetivo principal es identificar, clasificar, cuantificar y analizar los tiempos improductivos presentados en las principales actividades del ciclo de minado de una mina subterránea y como estos impactan en los tiempos dedicados a actividades esenciales del proceso.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Identificar, clasificar y cuantificar los tiempos productivos e improductivos de la operación en: Inútiles, Auxiliares y Esenciales (esta definición de las clases de tiempos productivos e improductivos se encuentra en el Marco Conceptual – sesión 2.1 de este documento);
- Identificar las actividades Auxiliares o Inútiles que más impactan en la reducción de la productividad del proceso de minado (medido por el

tiempo dedicado en las operaciones Esenciales);

- Evaluar el impacto de reducir los tiempos improductivos y convertirlos en productivos y su consecuente efecto en la producción;
- Determinar el nivel de Utilización y Disponibilidad de los equipos involucrados en estas actividades operativas;
- Proporcionar una guía de gestión que permita identificar y agrupar los principales tiempos improductivos que afectan una operación de minado por *Sublevel Stopping* (tajeo por subniveles).

1.3 Preguntas de la investigación

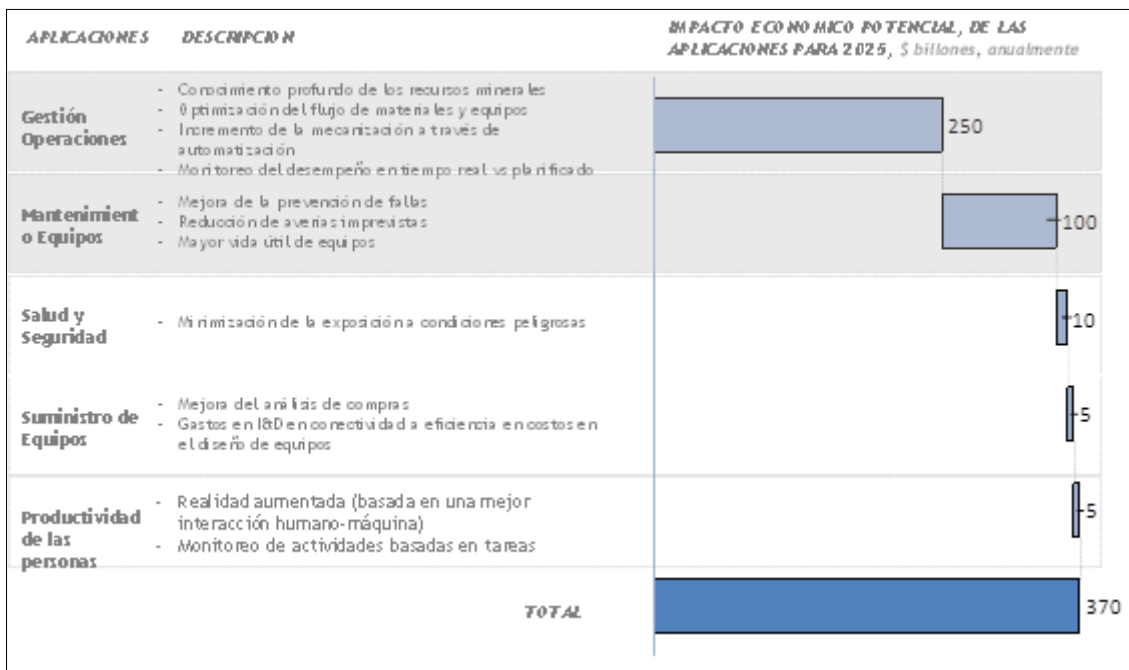
Formulación de las Preguntas de Investigación Cuantitativa:

- a) ¿Cómo están distribuidos los tipos (o clases) de tiempos improductivos y productivos de los equipos en las principales actividades operativas del ciclo de producción de una mina subterránea *Sublevel Stopping* (tajeo por subniveles)?
- b) ¿Cuáles son los valores típicos de Disponibilidad y Utilización encontrados en los principales equipos utilizados en una mina subterránea?
- c) ¿En qué medida los tiempos improductivos están afectando los tiempos dedicados a actividades Esenciales?
- d) ¿Cuál es el impacto en actividades Esenciales de los equipos por reducir los tiempos improductivos y sus efectos en la producción?
- e) ¿Hay una diferencia significativa de valores de tiempos improductivos y productivos por los diferentes operadores?
- f) ¿Hay una diferencia significativa de valores de tiempos improductivos y productivos por los diferentes equipos?
- g) ¿Las guardias de producción (turnos de trabajo) impactan en los valores de tiempos improductivos y productivos?
- h) ¿Los tiempos improductivos de un proceso de mina son más influenciados por temas operaciones o de mantenimiento de equipos?

1.4 Justificación del estudio

Desde el punto de vista del productor, el valor está relacionado con los beneficios, es decir, el valor del producto será ser tan grande como la apropiación de la riqueza resultante de este producto a lo largo de la cadena. (CSILLAC, 1991). Se puede decir que el valor de un producto es el más bajo coste atribuido a un producto o servicio que debe cumplir la expectativa del cliente y se le llama "valor añadido".

Según un estudio de *McKinsey Global Institute* el mayor potencial de valor que puede ser adicionado por la industria minera alcanza a \$ 370 billones para 2025 y los 2 principales enfoques para llegar a estos valores son: Gestión de Operaciones y Mantenimiento de Equipos; que se puede ver en la Figura 1.1.



Fuente: *McKinsey Global Institute*

Elaboración: *Propia*

Figura 1.1 Impacto económico potencial, de las aplicaciones para 2025.

Este estudio se enfoca justamente en la evaluación de la gestión operativa de una mina subterránea y para sus efectos se define como Tiempo Improductivo aquél actividad realizada que no necesariamente conlleva a un “valor añadido”.

Al estudiar los tiempos improductivos que presenta una operación minera será posible identificar el nivel de utilización o desperdicio de recursos y su impacto

en la productividad de la empresa. La adecuada utilización de los recursos de la organización está directamente relacionada con el “valor añadido” del punto de vista del productor.

El resultado de este estudio es un importante *input* para la buena gestión de desempeño de la operación minera, además que este modelo de estudio no demanda una significativa inversión por parte de las empresas mineras.

Capítulo 2: Marco conceptual

2.1 Aplicación de *Lean Management* (“Gestión Esbelta”) al Ciclo de Maduración en una Empresa Industrial

Para el autor (Sepulveda Wetzel, 2008), la metodología Lean (metodología de “Gestión Esbelta”) tiene su origen en los sistemas de producción de Toyota (*Toyota Production System* de Taiichi Ohno) y se remonta a los años 40, cuando las compañías de automoción japonesas se plantean cambios en los sistemas de producción derivados de la necesidad de atender mercados más pequeños con una mayor variedad de vehículos, lo que requería una mayor flexibilidad en la producción.

Por tanto, se trata de una metodología que permite principalmente la adaptación de los sistemas de producción a las modificaciones y cambios de la demanda, produciendo los bienes necesarios, en el momento oportuno y en las cantidades precisas, es decir permite lo que se ha venido a llamar una “producción ajustada”.

El sistema de fabricación *Lean*, busca la optimización a lo largo de todo el flujo de valor mediante la eliminación de pérdidas y persigue incorporar la calidad en el proceso de fabricación reconociendo al mismo tiempo la reducción de costos. Aunque en sus inicios se aplicó a la industria automotriz y en las áreas de manufactura, en la actualidad la aplicación de la metodología *Lean* se ha extendido a todos los procesos empresariales de un negocio y no solamente en empresas industriales, sino incluso en empresas de servicios.

Si se tiene en cuenta que los principales factores que inhiben a un proceso son su variabilidad (detrás de la variación, suele existir causas asignables no identificadas ni resueltas que deben ser analizadas para eliminarlas de forma prioritaria), sus pérdidas y su inflexibilidad (es decir, que no se adapta a las necesidades del cliente), se podría decir que, actuando sobre ellos es posible conseguir una importante mejora en los indicadores de rendimiento como son la calidad, los costos y los plazos y tiempos.

En concreto, el principio fundamental de la metodología *Lean* es la detección de pérdidas¹ y su posterior eliminación, o al menos reducción, entendiéndose por “pérdida” todo aquello que no incrementa el valor del producto tal y como lo percibe el cliente (es decir, todo aquello por lo que el cliente no está dispuesto a pagar).

Las pérdidas suelen suponer un amplio porcentaje dentro de lo que sería el trabajo en una organización y también respecto a lo que realmente viene a ser un valor añadido en él. Si traducimos esto en una ecuación, se tendría:

TRABAJO = VALOR AÑADIDO + PÉRDIDAS

Donde:

- VALOR AÑADIDO es aquella parte del trabajo por la que el cliente está dispuesto a pagar.
- PÉRDIDAS es aquello que incrementa los plazos, los costos y reduce la calidad. Por ejemplo: las esperas entre unas fases y otras del proceso, los inventarios, el transporte del producto entre distintas fases del proceso o desde el centro de producción al consumidor, los sobreprocesamientos, la falta de calidad en un producto que precisa que se corrija, que se ejecuten garantías, etc., los movimientos innecesarios de las personas y la subutilización del talento de los empleados.

Al aplicar el *Lean*, la cadena de valor se analizará cuantitativa y cualitativamente para detectar las pérdidas. Una vez detectadas, se procede a la búsqueda de las causas raíces y a la adopción de acciones de mejora o palancas, que ataquen a las causas del problema y eliminen, o al menos disminuyan, dichas pérdidas.

Un aspecto importante en la metodología *Lean* es que ésta supone:

- Aprovechar la inteligencia y creatividad de todos los implicados en el proceso, por ejemplo, agrupando a las personas para estudiar los problemas detectados y buscar soluciones, y
- la adopción de un conjunto de herramientas de mejora (como las 5s, *just in time* – justo a tiempo, kanban, dispositivos poka yoke, etc.)

Así, se puede afirmar que, mediante el *Lean* la organización adopta una filosofía de gestión basada en la mejora continua que da sustentabilidad a los resultados y que envuelve a todos los niveles de la organización. Se trata de una orientación radical hacia la calidad de servicio y el punto de vista del cliente.

La metodología *Lean* se enfoca principalmente en la eliminación de los ocho tipos de desperdicios:

- Desperdicio en Transporte.
- Desperdicios en Inventarios en stock
- Desperdicios en Movimiento.
- Desperdicios en Gente (creatividad mal aprovechada).
- Desperdicios de tiempo en Colas de Esperas.
- Desperdicios en Sobreproducción.
- Desperdicios en Sobreprocesos (más de lo que el cliente está dispuesto a pagar).
- Desperdicios en fabricación de productos defectuosos.

Como conclusión cabría subrayar que la metodología *Lean* ha despertado en general gran interés en el mundo empresarial fundamentalmente porque prevé aprovechar al máximo todos los recursos de una compañía, además de un enriquecimiento continuo a lo largo de la cadena de valor.

2.2 Implementación de la Gestión *Lean* (“Gestión Esbelta”) en la Industria Minera

Este artículo tiene el objetivo de mostrar la posibilidad de llevar a cabo una nueva manera de dirección en las industrias de extracción de mineral a través del uso integrado de los conceptos desarrollados en la construcción del Sistema de Producción Toyota (SPT o TPS en inglés) / el Sistema de Producción *Lean* (Flamarion Klippel, Petter, & Valle Antunes Jr, 2008)

I. Motivación del autor

El objetivo de los autores fue mostrar la posibilidad de llevar a cabo una nueva manera de dirección en las industrias de extracción de mineral a través del uso integrado de los conceptos desarrollados en la construcción del Sistema de Producción Toyota (SPT) / el Sistema de Producción *Lean*, y los conceptos y técnicas tradicionales que se originan de la Ingeniería Minera y la Ingeniería Industrial.

Solamente los conocimientos de los métodos de minería y procesamiento de minerales no son suficientes para garantizar la supervivencia de empresas mineras. La utilización de los conceptos del Sistema de Producción *Lean* es considerada por los autores como una innovación y también una alternativa para asegurar la supervivencia de las organizaciones mineras.

El artículo muestra esta integración (de los conceptos *Lean* y los tradicionales de la Ingeniería Minera) en situaciones operaciones mineras. Los resultados indican la reducción del costo de la producción y aumento de la productividad y la mejora de la Calidad de Vida de Trabajadores.

II. Marco de Referencia y principales variables que el autor analiza

Las referencias teóricas adoptadas en este estudio fueron: i) Valor; ii) Innovación; iii) Sistema Toyota de Producción (Toyota Production System – TPS).

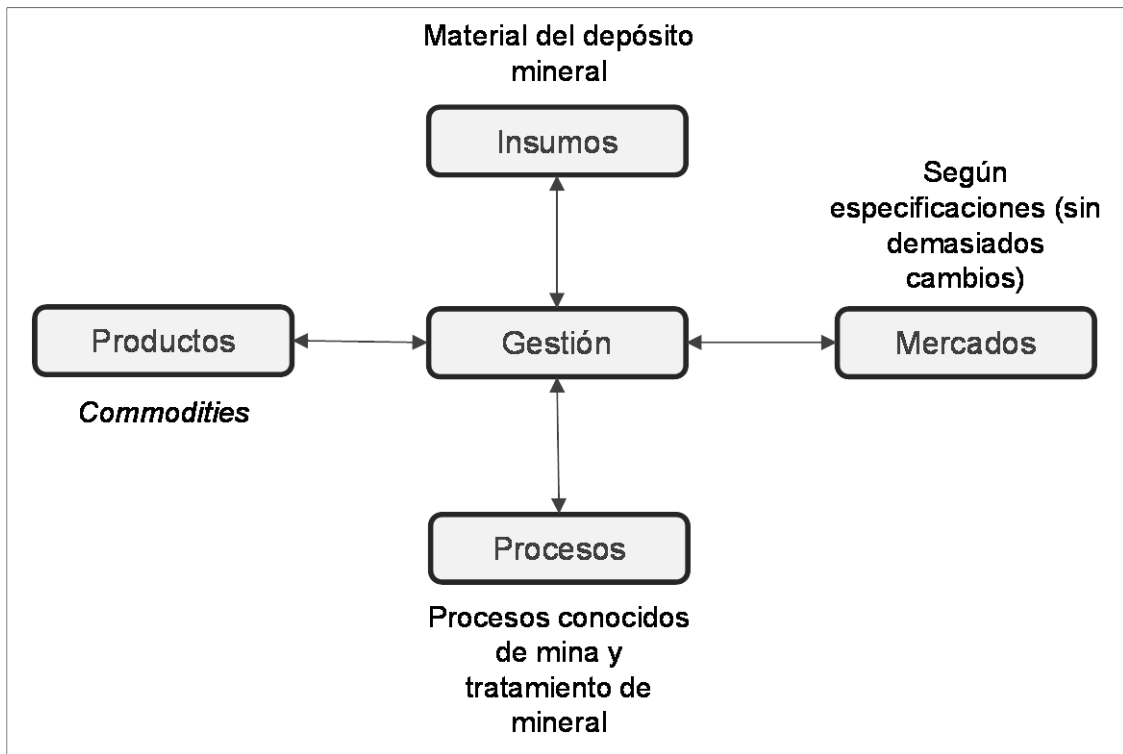
i) Valor

Del punto de vista del productor, Valor está relacionado a las Utilidades económicas, esto es decir, el valor del producto serán tan grande cuanto la agregación de riqueza resultado de este producto a lo largo de la cadena. Este valor es llamado “*Appropriated Value*” (“Valor Asignado”) (CSILLAC, 1991)

ii) Innovación

En un mundo globalizado y competitivo como es hoy, la innovación es un elemento esencial para la supervivencia de las organizaciones

Analizando un sistema de producción genérico en una industria minera, se puede apuntar los diferentes medios de generar innovaciones, como el mostrado en la Figura 2.1:



Fuente: (Flamarion Klippel, Petter, & Valle Antunes Jr, 2008)

Elaboración: Propia

Figura 2.1 Medios para generar innovaciones – industria minera.

iii) Sistema Toyota de Producción

El escenario del mundo actual, altamente competitivo y globalizado, destaca el éxito de empresas Japonesas, lo que hizo las empresas del Occidente en buscar innovación en la gestión, copiando y adaptando sus mejores prácticas para su realidad, como los conceptos y técnicas desarrollados por el Sistema Toyota de Producción.

El Sistema Toyota de Producción revolucionó el concepto de desperdicio (perda), considerando como desperdicio todas las actividades que generan costos y no agregan ningún valor al producto. Analizando el sistema de

producción, Shingo (SHINGO, 1996 a, p. 11), sólo se identificaron 7 tipos de desperdicio de los 8 tipos: i) sobreproducción; ii) transportes; iii) desperdicio de procesos; iv) productos defectuosos; v) esperas; vi) desperdicios de inventarios y vii) desperdicios de movimientos (“*motion*”).

Según la clasificación de Shingo (SHINGO, 1996 a, p. 76) las operaciones pueden ser “Útiles” o “Inútiles”. Dentro de las útiles están las operaciones principales clasificadas como operaciones esenciales (A) y operaciones auxiliares (B).

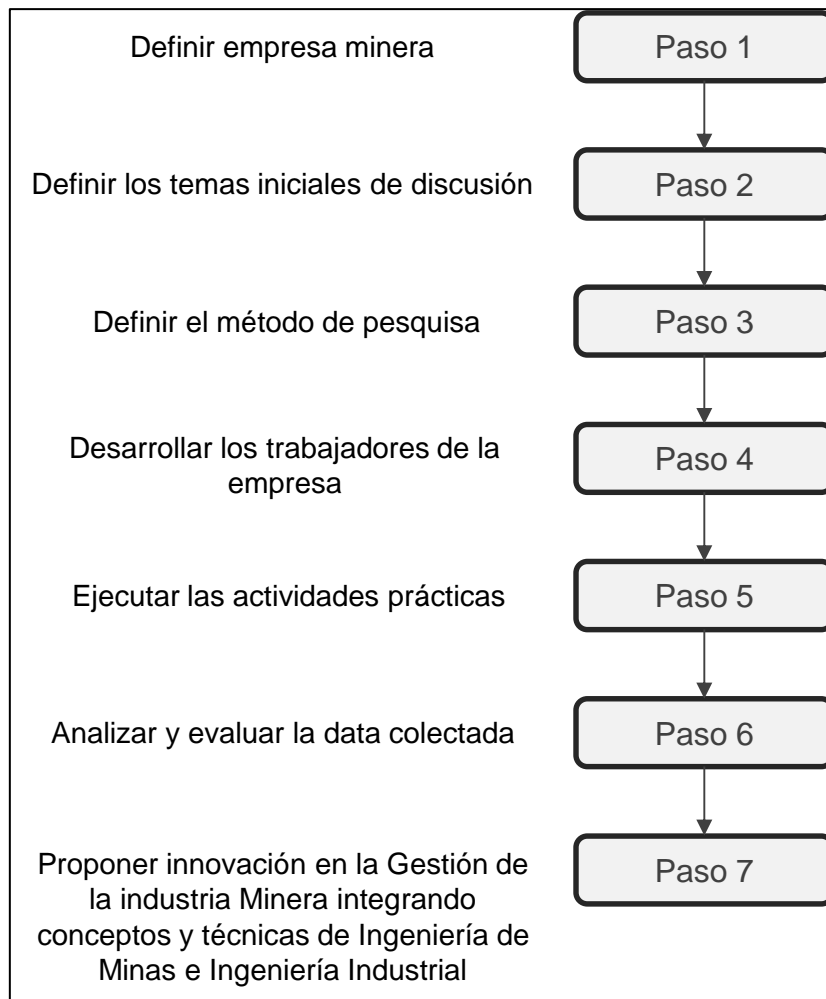
Operaciones esenciales relatan el trabajo neto, aquellas que agregan valor al producto y las auxiliares son aquellas que no agregan valor al producto, pero son necesarias para la realización de las operaciones esenciales. Operaciones inútiles (C) significan los desperdicios a lo largo del proceso y que deben ser eliminadas.

III. Diseño de la investigación del autor

El método de investigación empleado para el desarrollo de este artículo fue el “Survey-Action” (“Encuesta-Acción”). Este método promueve el involucramiento de los trabajadores en el proceso de investigación basada en que esto incentiva el deseo de una interacción intensa entre el encuestador y los trabajadores de la empresa en el estudio.

Thiolente (1997) afirma que esta herramienta sugiere la realización de una encuesta involucrando individuos o grupos en diferentes niveles jerárquicos de la organización en conexión con el problema de modo a obtener un diagnóstico que llevará al cambio en la organización.

El método de trabajo sigue el flujo descrito abajo:



Fuente: (Flamarion Klippel, Petter, & Valle Antunes Jr, 2008)

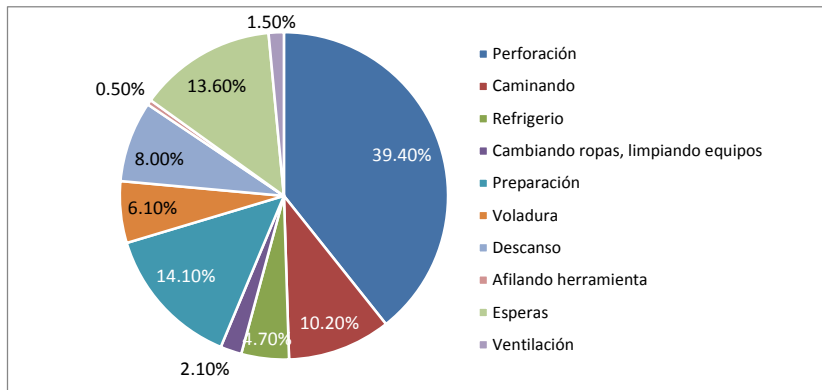
Elaboración: Propia

Figura 2.2 Método de trabajo.

IV. Hallazgos del autor

Estudio en una mina de Fluorita

Después de un mapeo cuidadoso del proceso de producción basado en los conceptos del TPS fue posible identificar las operaciones realizadas en la mina de la siguiente forma:



Fuente: (Flamarion Klippel, Petter, & Valle Antunes Jr, 2008)

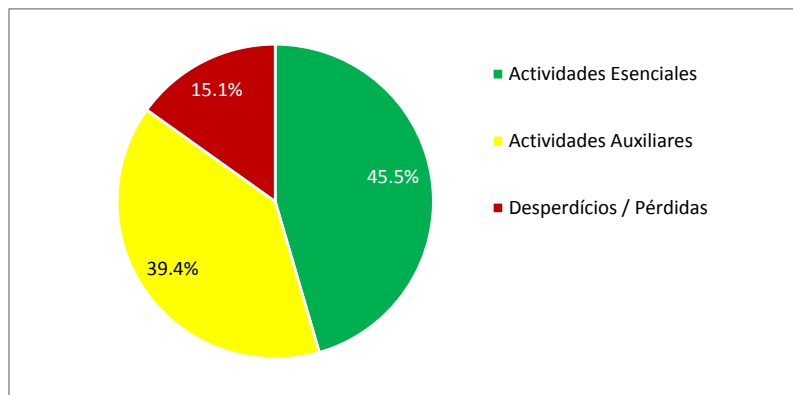
Elaboración: Propia

Figura 2.3 Marco conceptual – medición de inicial de tiempos.

Las actividades de perforación y explotación fueron definidas como esenciales (A) y que deben ser optimizadas (45,5% del total).

Los tiempos en espera y las interrupciones debido a la falta de ventilación son las actividades consideradas como desperdicio (13,5% del total).

En resumen se tiene de esto primer mapeo de actividades:



Fuente: (Flamarion Klippel, Petter, & Valle Antunes Jr, 2008)

Elaboración: Propia

Figura 2.4 Marco Conceptual – resumen de las primeras mediciones de tiempos.

Adoptando la técnica de *Brainstorming* (“Tormenta de Ideas”) para analizar y buscar soluciones para las pérdidas del proceso, llegaron a la siguiente definición de acciones:

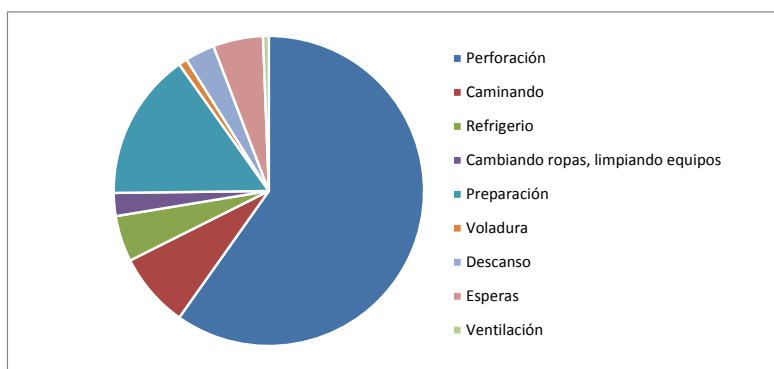
Clasificación de Pérdidas (por Shingo)	Identificado?	Acción
Sobre producción	No	
Transporte	Sí	1. Reducir distancias
El procesamiento en sí	Sí	1. Capacitar un equipo de operadores perforistas
		2. Transferir para servicio externo: afilado de brocas, material de relleno y limpieza de las perforadoras
		3. Estandarizar las mangueras de agua y de aire comprimido
		4. Realizar capacitaciones
Producción de rechazos	No	
Esperas	Sí	1. Proveer un conjunto de brocas perforadoras
		2. Proveer repuestos para la máquina perforadora
		3. Mejorar la calidad de las herramientas dentro del bloco
		4. Realizar capacitaciones
Inventarios	Sí	1. Estudio para modificar el método de minado
Movimiento	Sí	1. Proveer un cantidad de brocas afiladas
		2. Proveer un perforadora de repuesto
		3. Incrementar la cantidad de herramientas dentro del bloco
		4. Realizar capacitaciones

Fuente: (Flamarion Klippel, Petter, & Valle Antunes Jr, 2008)

Elaboración: Propia

Tabla 2.1 Pérdidas y acciones tomadas.

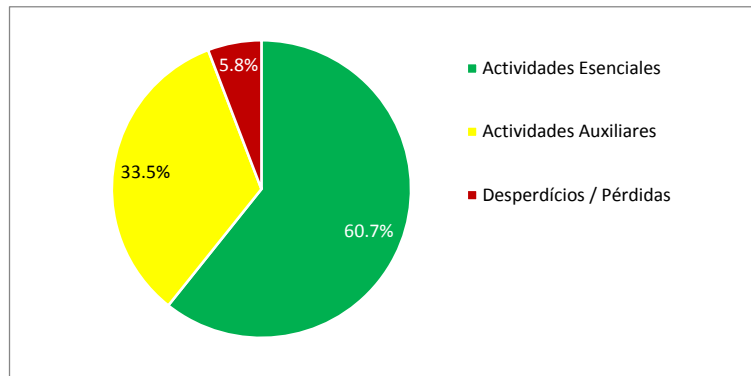
Después de realizadas las acciones descritas anteriormente, una nueva medición del proceso fue realizada y obtuvo los resultados:



Fuente: (Flamarion Klippel, Petter, & Valle Antunes Jr, 2008)

Elaboración: Propia

Figura 2.5 Resumen de los tiempos después de las acciones.



Fuente: (Flamarion Klippel, Petter, & Valle Antunes Jr, 2008)

Elaboración: Propia

Figura 2.6 Resumen de los tiempos después de las acciones tomadas.

El análisis comparativo de los datos obtenidos en las 2 mediciones permite concluir que la implementación de las mejoras propuestas incrementó el tiempo útil de las operaciones esenciales, reduciendo el tiempo gasto en operaciones auxiliares y desperdicios.

Operación	Tipo	1a. Medición	2a. Medición	Variación
Perforación	A	39.4%	59.8%	20.4%
Movimiento	B	10.2%	7.8%	-2.4%
Refrigerio	B	4.7%	4.8%	0.1%
Cambiar ropas, lavar equipos	B	2.1%	2.4%	0.3%
Preparación	B	14.1%	15.4%	1.3%
Cargar explosivos	B	6.1%	0.9%	-5.2%
Descanso	B	8.0%	3.1%	-4.9%
Afilar brocas	B	0.5%	0.0%	-0.5%
Esperas	C	13.6%	5.2%	-8.4%
Ventilación	C	1.5%	0.6%	-0.9%
ESENCIAL	A	39.4%	59.8%	20.4%
AUXILIAR	B	45.7%	34.4%	-11.3%
DESPERDICIO	C	15.1%	5.8%	-9.3%

Fuente: (Flamarion Klippel, Petter, & Valle Antunes Jr, 2008)

Elaboración: Propia

Tabla 2.2 Comparación de las mediciones de tiempos.

Indicador	Unidad	Inicial	Final	Variación
Productividad	t/hombre	15.72	22.58	43.6%
Producción	t/block/mes	5.661	8.129	43.6%
Costo de mina	US\$/t	5.23	3.51	-32.9%

Fuente: (Flamarion Klippel, Petter, & Valle Antunes Jr, 2008)

Elaboración: Propia

Tabla 2.3 mejoras presentadas en los indicadores.

Los análisis muestran que el volumen de mineral extraído salió de 15.72 t/perforador para 22.58 t/perforador. Como resultado, el volumen mensual extraído ha incrementado gradualmente, saliendo de 5.661 t para 8.129 t, representando una mejora de la productividad en relación a la primera medición de 43.6%.

El plan de costos de la empresa muestra que los costos por tonelada extraída se ha reducido de US\$ 5.23 /t para US\$ 3.51 /t.

Al final, los resultados obtenidos a través de esta investigación muestran el potencial de adoptar el modelo de integración propuesto – Sistema Toyota de Producción y las mejores prácticas de ingeniería de minas – en casos reales.

V. Comentarios y análisis crítico al estudio

Es posible notar una mejora significativa en el proceso enfocado en el artículo. Lo mismo se espera encontrar en otros procesos de operaciones en minería.

Nuestro tema de investigación propone hacer un análisis de los tiempos improductivos y desperdicios en una operación minera subterránea.

Este estudio está vinculado con el tema de investigación que estamos proponiendo, pues también trata de implementar técnicas innovadoras de gestión (en este caso oriundas principalmente del Sistema Toyota de Producción) con el objetivo de reducir los desperdicios en un proceso productivo y consecuentemente incrementar la productividad de la empresa.

El método de investigación, los mapeos de procesos realizados y la forma de hacer los análisis también pueden ser aplicados en el estudio de la mina Cerro

Lindo. Además, el proceso industrial es similar con lo que se está enfocando en este documento (minería subterránea).

2.3 Introducción al Mantenimiento Minero

I.2 Definición y Filosofía del Mantenimiento

La tendencia creciente de la capacidad de la maquinaria hace que ésta represente un elevado costo de capital por su adquisición a la vez que aumenta la responsabilidad de cada unidad en la obtención de la producción. Por todo ello, se ha pasado a sustituir el criterio anterior de disponer de unidades de reserva por el de lograr un aumento de la disponibilidad mecánica de los equipos y por lo tanto de una utilización más saturada de ellos. Además, bien sabe quién ha dirigido una explotación, que tal criterio de reserva de unidades era bastante falso, ya que en cuanto se disponía de todos los equipos se empleaban todos y por tanto como reserva no quedaba ninguna máquina. Para aumentar el índice de disponibilidad mecánica que viene definido por la fórmula:

$$D.M. = \frac{\text{Horas posibles de trabajo} - \text{Horas de parada por reparación}}{\text{Horas posibles de trabajo}}$$

No existe otra solución, para un trabajo planificado como es el minero, que disminuir las horas de parada en el taller o en el campo y para conseguirlo la mejor solución es prevenir las averías mediante un sistema lo más perfecto de mantenimiento preventivo (MP), esto es, sacrificando unas horas programadas para evitar unas paradas incontroladas.

II.2 Efectividad del Mantenimiento

Para medir el rendimiento y la eficacia del departamento de Mantenimiento, se deben controlar diversos índices de un modo sencillo, entre los que se destacan los siguientes:

- Coste de mantenimiento y reparaciones (M y R) por tonelada o metro cúbico de material;

- Costo de M y R por hora de operación;
- Porcentaje del costo total operativo que corresponde al coste de M y R;
- Número de mecánicos-hora por cada hora de operación del equipo;
- Número de mecánicos-hora por cada 1000 toneladas o metros cúbicos de material;
- Relación entre las horas de MP y las horas de reparaciones o de los tiempos de parada imprevistos;
- Disponibilidad (global, efectiva, etc);
- Influencia del mantenimiento indirecto realizado por el personal de operación o por talleres exteriores.

La disponibilidad es el factor o el índice clave del mantenimiento, pero es preciso aclarar que no sólo depende de él, pues tanto las actividades de la operación, las decisiones de los directivos y sobre todo la organización de las horas de trabajo y los repuestos disponibles en el almacén, etc., pueden influir grandemente y deben ser bien considerados a la hora de hacer un análisis de la real disponibilidad de los equipos. Es muy importante y básico para hablar de disponibilidades haber definido claramente el propio concepto de disponibilidad ya que varía mucho entre unas y otras explotaciones, dependiendo de la organización general del trabajo en la Empresa, de los convenios colectivos, sindicatos, etc. Existen muy frecuentemente confusiones entre las denominaciones de los distintos rendimientos horarios de la maquinaria como la disponibilidad, el ritmo, la eficiencia y la utilización por lo que consideramos oportuno aclarar tales conceptos en unas definiciones de las fórmulas más comúnmente aceptadas (Herrera Herbert, 2009).

2.4 Gestión de Productividad Total en Empresas de Minería Subterránea

El autor (Herrera Herbert, 2009) indica que cada operación unitaria en la minería subterránea es necesario comparar sus niveles de productividad, eficiencia y eficacia con empresas similares (benchmarking), esto sirve para conocer donde nos encontramos y que se necesita para mejorar y alcanzar los mejores niveles.

Dentro de los factores que influyen en la productividad total en la minería subterránea, se necesita ampliar más sobre los factores operacionales.

La mejora de la productividad sólo puede lograrse mejorando la empresa como sistema y no apuntando a mejoras individuales, para ello es necesario la concientización de los propietarios, directivos y empleados acerca de la importancia fundamental de la gestión de la productividad total en una organización además de conocer los procesos de la empresa para poder administrar eficientemente y eficazmente, tener presente siempre que los conocimientos y la creatividad son la fuente de la productividad y por lo tanto la capacitación juega un rol importante muy importante.

Los factores que perjudican a la productividad minera son: la falta de calidad, la falta de mantenimiento preventivo y predictivo (elevado nivel de averías y / o accidentes de equipos), requerimiento de tiempos elevados para las reparaciones, preparaciones o cambios de herramientas, la mala gestión de proveedores, las incorrectas organizaciones de la infraestructura, los bajos niveles de polivalencia del personal, los diseños defectuosos de los productos o servicios, los malos diseños de los procesos, el exceso de transporte y movimientos innecesarios, los bajos niveles de capacitación tanto en directivos como del personal, la falta de conciencia a todo nivel acerca de la productividad, etc. También afecta a la productividad el no tomar conciencia de los niveles de desperdicios y despilfarros, de los excesos de la burocracia, de las actividades carentes de valor agregado para la organización, clientes y consumidores, dando una clara muestra de falta de compromiso con la mejora continua.

Básicamente se vincula con los factores que influyen en la productividad total en minería subterránea, en la que hace referencia a los factores que también necesitamos tomar en cuenta en nuestro estudio de investigación.

Las limitaciones están dadas básicamente a que se necesita una mayor profundización en los factores que influyen en la productividad y que es un tema importante en nuestra investigación.

Más adelante se verán los factores que están relacionados directamente con la productividad.

A. Recursos humanos

En la actividad minera subterránea las pérdidas en la mano de obra más comunes son:

Pérdida de tiempo por falta de control, espera de instrucciones o cambios de turno demasiados prolongados, traslado a labores mineras al inicio y final de turno, salida y retorno para refrigerio, falta de servicios instalados oportunamente, problemas de ventilación, inoperatividad de los equipos, procesos y métodos deficientes, desplazamiento innecesarios, herramientas defectuosas.

B. Equipos

Las pérdidas de rendimiento de equipos más frecuentes en la actividad minera son:

Paradas programadas, preparación y ajuste, avería de equipos, pérdida de velocidad, por defecto de calidad del equipo y retrocesos. Todas éstas pérdidas se resumen en la utilización del equipo que impiden que sea utilizado todo el tiempo disponible. Las pérdidas por disponibilidad del equipo impiden que se utilice la totalidad del tiempo asignado para producir.

Las pérdidas por rendimiento de equipo impiden que el equipo no pueda operar al máximo nivel y las pérdidas por índice de calidad del equipo son las pérdidas de tiempo de operación del equipo al fabricar productos que no cumplen las normas de calidad.

C. Materiales y Energía

El despilfarro de materiales es muy común en las actividades de la minería subterránea, es necesario que la supervisión y los colaboradores tengan conocimiento pleno de los costos de los materiales que se utilizan, para que así tomen conciencia sobre el valor del material y eviten despilfarros que al igual

que el ejemplo anterior por mínimo que aparenten ser, al final suman y se encuentra grandes pérdidas para la organización, muchas veces también la baja concientización en este tema repercute en la vida útil de los materiales y accesorios, de la misma manera se tiene que evitar en lo posible el despilfarro de la energía que también afecta a la productividad y por ende al buen desempeño de la organización.

D. Infraestructura minera

La infraestructura minera está muy ligada a la productividad, de allí la importancia del diseño y ejecución adecuada de la misma. La infraestructura minera debe permitir minimizar los tiempos de los diferentes ciclos de los procesos de la actividad minera.

E. Proceso Operativos

Los procesos operativos de la actividad minera subterránea tienen que ser los más óptimos según el método de explotación empleado y deben ser ejecutados con calidad evitando los reprocesos que afectan a la productividad, en otras palabras se deben realizar trabajos bien hechos a la primera y con la debida seguridad ya que los accidentes tanto de personas, equipos, instalaciones y ambientales afectan al proceso productivo ocasionando pérdidas para la organización y afectando a la productividad.

F. Calidad

La gestión de la calidad en los diferentes procesos es muy importante en la actividad minera, este concepto involucra la ejecución adecuada de cualquier actividad u operación unitaria del ciclo de la operación minera cumpliendo todas las herramientas de gestión de tal manera que se logre una buena calidad a final del ciclo de producción.

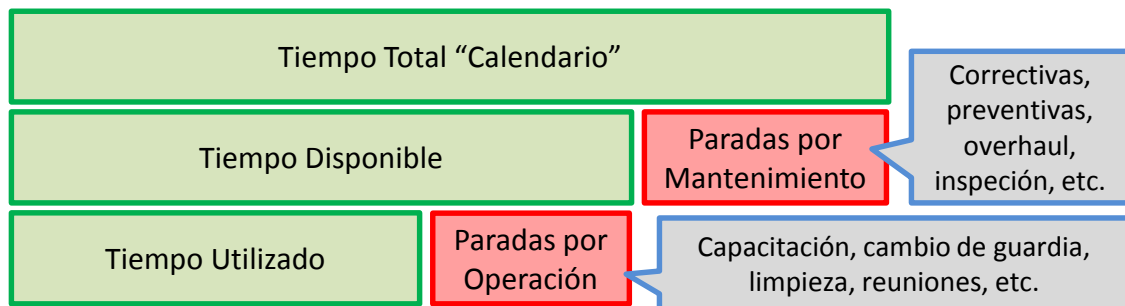
G. Ambientales

Los factores ambientales que influyen en la productividad minera se da básicamente por incumplimiento de la normativa legal en casos que podrían

llegar a la paralización de las operaciones hasta cumplir con la ley, o en los casos de producirse contingencias ambientales de gran potencial como derrumbes enormes que perjudiquen el medio ambiente, infiltración de aguas acidas en acuíferos limpios, etc.

2.5 Resumen de los Conceptos Básicos de Disponibilidad y Utilización

En general la distribución de los tiempos para un equipo de mina en un día de 24 horas, como ejemplo, se presenta de la siguiente forma:



Elaboración: Propia

Figura 2.7 Distribución del tiempo.

2.5.1 Disponibilidad

Representa el % de tiempo disponible para operación, es decir, el total de tiempo que el equipo o sistema está en condiciones normales para operar y no parado por algún motivo de mantenimiento (correctivo, preventivo o cualquier otro tipo de mantenimiento). La disponibilidad puede ser expresada por la siguiente fórmula:

$$\text{Disponibilidad} = \frac{TD}{TT}, \quad (2.1)$$

$$\text{Disponibilidad} = \frac{(TT - Dm)}{TT}, \quad (2.2)$$

Dónde: TD = tiempo disponible

TT = tiempo total (“calendario”)

Dm = demoras / paradas para mantenimiento y/o reparación del equipo o sistema

2.5.2 Utilización

La Utilización se refiere al % del tiempo disponible que realmente fue utilizado por un equipo o sistema para operar, es decir, el total de tiempo en que el equipo o sistema estuvo en operación y no estaba parado por otros motivos operativos como: reuniones, reparto de guardias, falta de operador, parada para refrigerio, capacitaciones y otros. Los tiempos que afectan a la utilización están relacionados a demoras operacionales programadas o no programadas. La utilización puede ser expresada en la siguiente fórmula:

$$\text{Utilización} = \frac{(TD - Do)}{TD} \quad , \quad (2.3)$$

Dónde: TD = tiempo disponible

Do = demoras / paradas por motivos operacionales y/o administrativo

Capítulo 3: Descripción, Medición y Análisis de los Resultados

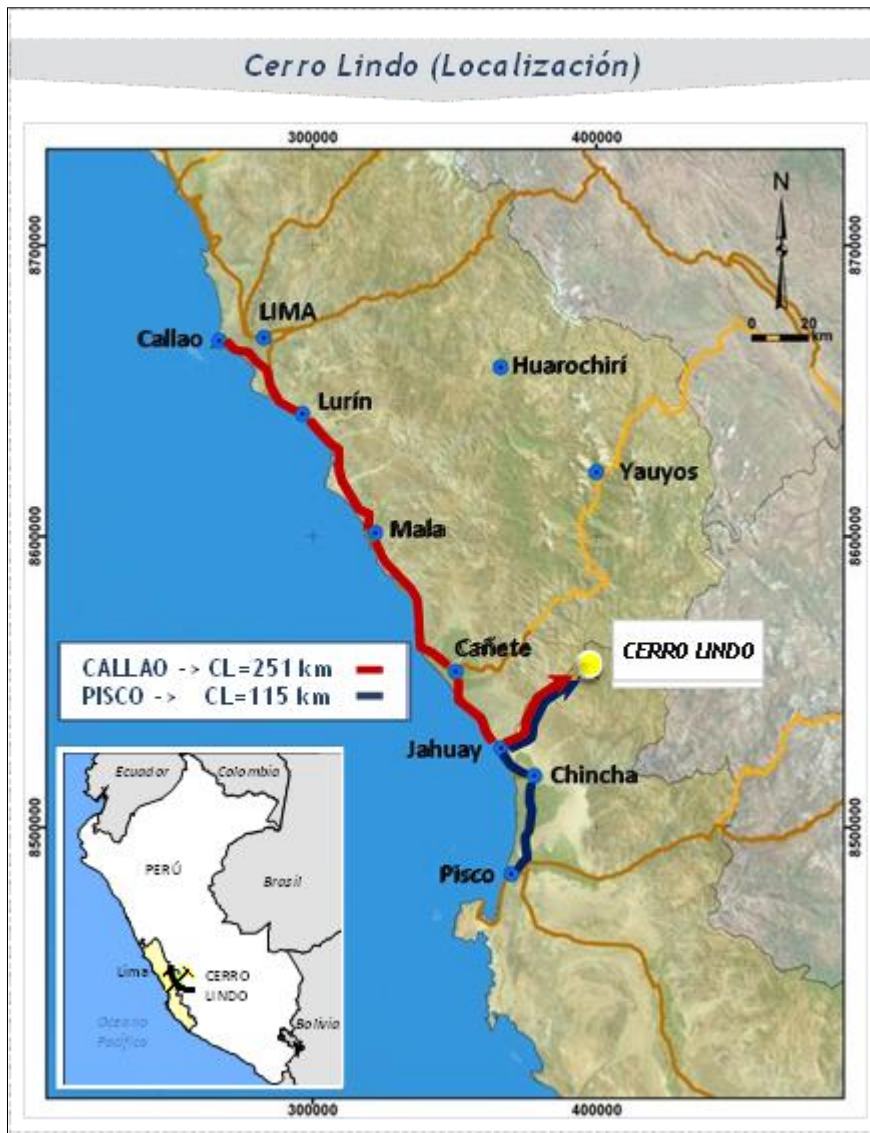
3.1 Descripción de la Empresa y Unidad Minera Foco del Estudio

Compañía Minera MILPO S.A.A. con más de 65 años de operaciones mineras en el Perú (1949), es uno de los principales productores de Zinc, Plomo y Cobre en el Perú. MILPO es una organización líder en la concepción, ejecución y operación de proyectos minero-metalúrgicos, teniendo como premisa generar un proceso de mejora continua en la gestión de responsabilidad social de la compañía, a través de la creación de valor de manera responsable para sus accionistas, clientes, trabajadores, socios de negocio y comunidades.

Con operaciones desde el año 1949 en el Perú, y en alianza estratégica con el Grupo Votorantim desde el año 2010, MILPO ha venido adaptando y mejorando sus procesos con el objeto de generar mayor valor para todos sus grupos de interés bajo un enfoque de triple resultado (económico, social y ambiental).

MILPO cuenta con tres unidades mineras en operación en el Perú: Cerro Lindo (Ica), El Porvenir y Atacocha (Pasco), así como con los Proyectos: Hilarión (Ancash), Pukaqaqa (Huancavelica) y Magistral (Ancash), entre otros.

Como descrito anteriormente, la fuente de este estudio se enfocó en la mina subterránea Cerro Lindo de Compañía Minera Milpo. La unidad minera se encuentra ubicada en el departamento de Ica, Perú, a 240 km de Lima.



Fuente: Cerro Lindo

Figura 3.1 Ubicación.

Cerro Lindo inició sus operaciones en julio del año 2007 y comprende una mina subterránea y una planta concentradora, a través de la cual produce concentrados de zinc, cobre y plomo, con contenidos de oro y plata, a través de la flotación del mineral.

Cerro Lindo fue la primera operación minera en el Perú en utilizar una planta de desalinización de agua de mar, cuenta con un sistema de vertimiento cero y el sistema de relave en pasta, que optimiza el control de los riesgos ambientales.

Al inicio de sus operaciones, la planta concentradora de la Unidad tuvo una capacidad de tratamiento de mineral de 5,000 tpd; en el año 2011, se concluyó el primer proyecto de ampliación a una capacidad de 10,000 tpd; en el año

2012, se concluyó un segundo proyecto que permitió ampliar nuevamente la capacidad de procesamiento a alrededor de 15,000 tpd; y, en el año 2014, se concluyó el tercer proyecto de ampliación a alrededor de 18,000 tpd., habiendo logrado estabilizar las operaciones a este nuevo nivel de tratamiento, convirtiéndose en la operación polimetálica subterránea de mayor capacidad en el Perú.

Al cierre del año 2014, el inventario de reservas y recursos alcanzó un total de 95 millones de toneladas de mineral. Considerando las reservas y los recursos medidos e indicados, la vida de mina de la Unidad es de 14 años.

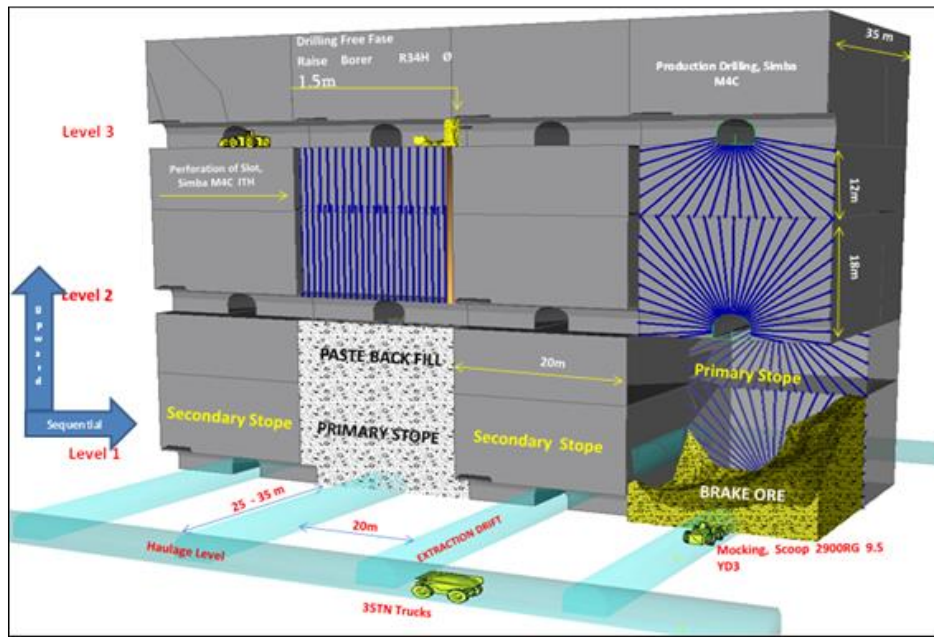
Este estudio está enfocado en la operación y procesos de mina, es decir, no incluye los otros procesos productivos o auxiliares de la unidad minera como: exploración, chancado, molienda, flotación, filtrado, disposición de relaves, *backfill* (relleno de mina en pasta) y procesos administrativos.

3.2 Proceso de Mina en Cerro Lindo

La mina opera en un sistema de 2 guardias por día, con tiempo total de 12 horas, es decir, los trabajadores de la guardia “Día” empiezan su turno a las 07:00 am y van hasta las 07:00 pm. Los trabajadores de la guardia “Noche” van desde las 07:00 pm y van hasta las 07:00 am. En su gran mayoría los trabajadores están en un régimen de trabajo 10 x 4 (10 días en la mina vs 4 días de descanso).

3.2.1 Método *Sublevel Stopping* (Tajeo por Subniveles)

En Cerro Lindo el método de minado utilizado es el *Sublevel Stopping* (Tajeo por Subniveles), que consiste en explotar bloques de 20 m x 20 m x 30 m de manera alternada e ir realizando el relleno en pasta (*backfill*) de los bloques explotados. Las actividades principales de este método son: La perforación en vertical o en abanico de los tajos (Taladros largos), perforación de los subniveles (Equipos de perforación horizontal), limpieza, acarreo (Equipos de carga, acarreo y descargas) y transporte (camiones). La figura a seguir permite una visión general del método de minado *Sublevel Stopping* aplicado en Cerro Lindo (Medina Barcena, 2013):



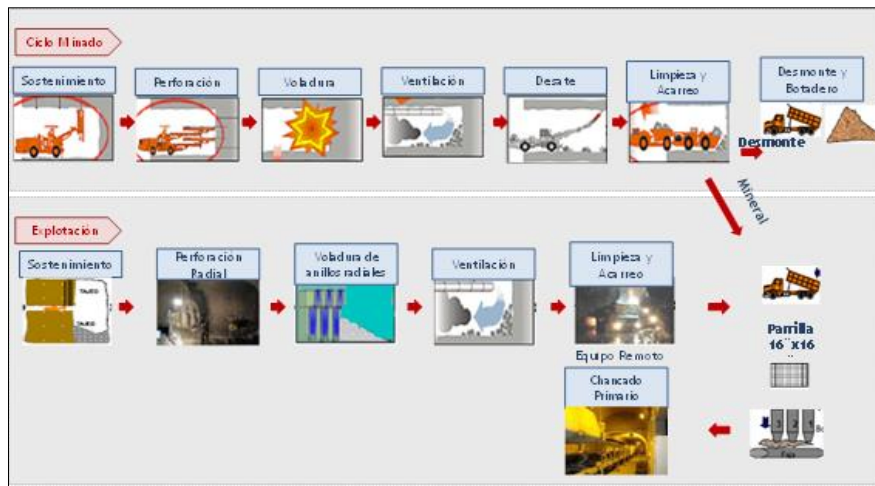
Fuente: Cerro Lindo

Figura 3.2 Método de Explotación por Sublevel Stopping (Tajeo por Subniveles).

En el Perú, es conocido que otras minas también utilizan este mismo método de minado. De estas se puede destacar: Iscaycruz, Condestable, San Rafael, Yauliyacu, San Vicente, Huanzala, Selene, Ares, Pallancata, entre otros.

3.2.2 Ciclo de Minado y Equipos Utilizados

La figura presentada en la secuencia muestra de forma ilustrativa y didáctica como es el proceso de ciclo de minado y explotación utilizado en la mina Cerro Lindo:



Fuente: Cerro Lindo

Figura 3.3 Ciclo de Minado en la Mina Cerro Lindo.

Para realizar las operaciones descritas en la figura anterior, la unidad minera cuenta con una flota que abarca los siguientes equipos:

SOSTENIMIENTO: Jumbos MIDKRET Scissor Bolter Scaler Shotcrete robot Móixer Huron		EQUIPOS AUXILIARES: Scissor Bolter Trucks Mini excavator Compressor Telehandler Mini Front-end Loader Manitou Personal Transportation
PERFORACIÓN + VOLADURAS: Excavator Simba Jumbos Raptor Anfoloader		MANTENIMIENTO DE LA CARRETERA: Vibratory Road Roller Grader
LIMPIEZA + ACARREO: Scooptram Dumper truck		VENTILACIÓN: Raise Bore Scissor Handler

Fuente: Cerro Lindo

Figura 3.4 Equipos utilizados en el ciclo de minado.

3.3 Alcance del Estudio: Actividades del Ciclo de Minado y Equipos

Respecto de las mediciones, análisis y resultados alcance de este estudio, éstos están basados en los datos colectados de un periodo de cuatro meses (enero-abril 2015) y en la que involucra los tiempos medidos en las principales actividades de la operación:

1. Perforación horizontal de preparación y desarrollo - Equipos de perforación horizontal (jumbo)
2. Perforación radial - Equipos de perforación de taladros largos (simba y raptor)
3. Limpieza, carguío y acarreo – Equipos de carga, acarreo y descarga (LHD - scoop)

En la tabla a seguir se presenta los costos promedios de adquisición (*CAPEX – Capital Expenditure*) de los equipos utilizados en los procesos evaluados:

Equipo	Valor (Capex)
EQUIPOS DE PERFORACIÓN HORIZONTAL (2 brazos – 14 pies)	US\$ 740,000
EQUIPOS DE PERFORACIÓN DE TALADROS LARGOS	US\$ 1,100,000
EQUIPOS DE CARGA, ACARREO Y DESCARGA	US\$ 1,150,000

Fuente: Cerro Lindo

Elaboración: Propia

Tabla 3.1 Costos de adquisición promedio de equipos.

Estas son las principales actividades del ciclo de minado y explotación. Las mediciones, análisis de datos y resultados encontrados para estas actividades son significativos y representativos para definir lo que sucede de manera global en todo el ciclo de minado y explotación.

Por ser una etapa realizada por empresa contratada, para la actividad de transporte en camiones, no fue posible establecer, con tiempo suficientemente corto para implementación, la colecta y medición de los datos. Consecuente no

se ha presentado análisis y resultados estadísticos de tiempos improductivos para esta actividad (está fuera del alcance del estudio).

Los análisis y resultados tienen como base principal los conceptos y clasificaciones de tiempos productivos e improductivos presentados en el capítulo de Marco Conceptual de este documento. Como resumen de estos conceptos y clasificaciones se puede destacar:

► **Clasificaciones de los Tiempos Operativos en Esenciales (A), Auxiliares (B) e Inútiles (C)**

- Esencial (A): es el tiempo realmente dedicado a la actividad fin (trabajo neto - que agrega valor) en un determinado proceso o por un determinado equipo. Por ejemplo, en una actividad minera; es tiempo en que un Equipos de perforación horizontal está perforando o que un Equipos de carga, acarreo y descarga realmente está cargando material;
- Auxiliar (B): es el tiempo dedicado a actividades auxiliares que no necesariamente agregan valor, pero son necesarias dentro del proceso para soportar o permitir la realización de las actividades Esenciales (A). Por ejemplo: mantenimiento programado, cambio de guardia y reuniones de seguridad, preparación de labores, capacitaciones, refrigerio, etc.
- Inútil (C): es el tiempo tomado en actividades que definitivamente no agregan valor al proceso y que representan desperdicio de recursos (y que deben ser eliminadas). Por ejemplo: falta de agua, reparación correctiva de equipos, falta de operador, falta de energía, etc.

Además, en los análisis y resultados también se utilizaron los conceptos de Disponibilidad y Utilización de equipos presentados en el Marco Conceptual.

3.4 Medición de la Data

El principal instrumento de recolección de datos es: la observación a través de la medición de tiempos y movimientos. Toda la data utilizada en los análisis de

este documento fue colectada a través de los apuntes de los operadores en formatos específicos, como los presentados en la secuencia:

REPORTE DE PERFORACIÓN TALADROS LARGOS								
GUARDIA	<input type="checkbox"/> DIA <input type="checkbox"/> NOCHE	FECHA						
EQUIPO				JEFE DE GUARDIA				
OPERADOR				ESTADO INICIAL DEL EQUIPO	<input type="checkbox"/> OPERATIVO	<input type="checkbox"/> INOPERATIVO	<input type="checkbox"/>	
AYUDANTE								
AVANCES EN PERFORACION								
CODIGO	HORA		NIVEL	SECTOR - LABOR	FILA	Nº TALADRO	METROS PERFORADOS	OBSERVACIONES
	INICIO	FINAL						
HOROMETRO DIESEL		HOROMETRO PERCUSIÓN		HOROMETRO COMPRESORA		TOTAL METROS PERFORADOS		
INICIO	FINAL	INICIO	FINAL	INICIO	FINAL			
UBICACIÓN EQUIPO FIN DE GUARDIA		ESTADO FINAL DEL EQUIPO			<input type="checkbox"/> OPERATIVO	<input type="checkbox"/> INOPERATIVO	<input type="checkbox"/>	
OBSERVACIONES GENERALES								
1	HORAS DE OPERACIÓN				5	HORAS PERDIDAS		
101	Perforación Producción (+)				501	Apoyo en el carguío de taladros		
102	Perforación Producción (-)				502	Desete		
103	Perforación de Reconocimiento				503	Espera de traslado de personal		
104	Perforación de Servicios				504	Falta de Operador		
105	Perforaciones en VCR				505	Falta Iluminación		
106	Otras Perforaciones				506	Incidente - Accidente		
2 HORAS DE PARADA NO PLANIFICADA					507	Obstrucción de Vías con material		
201	Espera reparación Mecánica				508	Tiro Cortado		
202	Reparación Mecánica				509	Ventilación		
203	Espera reparación Eléctrica				510	Voladura		
204	Reparación Eléctrica				511	Falta de Combustible		
205	Cambio de Uentgas				512	Apoyo de Servicios Auxiliares		
206	Corte de Energía				513	Apoyo en el remolque de equipo		
3 HORAS DE PARADA PLANIFICADA					514	Espera de Volquete		
301	Charia / Reparto de guardia / Traslado de Personal				515	Limpieza de Scoop		
302	Chequeo de Equipo				516	Espera en sostenimiento		
303	Traslado de Equipo				517	Stand By		
304	Chequeo de Lado				518	Mantado de mallia		
305	Refrigerio				519	Falta de Labor		
306	Mantenimiento Programado				520	Falta de Aceros		
307	Inspección Rutinaria de Equipo				521	Falta de Agua		
308	Instalación del equipo en la labor (agua, energía)				522	Barras Tapadas		
309	Prep. labor e Instalación de Equipo							
4 HORAS DE PREPARACION								
401	Lavado de Equipo							
402	Abastecimiento de combustible del equipo							
_____ FIRMA DE OPERADOR				_____ Vº Bº JEFE DE GUARDIA				

Fuente: Cerro Lindo

Elaboración: Propia

Figura 3.5 Ejemplo de formato para colecta de datos perforación taladros largos

REPORTE DE SCOOPTRAM

GUARDIA DIA: NOCHE: **FECHA**:

EQUIPO: **JEFE DE GUARDIA**:

OPERADOR: **ESTADO INICIAL DEL EQUIPO**: OPERATIVO INOPERATIVO

CODIGO	HORA		ORIGEN		DESTINO		N° DE CUCHARAS			N° VOLQUETES CARGADOS		OBSERVACIONES (INDICAR FALLA MECÁNICA)
	INICIO	FINAL	NIVEL	LABOR	NIVEL	LABOR	MINERAL	DESM.	BANCOS	25 TM	25 TM	
TOTAL												

HOROMETRO: INICIO: FINAL:

UBICACIÓN EQUIPO / **FIN DE GUARDIA**: **ESTADO FINAL DEL EQUIPO**: OPERATIVO INOPERATIVO

OBSERVACIONES GENERALES

CODIGOS DE ACTIVIDADES

1	HORAS DE OPERACIÓN	3	HORAS DE PARADA PLANIFICADA
101	Limpieza de Diamante (Frontal)	301	Cleria / Reporte de guardia / Traslado de Personal
102	Limpieza de Mineral (Frontal)	302	Chorros de Equipo
103	Limpieza de Mineral - Chicanas (Preparación Vertical)	303	Traslado de Equipo
104	Limpieza de Diamante - Chicanas (Preparación Vertical)	304	Chorros de Labor
105	Limpieza de Mineral - Tajo (Explotación)	305	Refrigerio
106	Limpieza de Mineral - Tajo (Explotación) con Telemando	306	Mantenimiento Programado
107	Limpieza de Mineral Acumulada	307	Inspección Rutinaria de Equipo
108	Limpieza de Diamante Acumulada	4	HORAS DE PREPARACION
109	Construcción de Diques	401	Lavado de Equipo
110	Relleno de Rieles	402	Abastecimiento de combustible del equipo
111	Mantenimiento de Vías	5	HORAS PERDIDAS
112	Traslado de máquina de perforación CDH - Raso Bore	501	Apoyo en el cargue de voladura
113	Preparación de Plataforma	502	Desate
114	Remolcar parala (Mineral - Diamante)	503	Apoyo de traslado de personal
115	Resaca de frentes	504	Falta de Operador
2	HORAS DE PARADA NO PLANIFICADA	505	Falta de Iluminación
201	Reparo reparación Mecánicas	506	Incidencia - Accidente
202	Reparación Mecánicas	507	Obstrucción de Vías con material o equipos
203	Reparo reparación Eléctricas	508	Tiro cortado
204	Reparación Eléctricas	509	Ventilación
205	Cambio de llantas	510	Voladura
		511	Falta de combustible
		512	Apoyo de Servicios Auxiliares
		513	Apoyo en el ramaleo de equipo
		514	Reparo de Volquete

FIRMA DE OPERADOR _____ **Vº Bº JEFE DE GUARDIA** _____

Fuente: Cerro Lindo

Elaboración: Propia

Figura 3.6 Ejemplo de formato para colecta de datos Equipos de carga, acarreo y descarga.

Estos formatos fueron llenados por todos los operadores, en todos los equipos utilizados en los procesos mencionados anteriormente y en todos los turnos de trabajos en los 4 meses que es el período de tiempo evaluado.

La muestra será compuesta por la data contenida en los formatos de reportes de actividades (descritos anteriormente) llenados por los operadores en cada guardia, considerando que la muestra debe ser compuesta por todas los reportes de actividades realizados en un período de 4 meses.

Como se tiene 3 procesos principales del ciclo de minado (perforación de taladros largos, limpieza y carguío y perforación de frentes de avance), con cada uno de estos procesos generando 2 reportes por guardia (día y noche) y por equipo, entonces en el período de 4 meses se tendrá data suficiente para los análisis.

De forma general la muestra estaba compuesta por aproximadamente:

- 1,416 reportes del proceso de perforación de taladros largos;
- 2,517 reportes del proceso de limpieza y carguío;
- 466 reportes del proceso de perforación de frentes de avance;
- Totalizando 4,399 reportes analizados en la muestra.

Se considera que este tamaño de muestra es suficiente para los análisis estadísticos, además que cada reporte informará lo que pasó en 12 horas de trabajo.

3.5 Análisis y Resultados

A la continuación en este capítulo se presentarán los análisis para los procesos y equipos priorizados.

La información analizada es la base de datos de los tiempos medidos de la flota de equipos y que corresponde a los meses de enero, febrero, marzo y abril del 2015.

3.5.1 Evaluación de las Mediciones para los Equipos de Perforación de Taladros Largos

En la presente evaluación se pretende analizar, inicialmente, la disponibilidad y utilización, luego el comportamiento de los tiempos esenciales (A), auxiliares

(B) e inútiles (C), tanto de manera global, por equipo, por guardia, por operador, por detalle de tiempos (B) y (C) y por productividad.

Los modelos de perforadoras que posee Cerro Lindo son: los equipos de perforación de taladros largos DH, los Equipos de perforación de taladros largos M4C, los Equipos de perforación de taladros largos H – 1254 y los Equipos de perforación de taladros largos ITH.

En la siguiente imagen se muestra una de las perforadoras utilizadas en la perforación de taladros largos:

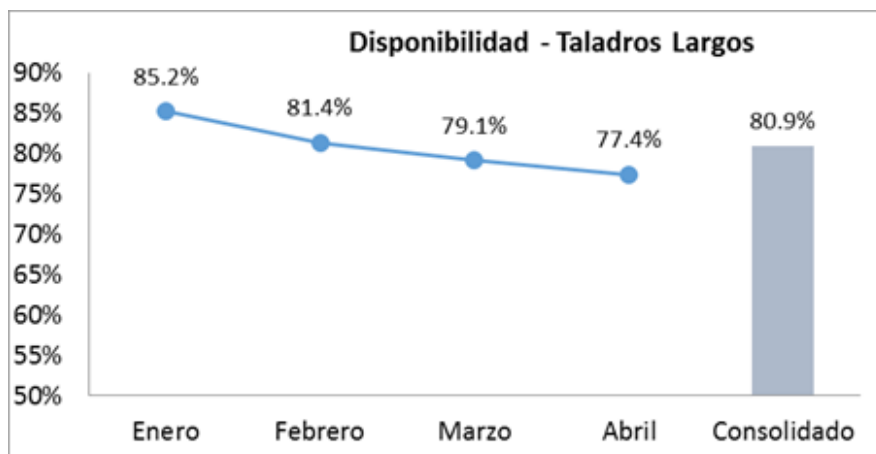


Fuente: Cerro Lindo

Figura 3.7 Equipos de perforación de taladros largos

► Evaluación de la Disponibilidad y Utilización

Tomando en cuenta que son la disponibilidad y la utilización parámetros importantes de mantenimiento y de operación, a continuación se presentan los gráficos con los valores medidos para la Disponibilidad y Utilización de los equipos de perforación de taladros largos:



Fuente: Cerro Lindo

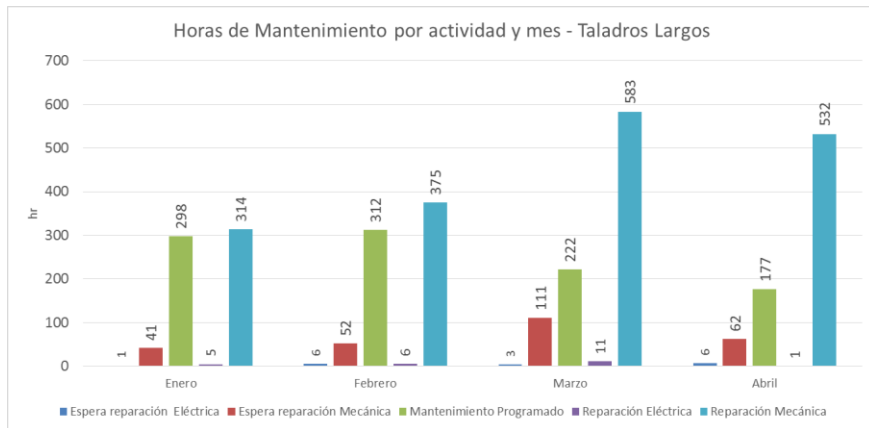
Elaboración: Propia

Figura 3.8 Disponibilidad de taladros largos

A partir de los resultados presentados de la disponibilidad por meses, ésta ha ido disminuyendo progresivamente desde 85.2% hasta llegar al 77.4%. El promedio de la disponibilidad de los 4 meses es 81%.

La disponibilidad está afectada directamente por las horas de mantenimiento; donde las actividades que la conforman son las siguientes: espera por reparación eléctrica, espera por reparación mecánica, mantenimiento programado, reparación eléctrica y reparación mecánica. En el siguiente gráfico se muestra que la actividad de reparación mecánica es la que se ha ido incrementando considerablemente en los meses de marzo y abril, meses que impactaron en la disponibilidad.

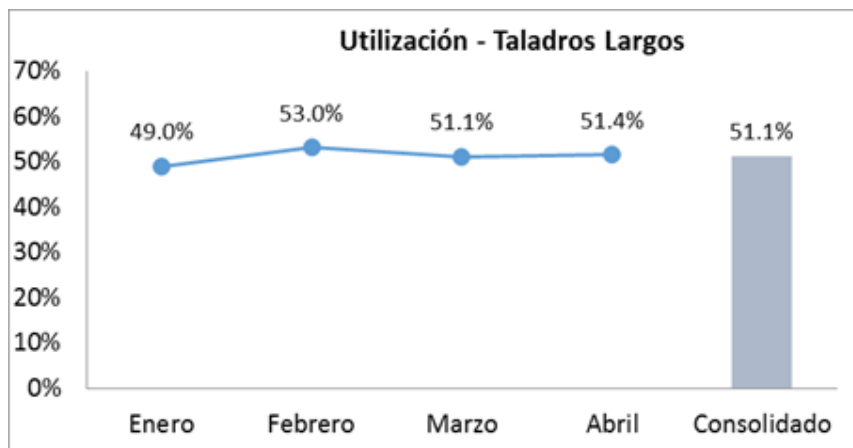
En el mes de marzo los equipos que tuvieron menor disponibilidad fueron el Equipos de perforación de taladros largos 44 N°6 con 69.3% y el Equipos de perforación de taladros largos 2 con 76.8%. En el mes de abril fue el Equipos de perforación de taladros largos 4 con 45.2% de disponibilidad.



Fuente: Cerro Lindo

Elaboración: Propia

Figura 3.9 Actividades de mantenimiento para taladros largos



Fuente: Cerro Lindo

Elaboración: Propia

Figura 3.10 Utilización de taladros largos

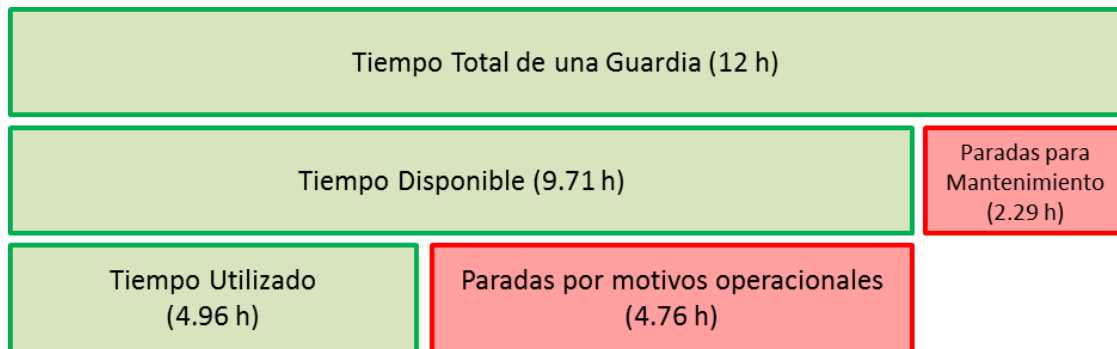
En cuanto a la utilización, no hay cambios significativos por mes, llegando a un promedio de 51.1%. Pero cabe destacar que utilizar sólo el 51.1 % del equipo disponible daría un margen de oportunidad de mejora.

Los equipos con menor utilización fueron el equipo de perforación de taladros largos 57D 7, el equipo de perforación de taladros largos 44 N° 6 y el equipo de perforación de taladros largos 55 N°5, con 30%, 41% y 46% respectivamente.

Se recomienda mejorar la disponibilidad del Equipos de perforación de taladros largos 44 N°6, que actualmente está en 73.5% y alcanzar el 87% del obtenido

por el Equipos de perforación de taladros largos 55. Adicionalmente mejorar las utilizaciones de los equipos de perforación de taladros largos 44 No.6 y Equipos de perforación de taladros largos 55 D No. 5, que actualmente están en 41% y 46% respectivamente, hasta alcanzar el 55% que obtuvo el equipo de perforación de taladros largos 4.

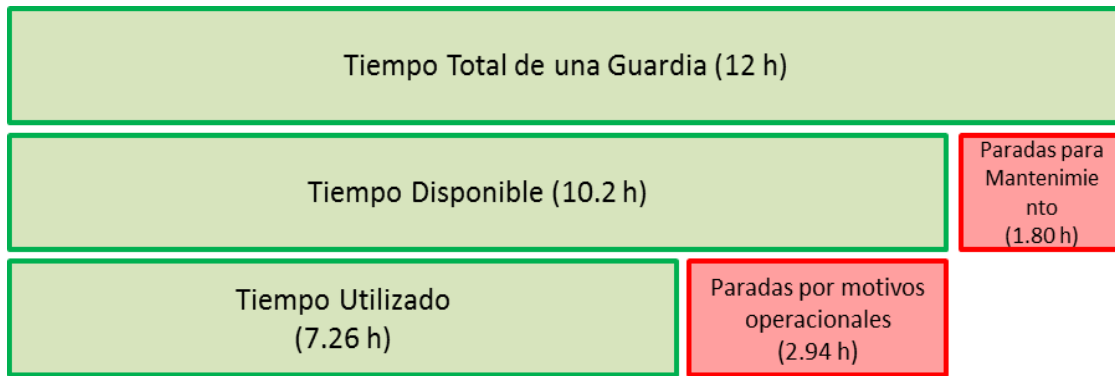
Tomándose como referencia el tiempo total posible de operación de una guardia en Cerro Lindo (12 h) y los resultados de Disponibilidad y Utilización verificados, se puede construir lo siguiente esquema para la operación productiva de los equipos de taladros largos en la mina:



Elaboración: Propia

Figura 3.11 Tiempo utilizado y no utilizado para taladros largos.

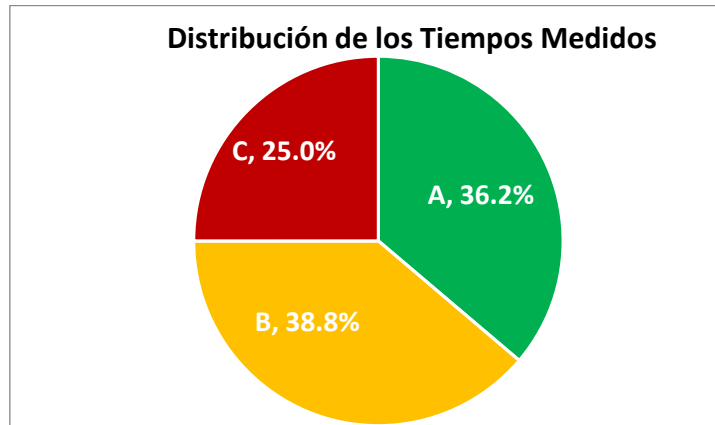
Con un incremento de la disponibilidad hasta un 85% y una disminución de los tiempos Auxiliares (B) e inútiles (C) hasta en un 30%, es posible llegar a utilizaciones de hasta 71%, es decir, pasar de las 9.71 h a 10.2 h de disponibilidad y de las 4.96 h a 7.26 h de utilización. Los detalles de la disminución de los tiempos serán vistos, más adelante, en el análisis de los tiempos (B) y (C); y también una sensibilización del impacto de la disminución de los tiempos improductivos, en el capítulo 4.



Elaboración: Propia

Figura 3.12 Tiempo utilizado y no utilizado propuesta para taladros largos.

A continuación se distribuye los tiempos en esenciales (A), auxiliares (B) e inútiles (C). En el siguiente gráfico se muestra que el tiempo total destinado para los equipos de perforación, producto de la medición de los 4 meses, es de 16,887 horas. Los tiempos esenciales (A) representan sólo el 36.2%; los tiempos auxiliares (B) representan el 38.8%; los tiempos de clase (C) o inútiles representan el 25 %.



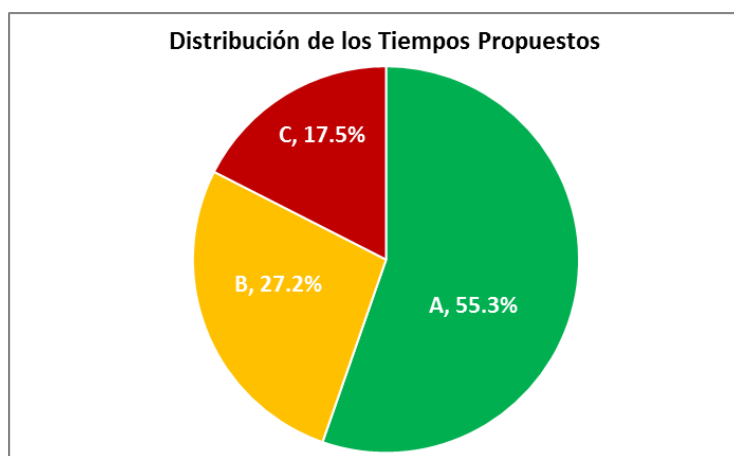
Fuente: Cerro Lindo

Elaboración: Propia

Figura 3.13 Distribución de tiempos en A, B y C de los taladros largos

Tomando en cuenta que los tiempos B y C representan el 64% del tiempo total. Si hipotéticamente se disminuye los tiempos C en 30% y los B también en 30%, se incrementaría el tiempo esencial A de 36.2% a 55.3%; con esto se permitiría lograr hasta 64 m adicionales de perforación por equipo por guardia, es decir, a

un ratio de 8 t/m, generándose un volumen adicional de 511 toneladas de mineral; si consideramos los 6 equipos, se lograría hasta 6,134 toneladas de mineral adicional por día. Para lograr esto se incidirá en las actividades que representen el 80% y otros que sean fácilmente reducidas o eliminadas de los (B) y (C). Los detalles de la disminución de los tiempos serán vistos más adelante, en el análisis de los tiempos (B) y (C), y también una sensibilización del impacto de la disminución de los tiempos improductivos, en el capítulo 4. A continuación se muestra la nueva distribución propuesta.



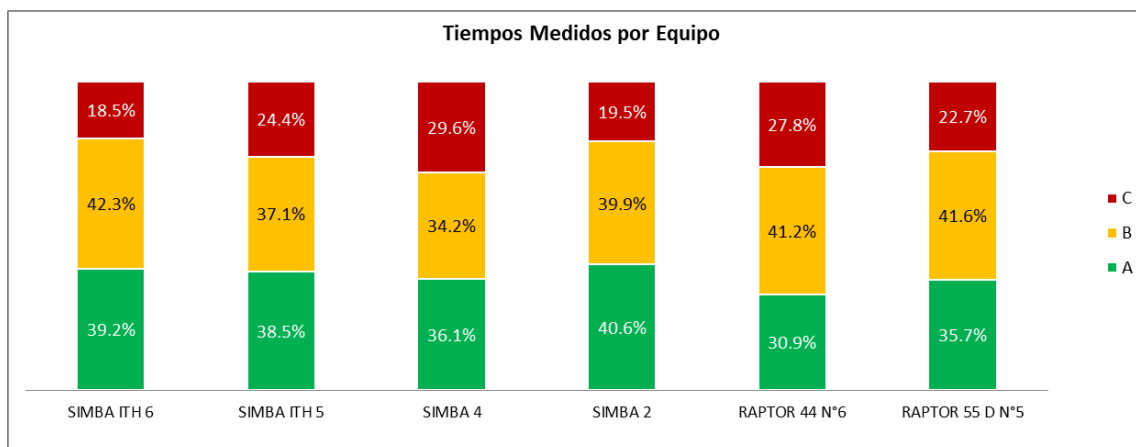
Fuente: Cerro Lindo

Elaboración: Propia

Figura 3.14 Distribución de tiempos en A, B y C propuesta para taladros largos

► Distribución de los Tiempos por Equipo de Perforación

Ahora corresponde analizar la distribución de los tiempos A, B y C en cada equipo.



Fuente: Cerro Lindo

Elaboración: Propia

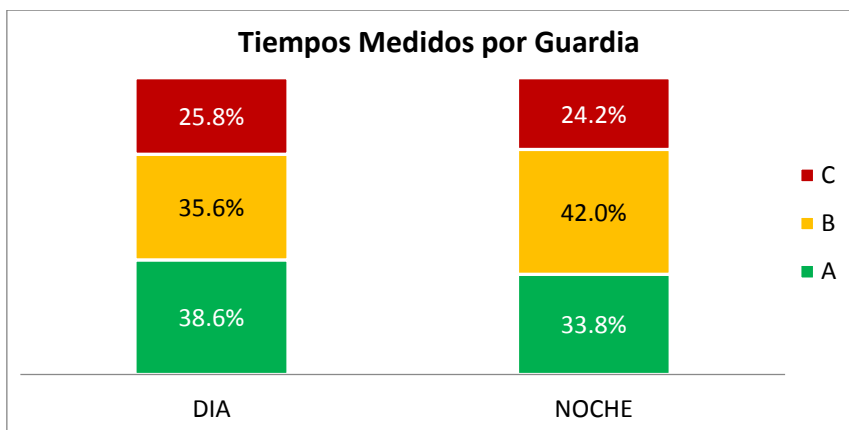
Figura 3.15 Distribución de tiempos en A, B y C por equipo de taladros largos

Del gráfico anterior se tiene que el tiempo promedio dedicado a las actividades esenciales A es de 37 %. Los equipos que tienen menor porcentaje de tiempo esencial son el Equipos de perforación de taladros largos 44 N°6 y el Equipos de perforación de taladros largos 55 D N°5, con 30.9 % y 35.7 % respectivamente. Considerando que el Equipos de perforación de taladros largos 2 es el que obtiene el mayor tiempo esencial A con 40.6%, se recomienda establecer, inicialmente, este porcentaje como meta por equipo.

► Distribución de los Tiempos por Guardia

Un detalle importante es también identificar qué guardia es la que tiene mayor tiempo esencial (A)

Según presentado en el próximo gráfico, los resultados obtenidos de la distribución de los tiempos productivos e improductivos en las guardias analizadas (Día y Noche). En la guardia día los tiempos A son mayores a las de la noche, por los que los tiempos B son mayores en la guardia noche.



Fuente: Cerro Lindo

Elaboración: Propia

Figura 3.16 Distribución de tiempos por guardia de taladros largos

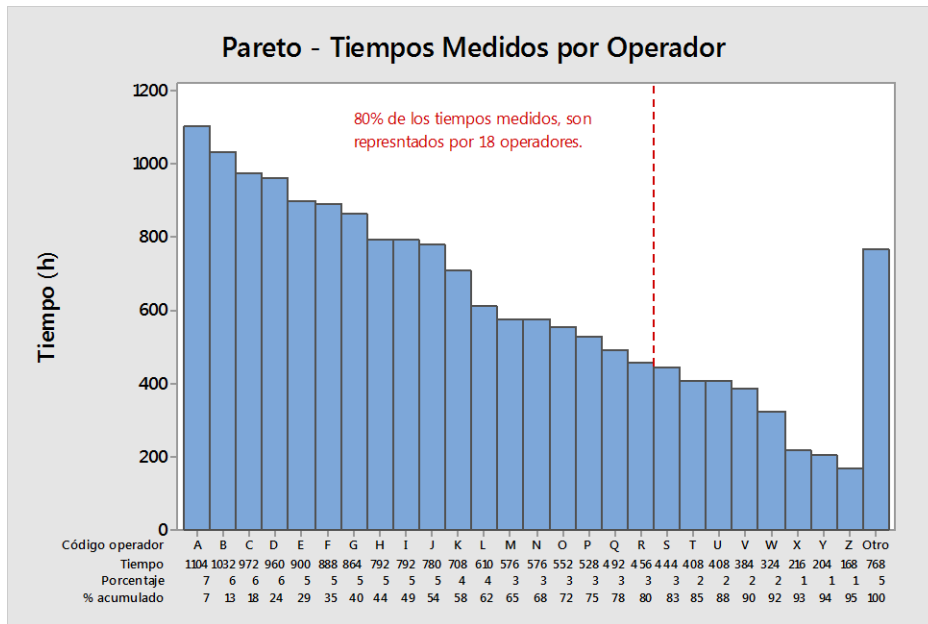
Ahora, distribuyendo las 12 h de una guardia típica en tiempos A, B y C, es como sigue: (A) = 4.3 h, (B) = 4.7 h y (C) = 3.0 h

Lo normal sería que el mayor porcentaje de tiempo A debería darse en el turno “Noche”, debido a que existen menores retrasos o esperas por otras actividades propias del día. Se recomienda que en el turno “Noche” se mejore la supervisión y control; además la planificación.

► Distribución de los Tiempos por Operador

Un detalle importante es

Durante el período de tiempo analizado, 40 operadores distintos (codificados de “A” a “N1”) trabajaron en los equipos de taladros largos, sin embargo, aplicando el teorema de Pareto, se identificó que 18 operadores representan aproximadamente 80% de todo el tiempo medido (ver gráfico de Pareto en la continuación). Entonces, para buscar ser más representativo de la realidad, se enfocó el análisis de los tiempos productivos e improductivos en estos 18 operadores principales.

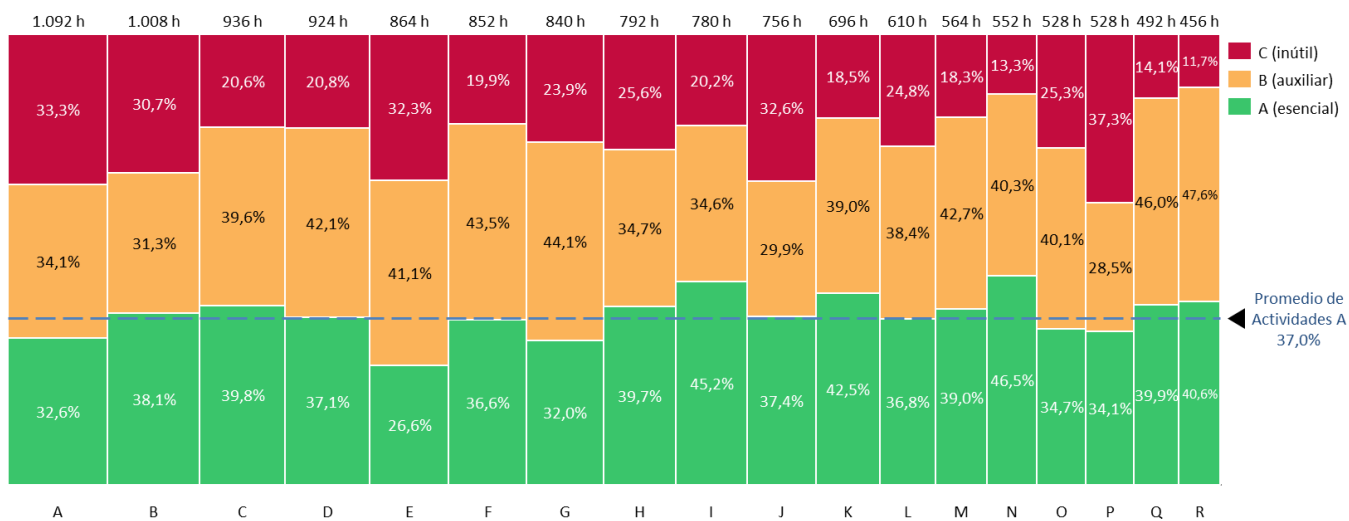


Fuente: Cerro Lindo

Elaboración: Propia

Figura 3.17 Tiempos por operador de taladros largos

Evaluando la distribución de los tiempos (A, B y C) entre estos 18 operadores se identificó que hay diferencias importantes, según presentado en el gráfico a seguir (donde el ancho de las barras representa la cantidad de horas medidas por operador):



Fuente: Cerro Lindo

Elaboración: Propia

Figura 3.18 Distribución de tiempos por operador de taladros largos

Hay diferencias significativas entre los resultados presentados por los distintos operadores. El promedio de los tiempos dedicados a operaciones esenciales A por operador es de 37 %. Se identifica en los resultados obtenidos que 3 operadores presentan valores A significativamente inferiores al promedio: el operador A, el operador F y el operador G, con valores “A” de 32.8%, 27.1% y 32.2 % respectivamente.

El mejor operador (aquellos con proporcionalmente más tiempo aplicado en actividades A) es el operador O, que presenta un valor significativamente superior a los otros operadores (46.5%).

Se nota un rango de dispersión elevada de los valores presentados por los operadores. Por ejemplo, el rango de actividades A entre el mejor operador (O – 46.5%) y el operador con valor más bajo de actividades A (E– 27.1%) es de 19.4%. De alguna manera lo que influye negativamente a que el operador E tenga el menor tiempo A, se debe a que operó el equipo de perforación de taladros largos 44 n°6 y el equipo de perforación de taladros largos 55 N°5, donde el primero tiene la menor disponibilidad, debido que ha pasado el mayor tiempo en el taller; y además es el equipo de menor utilización conjuntamente con el otro, con 41% y 47% respectivamente.

En referencia a los operadores, se recomienda proporcionales el soporte total y la capacitación suficiente para llegar a los niveles alcanzados por el operador “O”. Se recomienda obtener las buenas prácticas de los operadores que alcanzan el mayor porcentaje y hacerlos formar parte del equipo de entrenamiento operativo, además de estandarizar los procedimientos de operación.

3.5.1.1 Equipos de Taladros Largos – Análisis de Causas de los Tiempos Auxiliares B

En esta sesión se buscará identificar las principales causas para los resultados de los tiempos auxiliares B. En el gráfico a continuación se presenta los resultados obtenidos para el caso de los equipos de taladros largos:



Fuente: Cerro Lindo

Elaboración: Propia

Figura 3.19 Causas de los tiempos auxiliares B de taladros largos

Durante el período evaluado, se presentaron 22 causas distintas para los tiempos auxiliares B. De este total, los resultados de 6 de ellas representan 83 % de los tiempos auxiliares B. Estas 6 causas principales son:

- Despeje por voladura (1518 horas / 23 %)
- Charla / Reparto de Guardia / Traslado de Personal (1436 horas / 22%)
- Mantenimiento programado (1021 horas / 16%)
- Refrigerio (774 horas / 12%)
- Lavado de equipo (362 horas / 6%)
- Traslado de Equipo (317 horas / 5%)

Además, para estas 6 causas principales, también se evaluó los resultados estadísticos por evento según presentado en el cuadro a continuación (valores en horas):

Causa	N evento/equipo- día	Promedio
Despeje por voladura	1.59	1.33
Charla / Reparto de guardia/traslado personal	2.27	0.88
Mantenimiento Programado	0.19	7.34
Refrigerio	1.06	1.01
Lavado de Equipo	0.98	0.51
Traslado de Equipo	0.73	0.60

Fuente: Cerro Lindo

Elaboración: Propia

Tabla 3.2 Estadística de las causas de los tiempos B de taladros largos.

Importante destacar algunos puntos, de manejo exclusivamente operacional, que pueden reflejarse en oportunidades de mejora para la productividad de la mina:

- Despeje por voladura toman en promedio 1.33 h (80 min)
- Charla / Reparto de guardia / Traslado de personal toman en promedio 0.88 h (53 min)
- Mantenimiento Programado 7.34 h (440.4 min)
- Refrigerio 1 h (60 min)
- Lavado de Equipo 0.51 h (30.6 min)
- Traslado de Equipo 0.60 h (36 min)

Todos estos puntos citados anteriormente son actividades programadas que ocurren diariamente en todas las guardias de operación y por esto se estima que pueden existir oportunidades para reducir el tiempo utilizado en estas actividades e incrementar la productividad del ciclo de minado.

Como se evidencia, el tema de voladura es el de mayor impacto, por lo que se recomienda utilizar un explosivo que sea diferente al ANFO, como por ejemplo la emulsión, que tiene baja producción de gases tóxicos; de tal forma que los gases producto de la voladura requieran menor tiempo para diluirse o circular.

Además, se podría incrementar las velocidades de aire de ventilación de tal forma que los gases se diluyan o circulen a la brevedad.

En el tema del lavado de equipos, se recomienda implementar zonas de lavado rápido; de tal forma que se disminuya el tiempo actual de 30 min a 20 min.

Si bien es cierto que las causas más representativas de los tiempos B son las 7 primeras, es decir, las que representan 80% del total, también se sugiere mirar a los inmediatos, que podrían ser quizás, en algunos casos, más factible de reducirlas. Por ejemplo, la instalación del equipo (agua y energía); esperas por sostenimiento (hacer una mejor planificación se supone que las labores ya deberían estar sostenidas para cuando el equipo llegue al lugar)

3.5.1.2 Taladros largos – Análisis de Causas de los Tiempos Inútiles C

En esta parte se buscará identificar las principales causas para los resultados de los tiempos Inútiles C. En el gráfico a continuación se presenta los resultados obtenidos para el caso de los equipos de taladros largos:



Fuente: Cerro Lindo

Elaboración: Propia

Figura 3.20 Causas de los tiempos inútiles C de taladros largos.

Durante el período evaluado, se presentaron 20 causas distintas para los tiempos inútiles C. De este total, los resultados de 7 de ellas representan 87.8% de los tiempos inútiles C. Estas 7 causas principales son:

- Reparación mecánica (1892 horas / 44.8%);
- Falta de agua (480 horas / 11.4%);
- Paro sindical (339 horas / 8.3%);
- Corte de energía (294 horas / 6.9%)
- Espera para reparación mecánica (277 horas / 6.6%).
- Falta de operador (250 horas / 5.9 %);
- Falta de Labor (181 horas / 4.3 %);

Tomar en cuenta que el mayor tiempo inútil es el de la reparación mecánica con un 44.8% y notar que el paro sindical, que generalmente ocurre en los primeros meses del año, representan un importante 8.3% y que influye negativamente en las horas productivas. Otro tema importante a tomar en cuenta es la falta de agua, corte de energía, espera para reparación mecánica, falta de operador y falta de labor, que vislumbra una inadecuada planificación.

Además, para estas 7 causas principales, también se evaluó los resultados estadísticos por evento según presentado en el cuadro a continuación (valores en horas):

Causa	N evento /equipo-día	Promedio
Reparación Mecánica	1.17	2.26
Falta de Agua	0.49	1.35
Paro Sindical	0.04	11.29
Corte de Energía	0.25	1.63
Espera reparación mecánica	0.28	1.39
Falta de Operador	0.04	9.62
Falta de Labor	0.07	3.49

Fuente: Cerro Lindo

Elaboración: Propia

Tabla 3.3 Estadística de las causas de los tiempos C de taladros largos.

Importante destacar algunos puntos, de manejo exclusivamente operacional, que pueden reflejarse en oportunidades de mejora para la productividad de la mina:

- Reparación mecánica toman en promedio 2.26 h (135 min)
- Falta de agua en promedio 1.35 h (81 min)
- Paro sindical en promedio 11.3 h (677.5 min)
- Corte de energía en promedio 1.63 h (98 min)
- Espera para reparación mecánica 1.39 h (83.4 min)
- Falta de operador 9.62 h (577 min)
- Falta de labor 3.48 h (209 min)

En base a las causas principales identificadas, los paros sindicales, que en muchas minas del Perú son recurrentes en los primeros meses de cada año, se recomienda mirar con atención pues representa hasta el 8.3% de los tiempos inútiles C medidos en período de tiempo evaluado. Además, no se puede permitir tiempos inútiles como falta de agua, corte de energía, espera para reparación mecánica, falta de operador y falta de labores, éstas actividades deberían eliminarse de inmediato con una buena supervisión y planificación adecuada.

En el caso de la reparación mecánica, se recomienda un mejor mantenimiento programado y preventivo con revisiones más profundas; para evitar paradas por mantenimiento y que puedan afectar la producción.

3.5.1.3 Evaluación de producción (productividad) de Taladros Largos

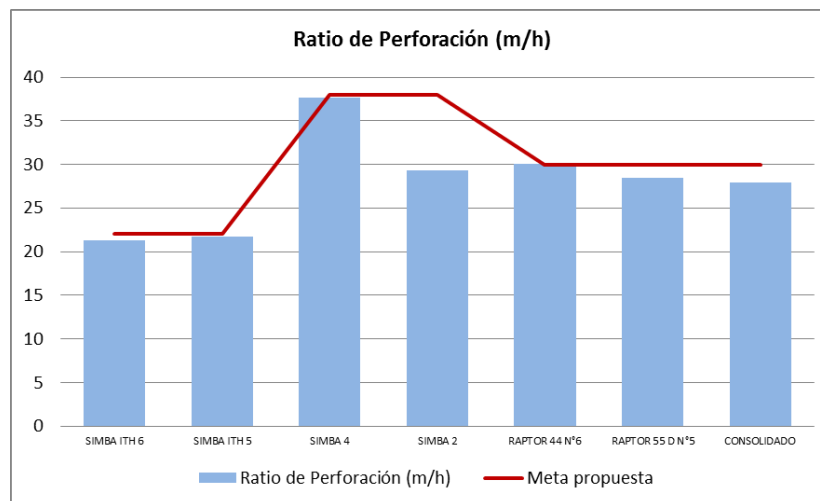
En el período evaluado, los equipos de taladros largos presentaron los siguientes resultados para metros perforados y tiempos de utilización:

Equipo	Perforación (m)	Utilización (h)	Ratio de Perforación (m/h)	Meta propuesta
EQUIPOS DE PERFORACIÓN DE TALADROS LARGOS ITH 6	22,719	1,069	21	22
EQUIPOS DE PERFORACIÓN DE TALADROS LARGOS ITH 5	22,738	1,048	22	22
EQUIPOS DE PERFORACIÓN DE TALADROS LARGOS 4	37,057	984	38	38
EQUIPOS DE PERFORACIÓN DE TALADROS LARGOS 2	32,377	1,106	29	38
EQUIPOS DE PERFORACIÓN DE TALADROS LARGOS 44 N°6	25,056	835	30	30
EQUIPOS DE PERFORACIÓN DE TALADROS LARGOS 55 D N°5	27,701	973	28	30
CONSOLIDADO	167,647	6,014	28	30

Fuente: Cerro Lindo

Elaboración: Propia

Tabla 3.4 Metros de perforación, horas de utilización, ratio y meta propuesta de taladros largos.

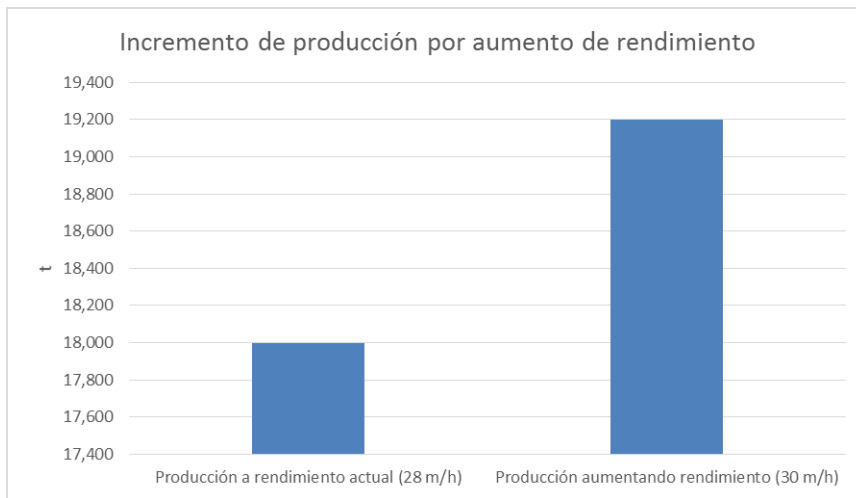


Fuente: Cerro Lindo

Elaboración: Propia

Figura 3.21 Ratio y meta propuesta de taladros largos.

Actualmente el ratio de perforación de los 6 equipos es de 28 m/h, y la meta propuesta, consolidado, es de 30 m/h. Tomar en cuenta que las metas propuestas son variables por modelo de equipo, es decir, 22 m/h para Equipos de perforación de taladros largoss ITH, 30 m/h para Equipos de perforación de taladros largos y 38 m/h para Equipos de perforación de taladros largos normales. Las metas están en base a los máximos resultados obtenidos por cada modelo.



Fuente: Cerro Lindo

Elaboración: Propia

Figura 3.22 Incremento de producción por aumento de rendimiento de taladros largos.

En el gráfico anterior se muestra que si se incrementara el rendimiento de la perforación de 28 m/h a 30 m/h, existiría un potencial de producción de hasta 1,200 tpd.

3.5.2 Tiempos Improductivos de Equipos de Limpieza y Carguío – Equipos de carga, acarreo y descargas

Al igual que en los equipos de perforación de taladros largos, en la presente evaluación se pretende analizar, inicialmente, la disponibilidad y utilización, luego el comportamiento de los tiempos esenciales (A), auxiliares (B) e inútiles (C), tanto de manera global, por equipo, por guardia, por operador, por detalle de tiempos (B) y (C) y por productividad de los Equipos de carga, acarreo y descarga tram.



Fuente: Cerro Lindo

Figura 3.23 Equipos de carga, acarreo y descarga.

La flota de Equipos de carga, acarreo y descargas en Cerro Lindo está conformada por 12 equipos: 10 unidades CAT R2900 (Equipos de carga, acarreo y descargas 10, 11, 13, 17, 18, 19, 21, 22, 23 y 24) y 2 unidades CAT RT 1600 (Equipos de carga, acarreo y descargas 15 y 16). En la siguiente tabla mostramos algunas características:

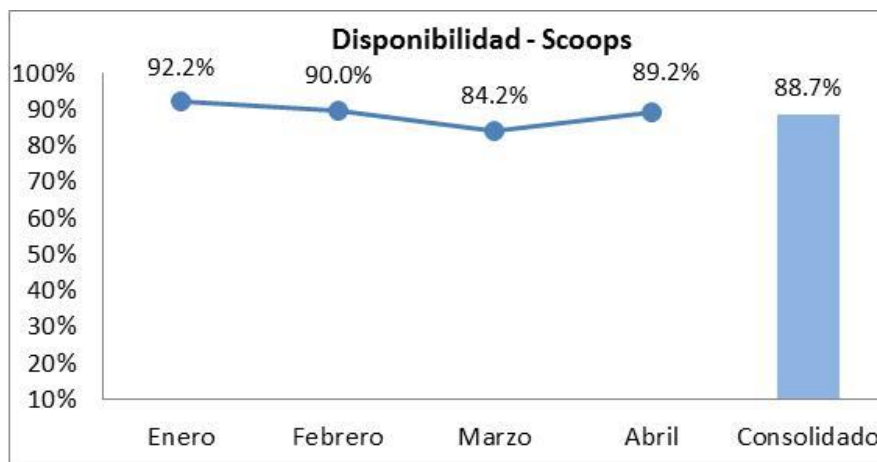
Modelo	Scoops	
	CATR 1600G	CATR 2900
Capacidad (m3)	4.8	7.2
Capacidad (TM)	10	16
Rendimiento (TM/hr)	90	120/150
Costo (\$/hr)	88.85	118.25

Fuente: (Medina Barcena, 2013)

Tabla 3.5 Características de los Equipos de carga, acarreo y descargas.

► **Evaluación de la Disponibilidad y Utilización**

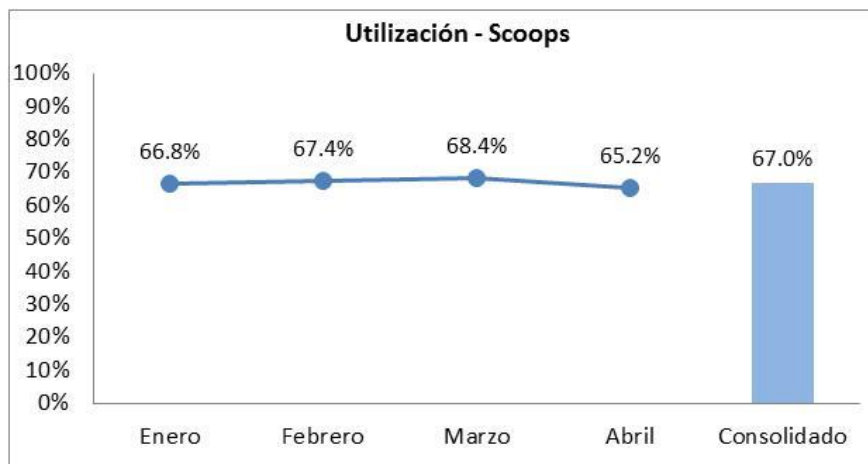
Tomando en cuenta que son la disponibilidad y la utilización parámetros importantes de mantenimiento y de operación, a continuación se presentan los gráficos con los valores medidos para la Disponibilidad y Utilización de los equipos Equipos de carga, acarreo y descarga s:



Fuente: Cerro Lindo

Elaboración: Propia

Figura 3.24 Disponibilidad de Equipos de carga, acarreo y descarga s.



Fuente: Cerro Lindo

Elaboración: Propia

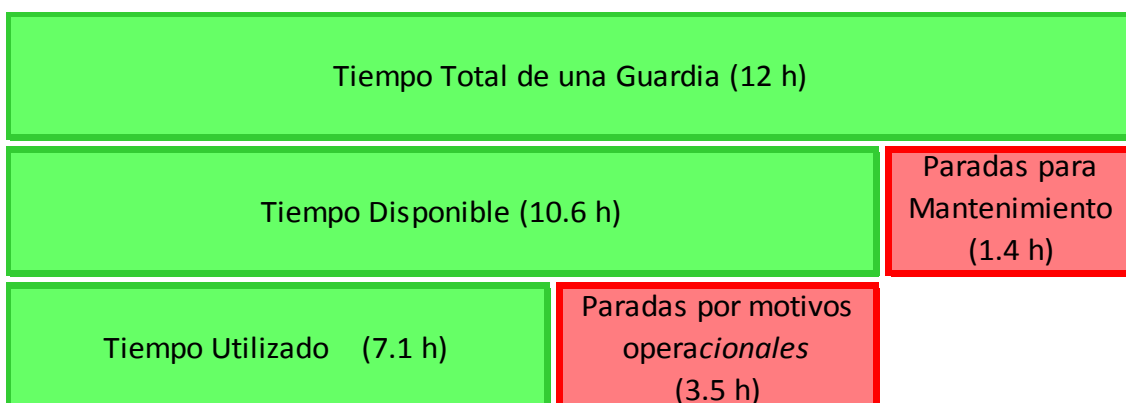
Figura 3.25 Utilización de Equipos de carga, acarreo y descarga s.

Por los resultados presentados, se identifica que no hay cambios significativos de estos valores entre los meses estudiados, es decir, la variable “mes” no impacta en los resultados de Disponibilidad o Utilización de los Equipos de carga, acarreo y descargas. La disponibilidad promedio de la flota de Equipos de carga, acarreo y descargas es de 88.7% y está prácticamente igual al valor de *Benchmark* mundial para equipos mineros que es de 88% (según MBA Augusto Ayesta – material de clases Maestría en Gestión Minera – GERENS 2015).

La Disponibilidad consolidada (88.7%) es mayor que la Utilización (67.0%), lo que significa que la mayoría del tiempo improductivo de los Equipos de carga, acarreo y descargas estaría influenciado por paradas operacionales y no por paradas para mantenimiento programado o no programado.

Se recomienda mejorar la disponibilidad de los Equipos de carga, acarreo y descargas 15, 16 y 17, y alcanzar el 88.7% promedio obtenido por toda la flota. Adicionalmente mejorar sus utilizaciones al menos al promedio obtenido por toda la flota que fue 67%.

Tomando como referencia el tiempo total de una guardia en Cerro Lindo (12 h) y los resultados de Disponibilidad y Utilización verificados, se puede construir el siguiente esquema para la operación productiva de los Equipos de carga, acarreo y descargas en la mina:



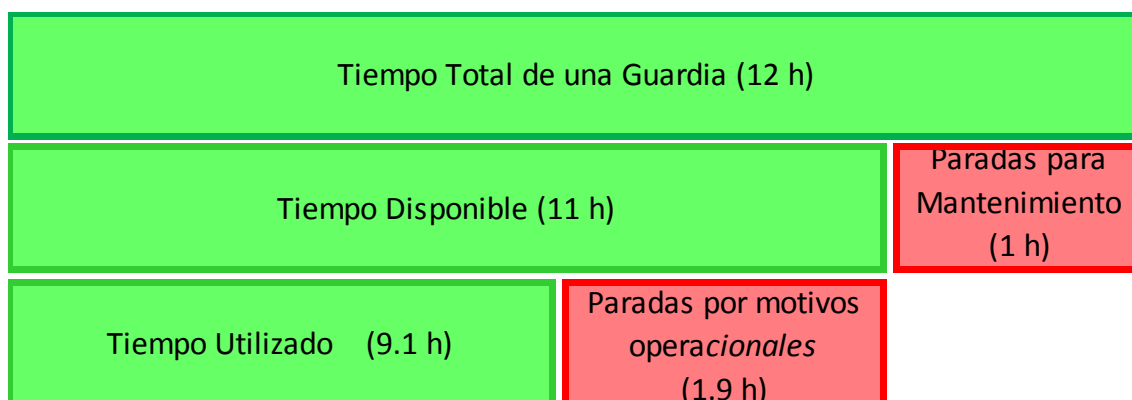
Elaboración: Propia

Figura 3.26 Tiempo utilizado y no utilizado de Equipos de carga, acarreo y descargas.

La disponibilidad promedio de 88.7% significa que en una guardia de 12 h son 10.6 h que el equipo está disponible para la operación y 1.4 h (11.3%) se encuentra paralizado por mantenimiento. A pesar que la disponibilidad promedio está en el estándar mundial, se encontró que el 41% de las paradas por mantenimiento fueron planificadas (mantenimiento preventivo o correctivo programado) y el otro 59% por paradas no planificadas (reparación mecánica imprevista de emergencia).

La utilización promedio de los Equipos de carga, acarreo y descargas (o tiempo utilizado en la operación) fue de 67%, es decir, de 10.6 h disponibles solo 7.1 h fueron utilizados en la operación y 3.5 h (el 33% restante) nuevamente estuvieron paralizados, pero ahora por otros motivos operacionales (espera por voladura, refrigerio, charla, reparto de guardia y traslado de personal; chequeo y lavado de equipo).

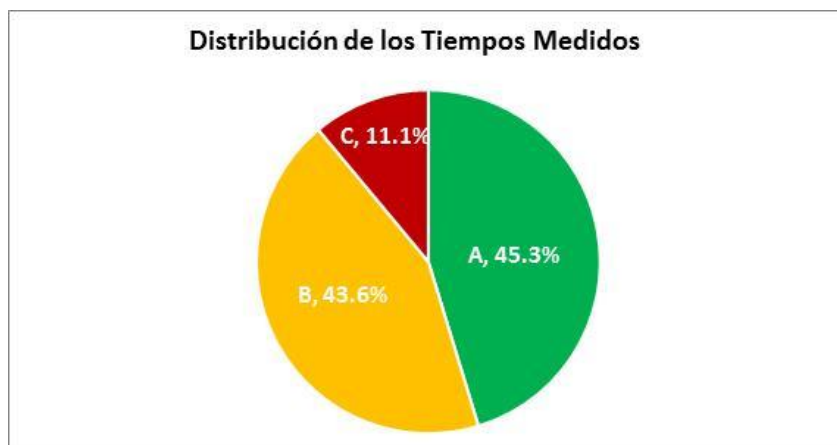
Con un incremento de la disponibilidad hasta un 92% y una disminución de los tiempos Auxiliares (B) e inútiles (C) hasta en un 30%, es posible llegar a utilidades de hasta 69%, es decir, pasar de las 10.6 h a 11 h de disponibilidad y de las 7.1 h a 9.1 h de utilización. Los detalles de la disminución de los tiempos serán vistos, más adelante, en el análisis de los tiempos (B) y (C); y también una sensibilización del impacto de la disminución de los tiempos improductivos, en el capítulo 4.



Elaboración: Propia

Figura 3.27 Tiempo utilizado y no utilizado propuesto para Equipos de carga, acarreo y descargas.

A continuación se distribuye los tiempos en esenciales (A), auxiliares (B) e inútiles (C). El valor consolidado se presenta en el gráfico a continuación:



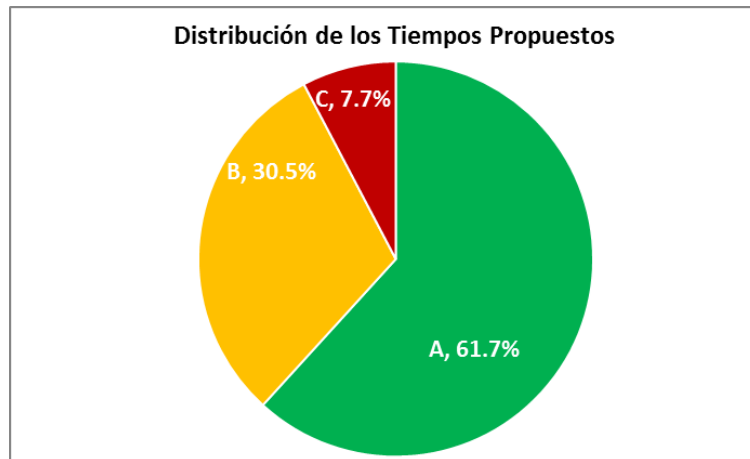
Fuente: Cerro Lindo

Elaboración: Propia

Figura 3.28 Distribución de tiempos en A, B y C para Equipos de carga, acarreo y descargas.

Es notable que las actividades “B” ocupan casi el mismo tiempo que las actividades “A”.

Tomando en cuenta que los tiempos B y C representan el 54.7% del tiempo total. Si hipotéticamente se disminuye los tiempos C en 30% y los B también en 30%, se incrementaría el tiempo esencial A de 45.3% a 61.7%; con esto se lograría hasta 200 t adicionales de carguío por equipo por guardia, es decir, a un ratio de 193.8 t/h, generándose un volumen adicional de 800 toneladas de mineral por día por equipo; si consideramos los 12 equipos, se lograría hasta 9,600 toneladas de mineral adicional por día. Para lograr esto se incidirá en las actividades que sean fácilmente reducidas o eliminadas de los (B) y (C). Los detalles de la disminución de los tiempos serán vistos más adelante, en el análisis de los tiempos (B) y (C), y también una sensibilización del impacto de la disminución de los tiempos improductivos, en el capítulo 4. A continuación se muestra la nueva distribución propuesta.



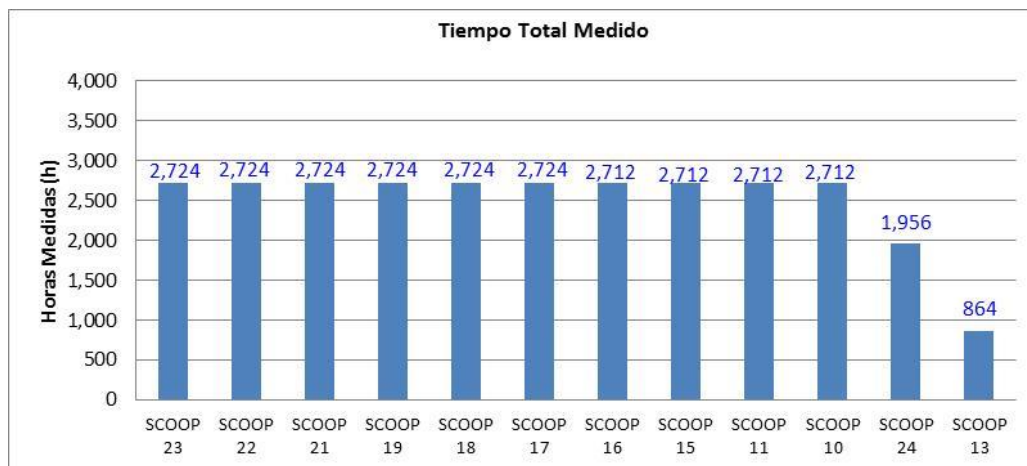
Fuente: Cerro Lindo

Elaboración: Propia

Figura 3.29 Distribución en A, B y C propuesta para Equipos de carga, acarreo y descarga.

► Distribución de los Tiempos por Equipo de Carguío

En el siguiente grafico mostramos el tiempo total contabilizado por cada Equipos de carga, acarreo y descarga en el total de actividades “A”+”B”+”C”:



Fuente: Cerro Lindo

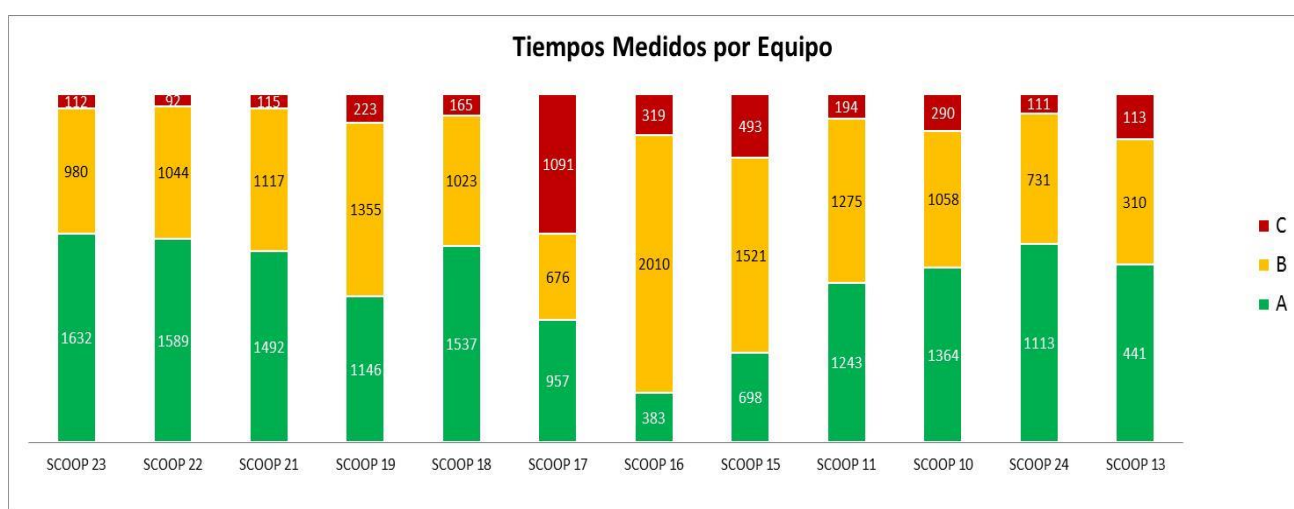
Elaboración: Propia

Figura 3.30 Tiempo medido por Equipos de carga, acarreo y descarga .

Se observa que el tiempo total contabilizado para cada equipo en los 4 meses que tomó la evaluación oscila entre 2,724 y 2,712 horas medidas. Solo los

Equipos de carga, acarreo y descarga s 13 y 24 presentaron mediciones totales de 876 y 1,956 horas, respectivamente. Básicamente porque son equipos nuevos: el Equipos de carga, acarreo y descarga 13 inició trabajos en marzo (trabajó 2 meses de los 4 que tomó la evaluación) y el Equipos de carga, acarreo y descarga 24 inició en febrero (trabajó 3 meses de los 4 que duró la evaluación).

Posteriormente y según se puede verificar de lo presentado en el próximo gráfico, existe un impacto significativo de la variable equipo con los resultados obtenidos de tiempos productivos e improductivos.



Fuente: Cerro Lindo

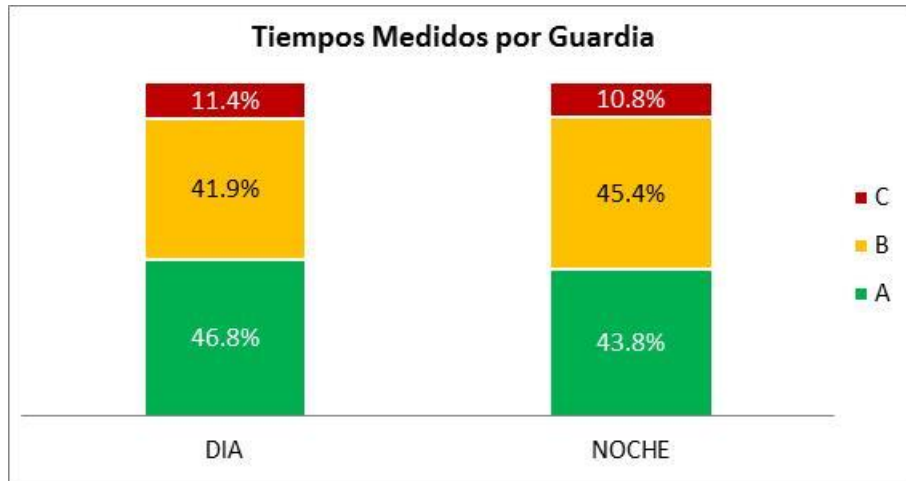
Elaboración: Propia

Figura 3.31 Distribución de tiempos en A, B y C por Equipos de carga, acarreo y descarga.

Del gráfico de distribución de tiempos por actividades A, B y C, se tiene que el tiempo promedio dedicado a las actividades esenciales A es de 45.3%. Los equipos que tienen menor porcentaje de tiempo esencial son los Equipos de carga, acarreo y descarga s 15 (26%), 16 (14%) y 17 (35%). Considerando que el Equipos de carga, acarreo y descarga 23 obtiene el mayor tiempo esencial A con 59.9%, se recomienda establecer, inicialmente, este porcentaje como meta por equipo.

► Distribución de los Tiempos por Guardia

Según lo presentado en el próximo gráfico, los resultados obtenidos son parecidos y no hay diferencias significativas en la distribución de los tiempos productivos e improductivos en las guardias analizadas (Día y Noche).



Fuente: Cerro Lindo

Elaboración: Propia

Figura 3.32 Distribución de tiempos por guardia de Equipos de carga, acarreo y descarga.

Sin embargo, causa una ligera extrañeza que la guardia de noche sea menos productiva que la del día, cuando de noche transita menos personal en mina y las rutas para los Equipos de carga, acarreo y descarga s deberían estar más libres.

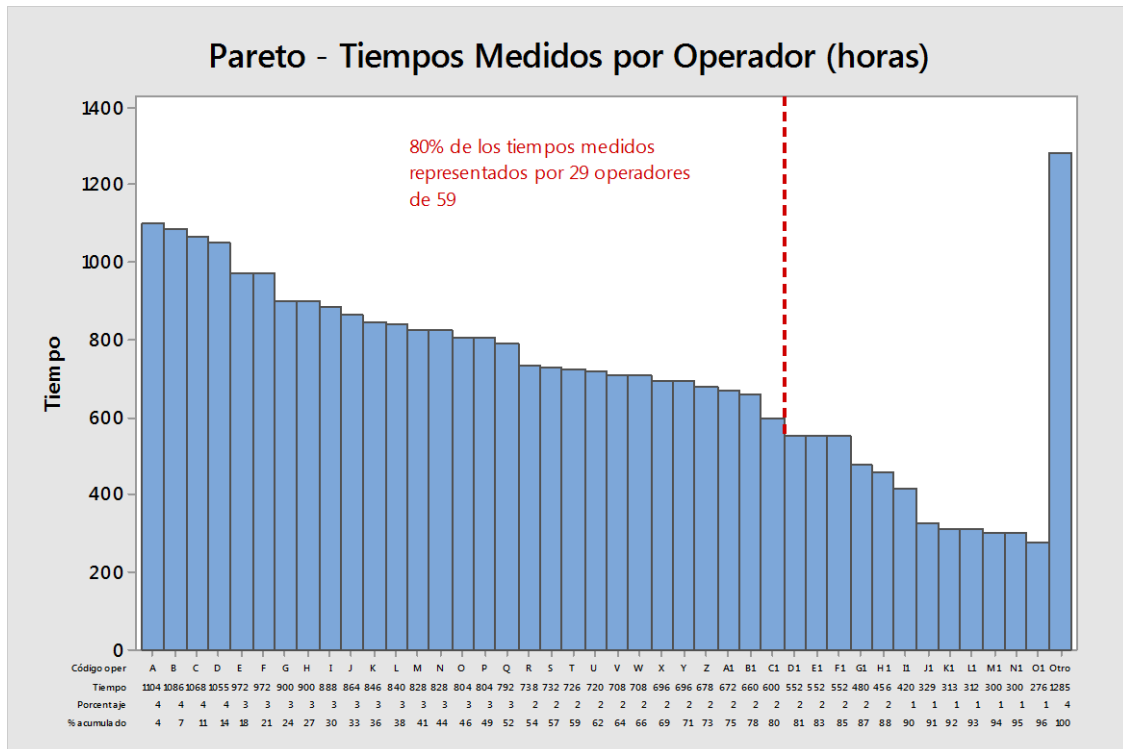
Ahora, distribuyendo las 12 h de una guardia de noche en tiempos A, B y C, es como sigue: (A) = 5.3 h, (B) = 5.4 h y (C) = 1.3 h

Lo normal sería que el mayor porcentaje de tiempo A debería darse en el turno “Noche”, debido a que existen menores retrasos o esperas por otras actividades propias del día. Se recomienda que en el turno “Noche” se mejore la supervisión y control; además la planificación.

► Distribución de los Tiempos por Operador

Durante el período de tiempo analizado, 59 operadores distintos (codificados de “A” a “O1”) trabajaron en los Equipos de carga, acarreo y descarga s, sin

embargo, aplicando el teorema de Pareto, se identificó que 29 operadores cubrieron aproximadamente el 80% de todo el tiempo medido (ver a continuación gráfico de Pareto). Entonces, para buscar ser más representativo de la realidad, enfocamos el análisis de los tiempos productivos e improductivos solo en estos 29 operadores principales.

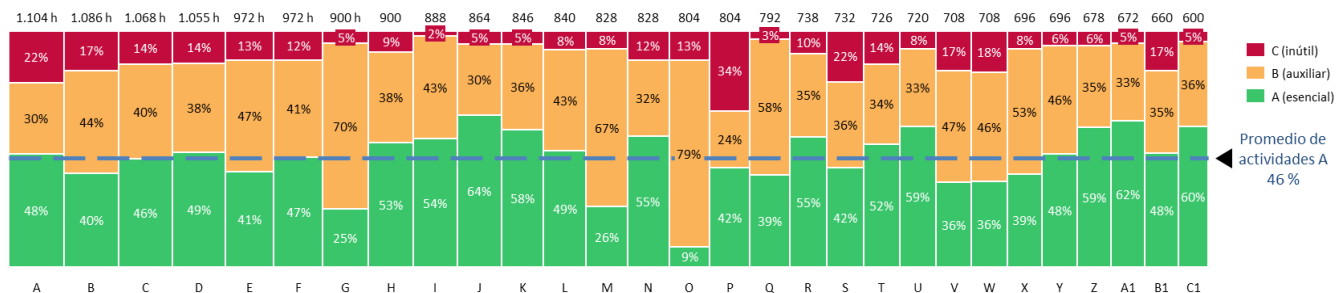


Fuente: Cerro Lindo

Elaboración: Propia

Figura 3.33 Pareto de tiempos medidos por operador para Equipos de carga, acarreo y descarga.

Luego, evaluando la distribución de los tiempos (A, B y C) entre los 29 operadores se identificó que existen diferencias importantes, según presentado en el gráfico a seguir. El ancho de las barras mostrado en la parte superior representa la cantidad de horas medidas por operador:



Fuente: Cerro Lindo

Elaboración: Propia

Figura 3.34 Distribución de Tiempos por Operador para Equipos de carga, acarreo y descarga.

Se observan diferencias significativas entre los resultados presentados por los distintos operadores. El promedio de los tiempos dedicados a operaciones esenciales A por operador es de 46%. Tres operadores presentan valores significativamente inferiores al promedio: los operadores O, G y M, con valores A de 9%, 25% y 26% respectivamente.

Los operadores con valores significativamente superiores en actividades “A” son el J, A1 y C1, que presenta valores de 64%, 62% y 60%, respectivamente.

Se nota un rango de dispersión elevada de los valores presentados por los operadores. Por ejemplo, el rango de actividades “A” entre el mejor operador (J – 64%) y el operador con valor más bajo (O – 9%) es de 55%, lo que puede mostrar una diferencia de capacitación entre los operadores de este equipo.

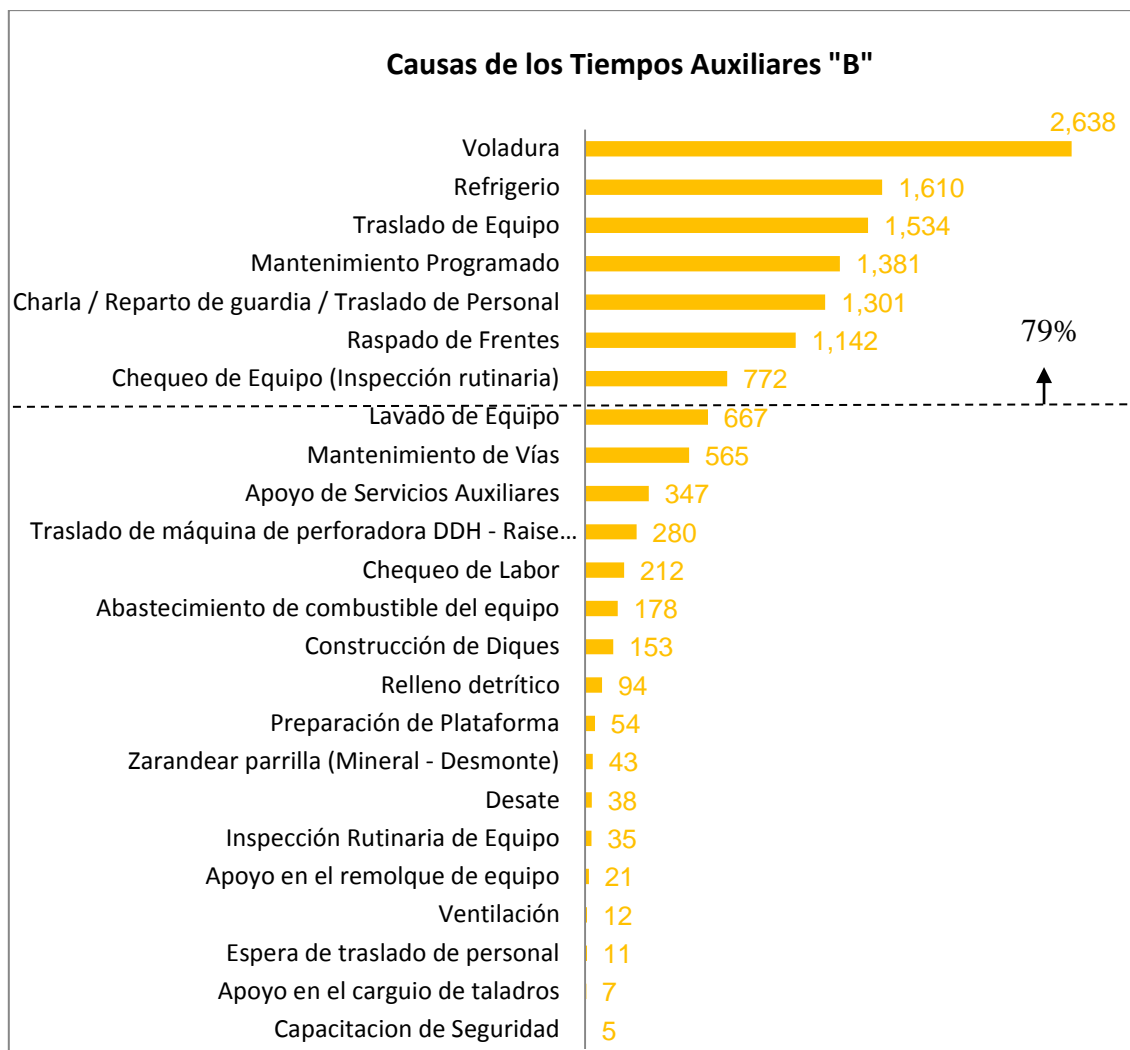
Es importante tener presente que la operación segura y eficiente de los Equipos de carga, acarreo y descarga s requieren destreza y constante capacitación por parte del operador, ya que este debe familiarizarse con todos los instrumentos, controles, dispositivos de advertencia y conocer las capacidades y limitaciones del equipo respetando los procedimientos y normas de seguridad. Así mismo para la segura y eficiente operación de los mismos se requiere un apropiado y correcto mantenimiento preventivo. En lo que respecta a Cerro Lindo y como hemos visto en las comparaciones de tiempos presentadas, las condiciones óptimas antes mencionadas no siempre se

cumplen dado que no existe el uso adecuado de los equipos por parte de algunos operarios. Por otro lado, debido al uso frecuente y constante de los Equipos de carga, acarreo y descargas y las condiciones en las cuales trabajan, dichos equipos han ido perdiendo sus condiciones iniciales de funcionamiento, por lo que son susceptibles a fallas mecánicas y eléctricas.

Se recomienda obtener las buenas prácticas de los operadores que alcanzan el mayor porcentaje y hacerlos formar parte del equipo de entrenamiento operativo, además de estandarizar los procedimientos de operación.

3.5.2.1 Análisis de Causas de los Tiempos Auxiliares B

En esta sesión se buscará identificar las principales causas que generaron las demoras en las actividades auxiliares “B”. En el gráfico a continuación se presenta los resultados obtenidos para el caso de los Equipos de carga, acarreo y descargas:



Fuente: Cerro Lindo

Elaboración: Propia

Figura 3.35 Causas de los tiempos auxiliares B de Equipos de carga, acarreo y descarga.

Durante el período evaluado, se presentaron 24 causas distintas para los tiempos auxiliares B. De este total, los resultados de 7 de ellas representan 79% de los tiempos auxiliares B. Estas 7 causas principales son:

- Paradas por Voladura (2,638 horas / 20%)
- Refrigerio (1,610 horas / 12%)
- Traslado de Equipo (1,534 horas / 12%)
- Mantenimiento Programado (1,381 horas / 11%)
- Charla / Reparto de Guardia / Traslado de Personal (1,301 horas / 10%)

- Raspado de Frentes (1,142 horas / 9%), y
- Chequeo de Equipo (inspección diaria de equipo) (772 horas / 6%)

Además, para estas 7 causas principales, también se evaluaron los resultados estadísticos por evento según se presenta en el cuadro a continuación:

Causa	Total # de Eventos	# de Eventos por Día por Equipo	Promedio (hrs)
Paradas por Voladura	2179	1.51	1.21
Refrigerio	1658	1.15	0.97
Traslado de Equipo	4876	3.39	0.31
Mantenimiento Programado	273	0.19	5.06
Charla Reparto de Guardia	1825	1.27	0.72
Raspado de Frentes	2327	1.62	0.49
Chequeo de Equipo	1996	1.39	0.39

Fuente: Cerro Lindo

Elaboración: Propia

Tabla 3.6 Estadística de las causas de los tiempos B de Equipos de carga, acarreo y descarga s.

Importante destacar algunos puntos, de manejo exclusivamente operacional, que pueden reflejarse en oportunidades de mejora para la productividad de la mina:

- El traslado de equipo toma en promedio 0.31 h (18.6 min) por evento y esto sucede 3.39 veces por día por cada equipo; es decir, 63 minutos al día por cada Equipos de carga, acarreo y descarga;
- El raspado de frentes toma en promedio 0.49 h (30 min) por evento y sucede 1.62 veces por día por cada equipo; es decir, casi 50 min al día por cada Equipos de carga, acarreo y descarga;

- Los repartos de guardia toman en promedio 0.72 h (43 min) por evento y esto sucede 1.27 veces por día por cada equipo, es decir 54.6 min al día por cada Equipos de carga, acarreo y descarga;
- Los despejes por voladura toman en promedio 1.21 h (73 min) cada evento y esto sucede 1.51 veces por día por cada equipo, es decir, 110 min. al día por cada Equipos de carga, acarreo y descarga;
- Los chequeos diarios de equipos toman en promedio 0.39 h (23 min) por evento y esto sucede 1.39 veces por día por cada equipo, es decir, 32 min al día por cada Equipos de carga, acarreo y descarga;
- El Refrigerio toma en promedio 0.97 h (58 min) cada evento y esto sucede 1.15 veces por día por cada equipo, es decir, 67min al día por cada Equipos de carga, acarreo y descarga;
- El mantenimiento programado toma en promedio 5.06 h (304 min) por evento y disgregando, esto sucede 0.19 veces por día por cada equipo; es decir, 58 min al día por cada Equipos de carga, acarreo y descarga;

Todos estos puntos citados anteriormente son actividades programadas que ocurren diariamente en todas las guardias de operación y por esto se estima pueden existir oportunidades para reducir el tiempo gastado en estas actividades e incrementar la productividad del ciclo de minado.

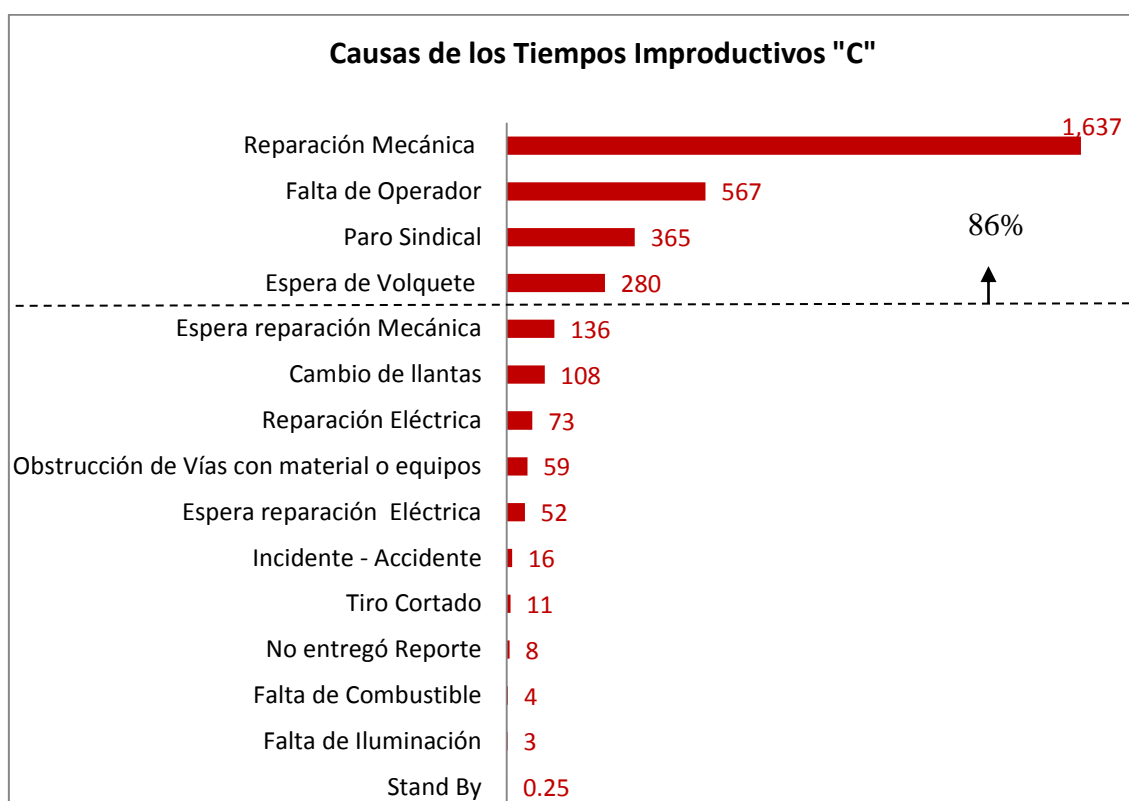
Como se evidencia, la espera de voladura es el de mayor impacto, por lo que se recomienda utilizar un explosivo que sea diferente al ANFO, como por ejemplo la emulsión, que tiene baja producción de gases tóxicos; de tal forma que los gases producto de la voladura requieran menor tiempo para diluirse o circular. Además, se podría incrementar las velocidades de aire de ventilación de tal forma que los gases se diluyan o circulen a la brevedad.

En el tema del mantenimiento programado y el chequeo rutinario del equipo, que suman 17%, se recomienda implementar un sistema más efectivo con estándares más altos en control y supervisión; de tal forma que se disminuya el tiempo actual de 90 min a 60 min.

Si bien es cierto que las causas más representativas de los tiempos B son las 7 primeras, es decir, las que representan 79% del total, también se sugiere mirar a los inmediatos, que podrían ser quizás, en algunos casos, más factible de reducirlas. Por ejemplo, el lavado de equipo, mantenimiento de vías, abastecimiento de combustible al equipo, falta de ventilación, apoyo en el remolque de equipos, etc., es decir, actividades que pueden ser reducidas o mejoradas con una mejor coordinación entre los supervisores y gerentes durante el cambio de guardia.

3.5.2.2 Análisis de Causas de los Tiempos Inútiles C

En esta parte se buscará identificar las principales causas para los resultados de los tiempos Inútiles C. En el gráfico a continuación se presenta los resultados obtenidos para el caso de los Equipos de perforación horizontal:



Fuente: Cerro Lindo

Elaboración: Propia

Figura 3.36 Causas de los tiempos inútiles C de Equipos de carga, acarreo y descarga s.

Durante el período evaluado, se presentaron 15 causas distintas para los tiempos inútiles C. De este total, los resultados de 4 de ellas concentran el 86.0% y las causas principales son:

- Reparación mecánica (1,637 horas / 49.3%);
- Falta de operador (567 horas / 17.08%);
- Paro Sindical (365 horas / 11.01%);
- Espera de Volquetes (280 horas / 8.44%).

Además, para estas 4 causas principales, también se evaluó los resultados estadísticos por evento según presentado en el cuadro a continuación (valores en horas):

Causa	Total # de Eventos	# de Eventos por Día por Equipo	Promedio (hrs)
Reparacion Mecanica	268	0.19	6.11
Falta de Operador	58	0.04	9.77
Paro Sindical	33	0.02	11.07
Espera de Volquete	408	0.28	0.69

Fuente: Cerro Lindo

Elaboración: Propia

Tabla 3.7 Estadística de las causas de los tiempos C de los Equipos de carga, acarreo y descarga.

- La reparación mecánica toma en promedio 6.11 h (367 min) por evento y disgregado esto sucede 0.19 veces por día por cada equipo; es decir, 70 min al día por cada Equipos de carga, acarreo y descarga;
- La espera de volquetes toma en promedio 0.69 h (41.4 min) por evento y esto sucede 0.28 veces por día por cada equipo; es decir, 12 min al día por cada Equipos de carga, acarreo y descarga;

- La falta de operador toma en promedio 9.77 h (586 min) por evento y desglosado esto sucede 0.04 veces por día por cada equipo; es decir, casi 24 min al día por cada Equipos de carga, acarreo y descarga;

La principal oportunidad de mejora en este caso sería la reducción de los eventos y tiempos relacionados a reparaciones mecánicas de los equipos, ya que consume 70 min al día por cada Equipos de carga, acarreo y descarga y se supone que además se destina 58 min al día para mantenimiento programado y, adicionalmente, 32 min para el chequeo diario del equipo. Es decir, la supervisión mecánica podría estar demandando 2.7 hrs al día por cada Equipos de carga, acarreo y descarga.

Solo la reparación mecánica representa el 50% del total de tiempos inútiles "C"; y cada evento toma, en más del 75% de los casos, no menos que 1.44 horas o 86 minutos aproximadamente.

Los eventos por "Paro Sindical" no son rutinarios en la mina y coincidentemente ocurrió durante el período de tiempo en que se tomaron las mediciones (muestra) en esta unidad minera.

En base a las causas principales identificadas, los paros sindicales, que en muchas minas del Perú son recurrentes en los primeros meses de cada año, se recomienda mirar con atención pues representa hasta el 11% de los tiempos inútiles C. Además, no se puede permitir tiempos inútiles como falta de operador o falta de volquete, falta de combustible, iluminación o falta de ventilación; éstas actividades deberían eliminarse de inmediato con una buena supervisión y planificación adecuada.

En el caso de la reparación mecánica, que cubre un 49.3% de los tiempos C, se recomienda un mejor mantenimiento programado y preventivo con revisiones más profundas; para evitar paradas por mantenimiento y que puedan afectar la producción.

3.5.2.3 Evaluación de producción (productividad) de los Equipos de carga, acarreo y descarga

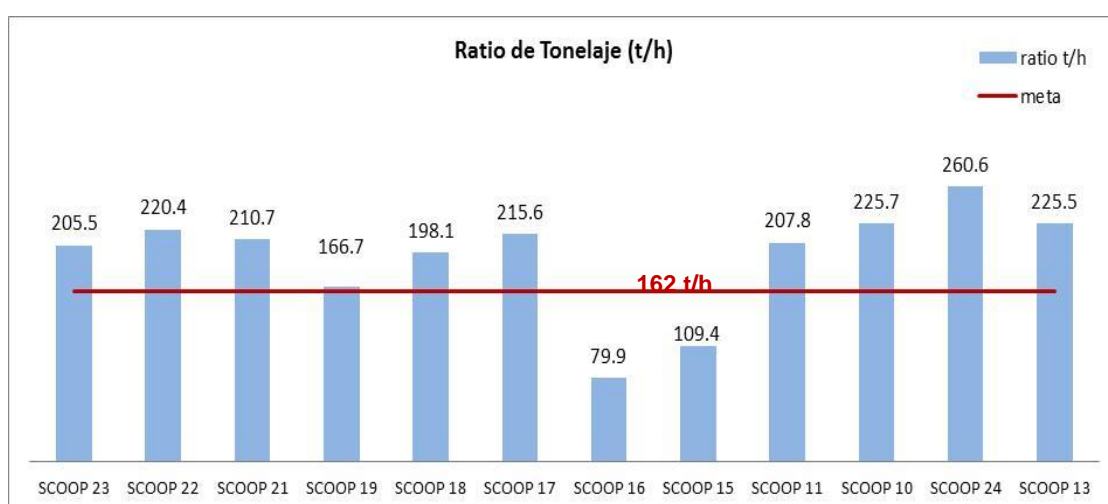
En el período evaluado, los Equipos de carga, acarreo y descarga presentaron los siguientes resultados para los tonelajes cargados/transportados y tiempos de utilización:

Equipo	Toneladas (TM)	Utilización (h)	Ratio de Toneladas (TM/h)	Meta Propuesta (t/h)	
				Por Cerro Lindo	Por este Estudio
Scoop 23	335,349	1,632	205	180	210
Scoop 22	350,084	1,589	220	180	210
Scoop 21	314,438	1,492	211	180	210
Scoop 19	191,080	1,146	167	90	210
Scoop 18	304,393	1,537	198	180	210
Scoop 17	206,375	957	216	180	210
Scoop 16	30,268	383	80	120	210
Scoop 15	76,355	698	109	120	210
Scoop 11	258,283	1,243	208	180	210
Scoop 10	307,859	1,364	226	180	210
Scoop 24	290,093	1,113	261	180	210
Scoop 13	99,481	441	226	90	210
Totales	2,764,058	Promedios	210	168	

Fuente: Cerro Lindo

Elaboración: Propia

Tabla 3.8 Tonelaje, horas de utilización, ratio y meta propuesta por Equipos de carga, acarreo y descarga.



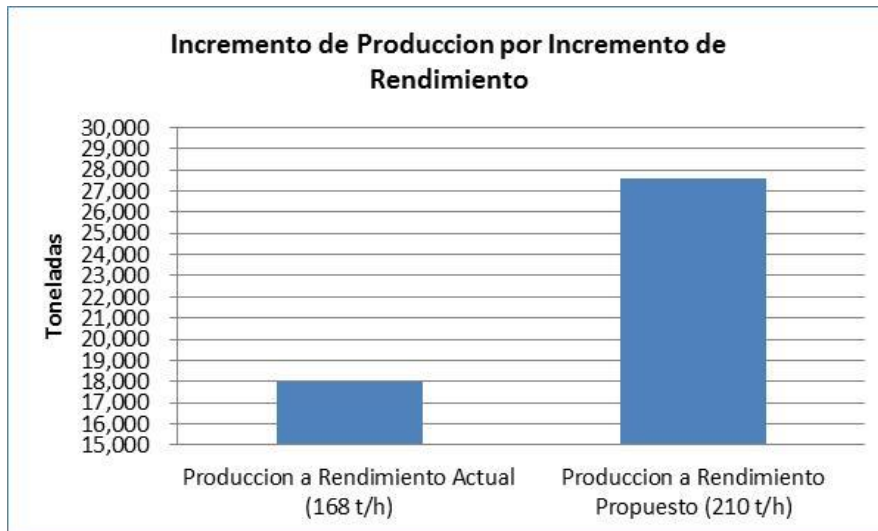
Fuente: Cerro Lindo

Elaboración: Propia

Figura 3.37 Ratio de perforación de Equipos de carga, acarreo y descarga.

La meta propuesta por este estudio para los 12 equipos de carguío es de 210 t/h, que es el promedio alcanzado por toda la flota en los 4 meses de evaluación. Tomar en cuenta que las metas propuestas por Cerro Lindo son variables por modelo de equipo, es decir, 180 t/h para los CAT R2900 y 120 t/h para los CAT RT1600, pero la meta promedio propuesta por Cerro Lindo para toda la flota fue de 168 t/h.

De forma individual por equipo, solo tres Equipos de carga, acarreo y descarga s no lograron superar la programación y precisamente fueron los Equipos de carga, acarreo y descarga s 15 y 16 que presentan altos valores en actividades B y C. Destaca el Equipos de carga, acarreo y descarga 24 que logró superar la meta en aproximadamente 45%.



Fuente: Cerro Lindo

Elaboración: Propia

Figura 3.38 Incremento de producción por aumento de rendimiento de equipos de carga, acarreo y descarga.

En el gráfico anterior se muestra que si se incrementara el rendimiento del carguío de 168 t/h a 210 t/h, existiría un potencial de producción de aproximadamente 800 tpd.

3.5.3 Tiempos Improductivos de Equipos de perforación horizontal

En la presente evaluación se pretende analizar, inicialmente y siguiendo los conceptos presentados en el Marco Conceptual, la Disponibilidad y Utilización, luego el comportamiento de los tiempos Esenciales (A), Auxiliares (B) e Inútiles (C), tanto de manera global, por equipo, por guardia, por operador, por detalle de tiempos (B) y (C) y por productividad.

El equipo de perforación Equipos de perforación horizontal está compuesto por un conjunto de martillos perforadores montados sobre brazos articulados de accionamiento hidráulico para la ejecución de los trabajos de perforación por el frente. El chasis sobre el que se montan los brazos puede ser automotor o remolcable. Este equipo se emplea para practicar agujeros para introducir la carga de explosivos para excavar un túnel. El Equipos de perforación horizontal posee un sistema operativo computarizado, con sus mandos a través de un ordenador.



Fuente: Cerro Lindo

Figura 3.39 Equipos de perforación horizontal

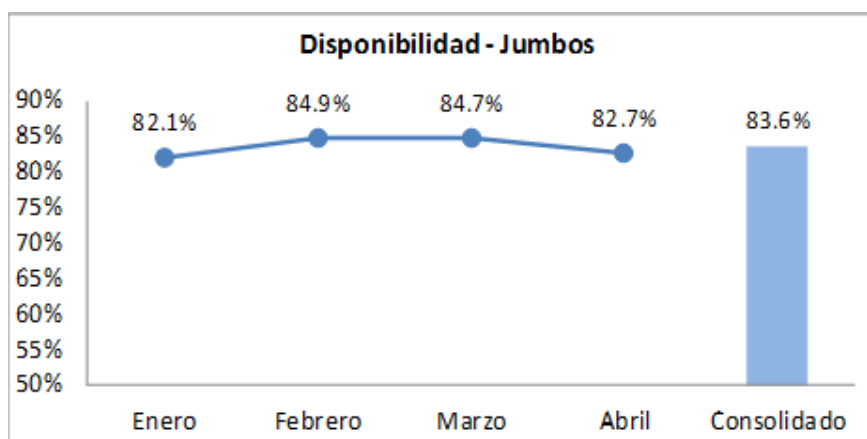
Se organizó y evaluó la base de datos de los tiempos trabajados por la flota de Equipos de perforación horizontales durante los meses de Enero, Febrero, Marzo y Abril 2015.

Estos equipos son utilizados en la actividad de Perforación y por este motivo se consideró como actividad Esencial A aquellas donde el equipo estaba realizando su programa de perforaciones. En el período evaluado, la unidad

minera estaba trabajando con 3 Equipos de perforación horizontales y los resultados de los análisis de los datos serán detallados a continuación.

► Evaluación de la Disponibilidad y Utilización

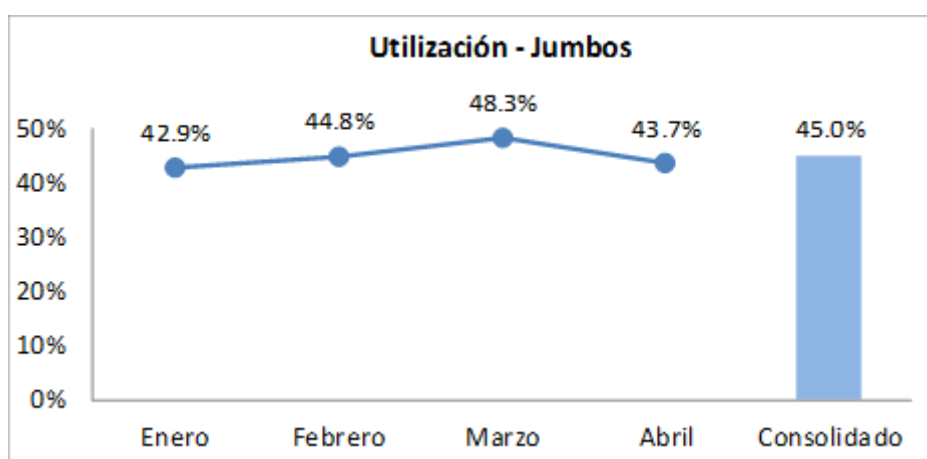
En los gráficos a continuación se presentan los valores medidos para la Disponibilidad y Utilización de los Equipos de perforación horizontales:



Fuente: Cerro Lindo

Elaboración: Propia

Figura 3.40 Disponibilidad de Equipos de perforación horizontales.



Fuente: Cerro Lindo

Elaboración: Propia

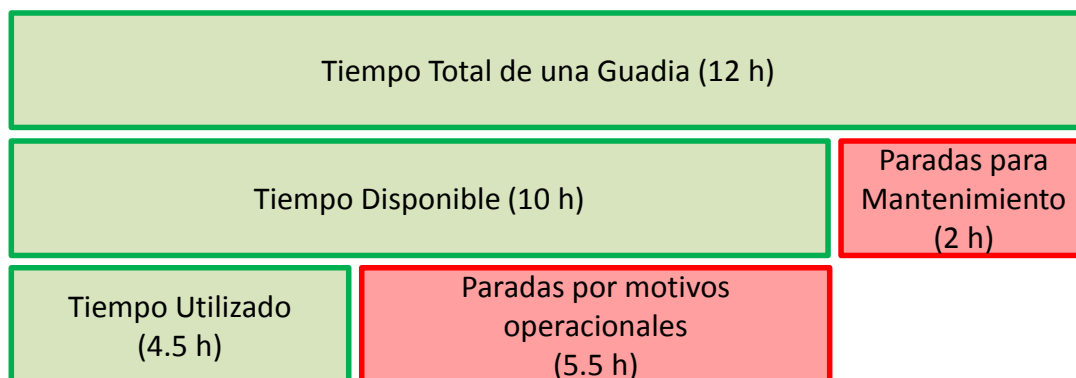
Figura 3.41 Utilización de Equipos de perforación horizontales.

Por los resultados presentados, se identifica claramente que no hay cambios significativos de estos valores entre los meses estudiados, es decir, la variable

“mes” no impacta en los resultados de Disponibilidad o Utilización de los Equipos de perforación horizontal.

El punto de mayor destaque está para la gran diferencia entre los valores consolidados de Disponibilidad (83.6%) y Utilización (45.0%). La Disponibilidad está muy próxima del valor de *Benchmark* mundial para equipos mineros (que es de 88% según MBA Augusto Ayesta – material de clases Maestría en Gestión Minera – GERENS 2015). La Utilización es significativamente inferior a la Disponibilidad, lo que significa que los tiempos improductivos de estos equipos son más influenciados por paradas operacionales que por paradas para mantenimiento (programado o correctivo).

Tomándose como referencia el tiempo total posible de operación de una guardia en Cerro Lindo (12 h) y los resultados de Disponibilidad y Utilización verificados, se puede construir lo siguiente esquema para la operación productiva de los Equipos de perforación horizontal en la mina:



Elaboración: Propia

Figura 3.42 Tiempo utilizado y no utilizado para Equipos de perforación horizontal.

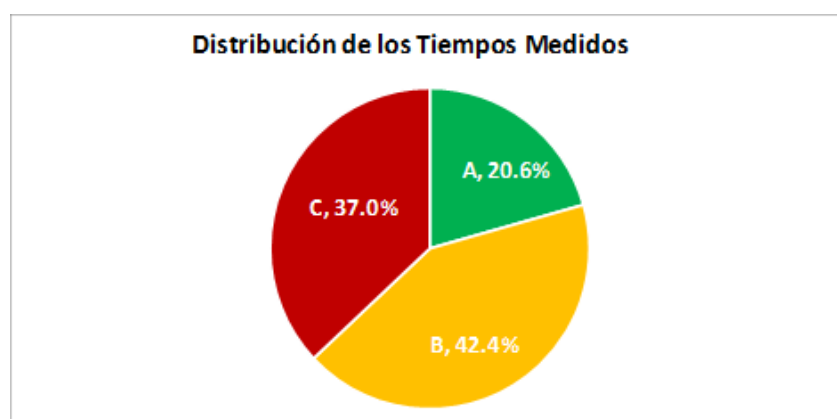
Del total de tiempo de una guardia, en promedio solamente se utiliza los Equipos de perforación horizontal en 4.5 h (un valor bastante inferior al tiempo de la guardia de 12 h).

Caso la Disponibilidad realmente logre alcanzar el valor de *Benchmark* (88%), entonces se puede decir que, en promedio, se podría obtener 0.53 h adicionales por turno que podrían ser utilizadas en actividades productivas de los Equipos de perforación horizontal. Sin embargo la principal oportunidad de

mejora está en la mejor utilización de las horas disponibles y no necesariamente en tener más Disponibilidad del equipo. Estas principales oportunidades de mejora serán mejor identificadas y exploradas en los análisis a seguir.

► Evaluación de los Tiempos Productivos e Improductivos

Con la data medida fue posible clasificar y evaluar los tiempos productivos e improductivos de los Equipos de perforación horizontal en las categorías: Esenciales (A), Auxiliares (B) e Inútiles (C). El valor consolidado se presenta en el gráfico a continuación:



Fuente: Cerro Lindo

Elaboración: Propia

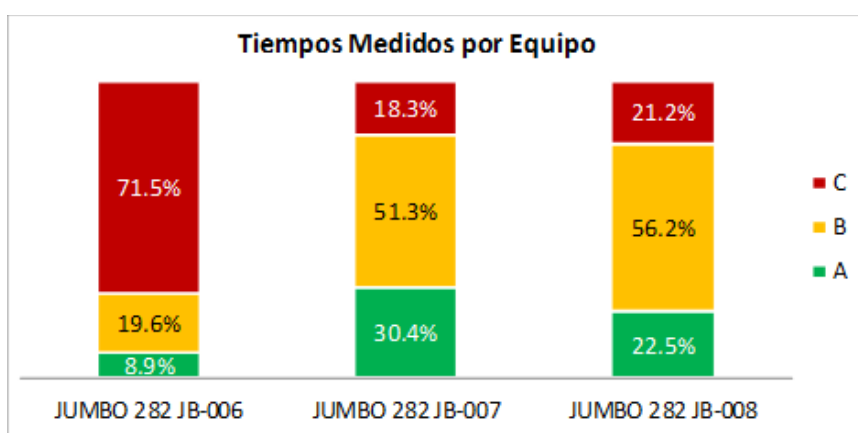
Figura 3.43 Distribución de tiempos en A, B y C de Equipos de perforación horizontal.

De todo el tiempo disponible para producción los Equipos de perforación horizontal solamente han sido utilizados en operaciones que agregan valor en el ciclo de minado (perforaciones en este caso) en 20.6% del total de tiempo (operaciones esenciales "A").

En la gran mayoría del tiempo los Equipos de perforación horizontal estaban dedicados a actividades auxiliares B (42.4% del tiempo total). Además, estos equipos estuvieron 37% involucrados en actividades inútiles C.

► Distribución de los Tiempos por Equipo

Durante el período de tiempo evaluado, la mina operada con 3 equipos de perforación horizontal encargados de la perforación de frentes. Según se puede verificar de lo presentado en el próximo gráfico, hay un impacto significativo de la variable “equipo en los resultados obtenidos de tiempos productivos e improductivos.

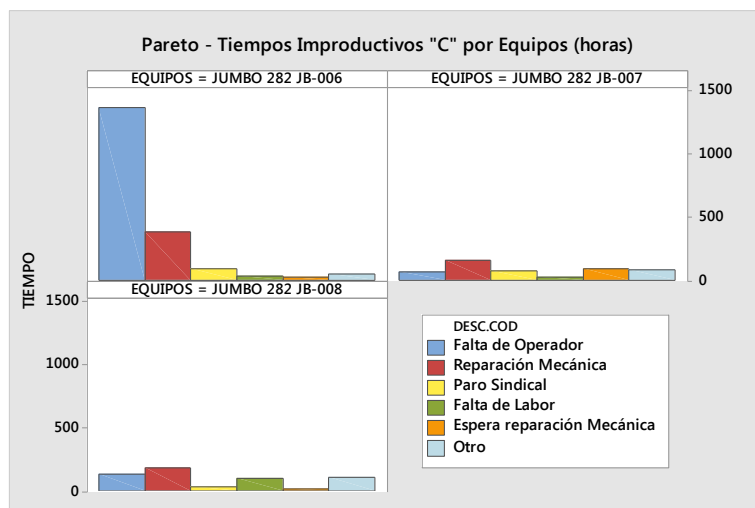


Fuente: Cerro Lindo

Elaboración: Propia

Figura 3.44 Resultados por equipo (Equipos de perforación horizontal).

Como es posible notar, el Equipos de perforación horizontal JB-006 presenta valores de tiempos dedicados a actividades esenciales “A” bastante inferiores a los resultados obtenidos para los otros 2 equipos. Además para este equipo, el resultado de actividades “C” es demasiado alto comparado con los otros equipos de perforación horizontal. Con esto se buscó identificar los motivos /causas del alto valor de actividades inútiles “C” presentado por el Equipos de perforación horizontal JB-006 en comparación con los otros equipos y entonces se identificó que la principal causa era la “Falta de Operador”, según indicado en el gráfico a continuación:



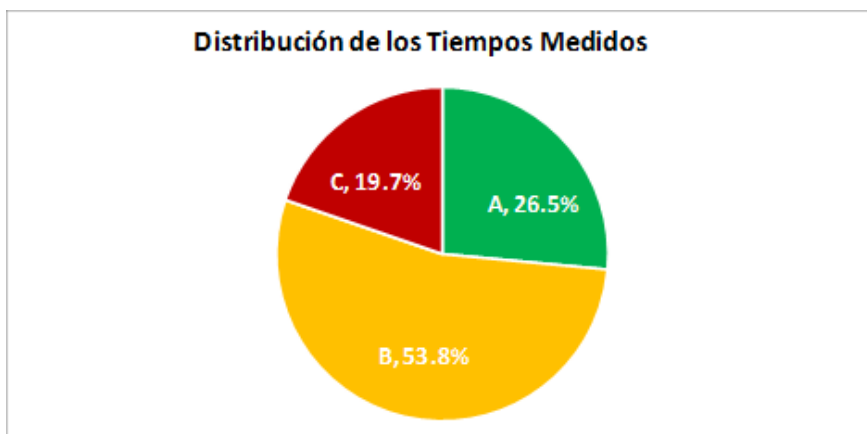
Fuente: Cerro Lindo

Elaboración: Propia

Figura 3.45 Pareto de las causas de los tiempos inútiles "C" por equipos.

Analizando junto al personal técnico de la unidad minera Cerro Lindo se identificó que la meta diaria / mensual de perforación con los Equipos de perforación horizontal podría ser lograda con la operación de solamente 2 equipos (y no más 3). En la realidad lo que estaba indicado como "Falta de Operador" era efectivamente que no se tenía programación de trabajos para este equipo. Con todo esto se tomó la decisión de sacar de operación el Equipos de perforación horizontal JB-006 (actualmente la unidad minera opera con solamente 2 Equipos de perforación horizontal propios). A partir de esta información y buscando dejar los análisis de este estudio más representativos de la realidad, se ha decidido sacar los datos referentes al Equipos de perforación horizontal JB-006 de los análisis de causas de los tiempos improductivos.

Revisando los resultados de los tiempos medidos en la operación de los Equipos de perforación horizontal ya excluyendo la data del Equipos de perforación horizontal JB-006 entonces se tiene estos nuevos valores (más representativos de la realidad):



Fuente: Cerro Lindo

Elaboración: Propia

Figura 3.46 Distribución de tiempos medidos (excluye Equipos de perforación horizontal 006).

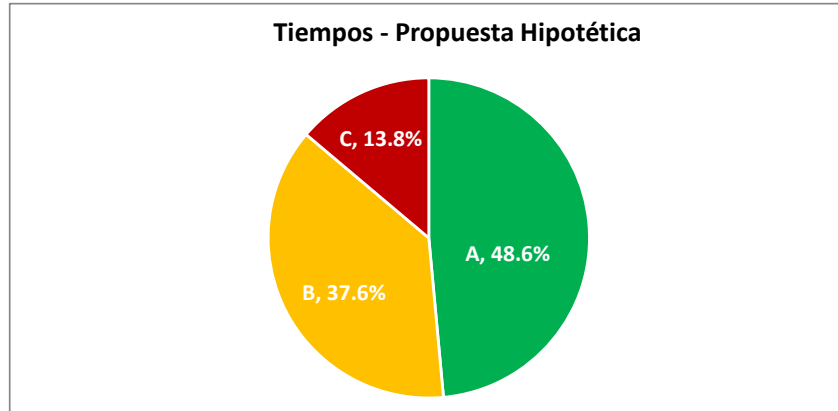
En esta nueva configuración de resultados, de todo el tiempo disponible para producción, los Equipos de perforación horizontal solamente han sido utilizados en operaciones que agregan valor en el ciclo de minado (perforación en este caso) en 26.5% del total de tiempo (operaciones esenciales "A").

De igual forma al verificado anteriormente, en la gran mayoría del tiempo los Equipos de perforación horizontal estaban dedicados a actividades auxiliares B (53.8% del tiempo total) o estuvieron involucrados en actividades inútiles C (19.7%).

La distribución de los tiempos Esenciales A, Auxiliares B e Inútiles C es: 26.5% de A, 53.8% de B y 19.7% de C. Considerando como referencia la primera evaluación del estudio presentado en la sesión de marco conceptual, donde la distribución indicó 39.4% de tiempos A, entonces se puede decir que el resultado presentado por los Equipos de perforación horizontal (26.5%) es significativamente bajo y que seguramente existen oportunidades de mejora en este proceso de perforación con estos equipos.

Los tiempos B y C juntos representan 73.5% de total de los tiempos medidos. En un caso hipotético, con una mejora y consecuente reducción en estos tiempos improductivos, se podría incrementar la utilización de los equipos en actividades esenciales A, pasando de 26.5% a aproximadamente 48.55% y

alcanzando una producción adicional de 400 m perforados por turno en cada equipo operado (los detalles para esta mejora de metros perforados serán presentados en la continuación de este documento).



Fuente: Cerro Lindo

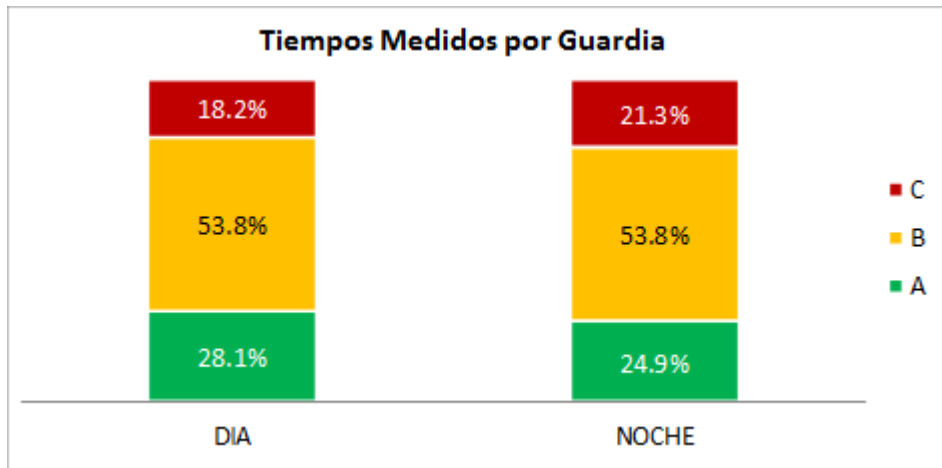
Elaboración: Propia

Figura 3.47 Tiempos: propuesta hipotética Equipos de perforación horizontal.

Volviendo a los análisis de los tiempos estratificados por equipos, se puede notar que el Equipos de perforación horizontal 007 presenta un nivel de operaciones A superior al Equipos de perforación horizontal 008. Este equipo (007) debe ser referencia mínima para la definición de metas de perforación y programación de actividades en la mina.

► **Distribución de los Tiempos por Guardia**

Según presentado en el próximo gráfico, los resultados obtenidos son parecidos y no hay diferencias significativas de la distribución de los tiempos productivos e improductivos en las guardias analizadas (Día y Noche), aunque se nota valores de tiempos A superiores en la guardia Día.



Fuente: Cerro Lindo

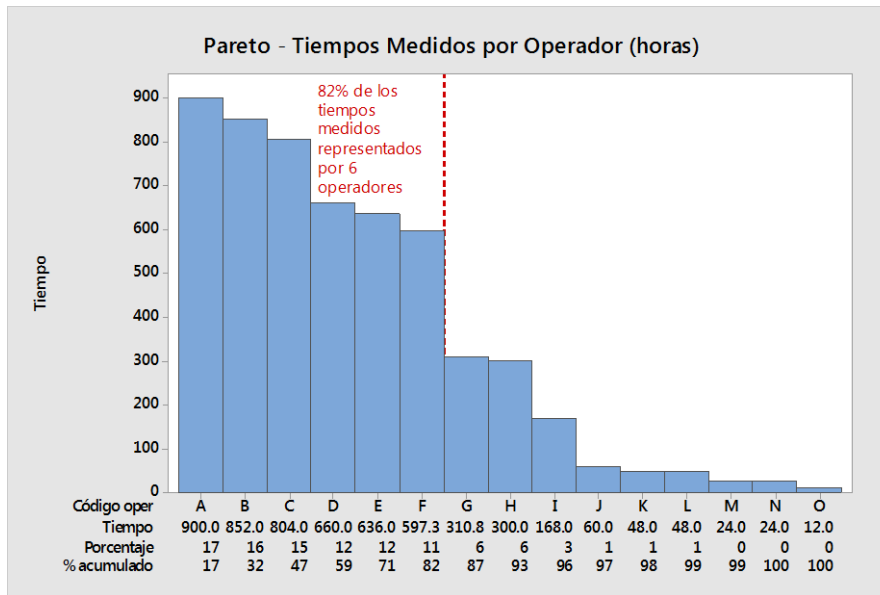
Elaboración: Propia

Figura 3.48 Distribución de tiempos por guardia Equipos de perforación horizontal.

De forma general, la guardia Día es más productiva que la guardia Noche, presentando valores de tiempos esenciales A 28.1% y 24.9% respectivamente. Aunque esta diferencia no es muy significativa, es interesante notar que lo mismo se identificó para los equipos de perforación de taladros largos y Equipos de carga, acarreo y descargas, es decir, la productividad (medida por % de tiempos esenciales A) también fue mayor para la guardia Día para estos respectivos equipos. Esto indica una potencial oportunidad de mejora, pues lo más común sería hallar el mayor porcentaje de tiempo A en el turno Noche, debido a que existe menores retrasos o esperas por otras actividades propias del día. En este caso se recomienda que en el turno Noche se mejore la supervisión y control, además de la planificación, buscando incrementar los tiempos A en por lo menos 5 puntos %.

► Distribución de los Tiempos por Operador

Durante el período de tiempo analizado, 15 operadores distintos (codificados de "A" a "O") trabajaron en los Equipos de perforación horizontal, sin embargo, aplicando el teorema de Pareto, se identificó que 6 operadores representan aproximadamente 82% de todo el tiempo medido (ver gráfico de Pareto en la continuación). Entonces, para buscar ser más representativo de la realidad, se enfocó el análisis de los tiempos productivos e improductivos en estos 7 operadores principales.

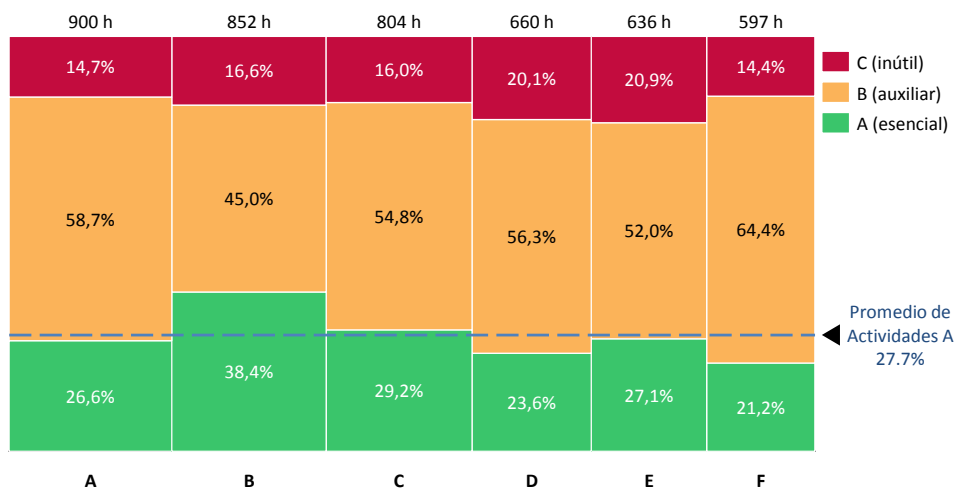


Fuente: Cerro Lindo

Elaboración: Propia

Figura 3.49 Pareto de tiempos medidos por operador de Equipos de perforación horizontal.

Evaluando la distribución de los tiempos (A, B y C) entre estos 6 operadores se identificó que hay diferencias importantes, según presentado en el gráfico a seguir (donde el ancho de las barras representa la cantidad de horas medidas por operador):



Fuente: Cerro Lindo

Elaboración: Propia

Figura 3.50 Distribución de tiempos por operador de Equipos de carga, acarreo y descarga s.

Hay diferencias significativas entre los resultados presentados por los distintos operadores. El promedio de los tiempos dedicados a operaciones esenciales A por operador es de 27.7%. Se identifica en los resultados obtenidos que 2 operadores presentan valores A significativamente inferiores al promedio: el operador D y el operador F, con valores A de 23.6% y 21.2% respectivamente.

El mejor operador (aquellos con proporcionalmente más tiempo aplicado en actividades A) es el operador B, que presenta un valor significativamente superior a los otros operadores (38.4%).

Se nota un rango de dispersión elevada de los valores presentados por los operadores. Por ejemplo, el rango de actividades A entre el mejor operador (B – 38.4%) y el operador con valor más bajo de actividades A (F– 21.2%) es de 17.2%, lo que puede mostrar una diferencia de capacitación entre los operadores de este equipo.

También para el caso de operadores se percibe una potencial mejora para la productividad en los posibles escenarios:

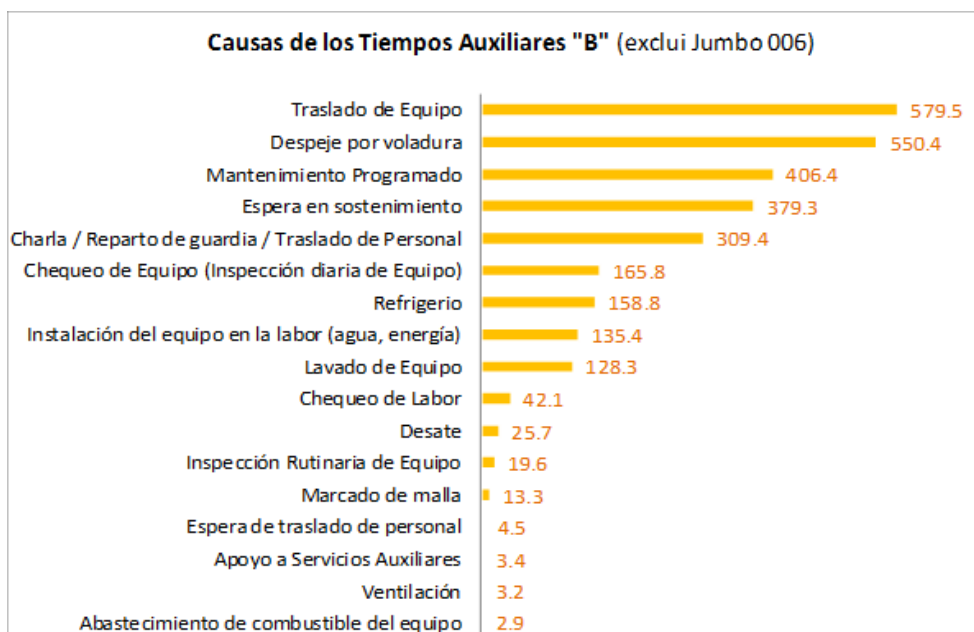
- escenario 1 – si todos los operadores que presentan tiempos A por debajo del promedio logren incrementar sus tiempos a mínimo igual promedio (27.7%);
- escenario 2 – si todos los operadores incrementen sus tiempos A a un valor igual al mejor valor encontrado entre todos los operadores (38.4%).

Esta mejora puede ser buscada con inversiones en capacitaciones, evaluación de las buenas prácticas del mejor operador y estandarización de las actividades.

3.5.3.1 Equipos de Perforación Horizontal – Análisis de Causas de los Tiempos Auxiliares B

En esta sesión se buscará identificar las principales causas para los resultados de los tiempos auxiliares B. Según identificado en la sesión anterior, para estos análisis no se consideró las mediciones para el Equipos de perforación

horizontal JB-006. En el gráfico a continuación se presenta los resultados obtenidos para el caso de los Equipos de perforación horizontal:



Fuente: Cerro Lindo

Elaboración: Propia

Figura 3.51 Causas de los tiempos auxiliares B de Equipos de perforación horizontal.

Durante el período evaluado, se presentaron 17 causas distintas para los tiempos auxiliares B. De este total, los resultados de 6 de ellas representan 81.7% de los tiempos auxiliares B. Estas 6 causas principales son:

- Traslado de Equipo (579.5 horas / 19.8%)
- Despeje por voladura (550.4 horas / 18.8%)
- Mantenimiento programado (406.4 horas / 13.9%)
- Espera en Sostenimiento (379.3 horas / 13%)
- Charla / Reparto de Guardia / Traslado de Personal (309.4 horas / 10.6%);
- Chequeo de Equipo (inspección diaria de equipo) (165.8 horas / 5.7%)

Además, para estas 6 causas principales, también se evaluó los resultados estadísticos por evento según presentado en el cuadro a continuación (valores en horas):

Causa	Promedio	Desv. Stand.	# Eventos/día /equipo
Traslado de Equipo	0.44	0.27	6.4
Despeje por voladura	1.45	0.56	2.0
Mantenimiento programado	10.40	3.45	0.2
Espera en Sostenimiento	1.40	0.99	1.3
Charla / Reparto de Guardia / Traslado de Personal	0.78	0.31	2.0
Chequeo de Equipo	0.55	0.40	1.7

Fuente: Cerro Lindo

Elaboración: Propia

Tabla 3.9 Estadística de las causas de los tiempos B de Equipos de perforación horizontal.

Importante destacar algunos puntos, de manejo exclusivamente operacional, que pueden reflejarse en oportunidades de mejora para la productividad de la mina:

- Los repartos de guardia toman en promedio 0.78 h (47 min)
- Los despejes por voladura toman en promedio 1.45 h (1 h y 27 min)
- Los chequeos diarios de equipos toman en promedio 0.55 h (33 min)

Todos estos puntos citados anteriormente son actividades programadas que ocurren diariamente en todas las guardias de operación y por esto se estima que pueden existir oportunidades para reducir el tiempo gasto en estas actividades e incrementar la productividad del ciclo de minado. Tomar acciones para la reducción de estos tiempos B es esencial para buscar una mejora e incremento de los tiempos dedicados en operaciones esenciales A.

Como acciones para mejora se puede destacar:

- verificar la posibilidad de utilizar un explosivo que sea diferente al ANFO, como por ejemplo la emulsión, que tiene baja producción de gases tóxicos; de tal forma que los gases producto de la voladura, requieran menor tiempo para diluirse o circular y así se podría bajar el tiempo de despeje por voladura;
- además, se podría incrementar las velocidades de aire de ventilación, mayores a los 20 metros/minuto, de tal forma que los gases se diluyan o circulen a la brevedad;
- instalar talleres de mantenimiento en la parte subterránea: para reducir los tiempos de desplazamientos de equipos para chequeos y mantenimiento. Ideal sería un lugar no impactado por gases de las voladuras, pues de esta forma los mantenedores pueden seguir trabajando en las horas que se despejaría debido a voladura;
- también se podría replantear el sistema de mantenimiento preventivo, pues este es una las principales causas de los tiempos B y actualmente la Disponibilidad de los equipos ya es elevada.

3.5.3.2 Equipos de perforación horizontal – Análisis de Causas de los Tiempos Inútiles C

En esta parte se buscará identificar las principales causas para los resultados de los tiempos Inútiles C. De igual forma para los análisis de causas de los tiempos auxiliares B no se considera las mediciones para el Equipos de perforación horizontal JB-006. En el gráfico a continuación se presenta los resultados obtenidos para el caso de los Equipos de perforación horizontal:



Fuente: Cerro Lindo

Elaboración: Propia

Figura 3.52 Causas de los tiempos inútiles C de Equipos de perforación horizontal.

Durante el período evaluado, se presentaron 17 causas distintas para los tiempos inútiles C. De este total, los resultados de 5 de ellas representan 82.0% de los tiempos inútiles C. Estas 5 causas principales son:

- Reparación mecánica (347.9 horas / 32.4%);
- Falta de operador (193.2 horas / 18.0%);
- Falta de Labor (125.1 horas / 11.6%);
- Paro Sindical (108.0 horas / 10%) y;
- Espera para reparación mecánica (107.5 horas / 10.0%).

Además, para estas 5 causas principales, también se evaluó los resultados estadísticos por evento según presentado en el cuadro a continuación (valores en horas):

Causa	Promedio	# Eventos/día /equipo
Reparación mecánica	1.68	2.4
Falta de operador	10.12	1.2
Falta de labor	1.95	0.7
Paro Sindical	12.0	No aplicable (evento puntual)
Espera por reparación mecánica	1.10	1.0

Fuente: Cerro Lindo

Elaboración: Propia

Tabla 3.10 Estadística de las causas de los tiempos C de los Equipos de perforación horizontal.

Se supone que la principal oportunidad de mejora en este caso sería la reducción de los eventos y tiempos relacionados a reparaciones mecánicas de los equipos. Esta causa representa aproximadamente 1/3 del total de los tiempos inútiles C y cada evento toma, en más de 75% de los casos, no menos que 0.67 horas o 40 minutos aproximadamente.

Los eventos por “Paro Sindical” no son rutinarios en la mina y coincidentemente han ocurrido durante el período de tiempo en que se tomaron las mediciones (muestra) en esta unidad minera.

Como acciones potenciales para mejora de los tiempos C se puede destacar:

- analizar a fondo los tipos y causas de las fallas de equipos (alta ocurrencia de reparaciones mecánicas) para reducir los tiempos perdidos en mantenimientos correctivos;

- replantear el sistema de mantenimiento preventivo (revisar la lista de actividades del plan preventivo actual) también para buscar reducir las paradas intempestivas para reparaciones mecánicas;
- revisar el plan y programa de minado de cortísimo plazo para buscar eliminar los tiempos improductivos por falta de labor;
- revisar los índices de ausentismo de trabajadores y proponer acciones para reducción de este índice buscando así reducir los tiempos improductivos por falta de operador.

3.5.3.3 Evaluación de producción (productividad) de los Equipos de perforación horizontal

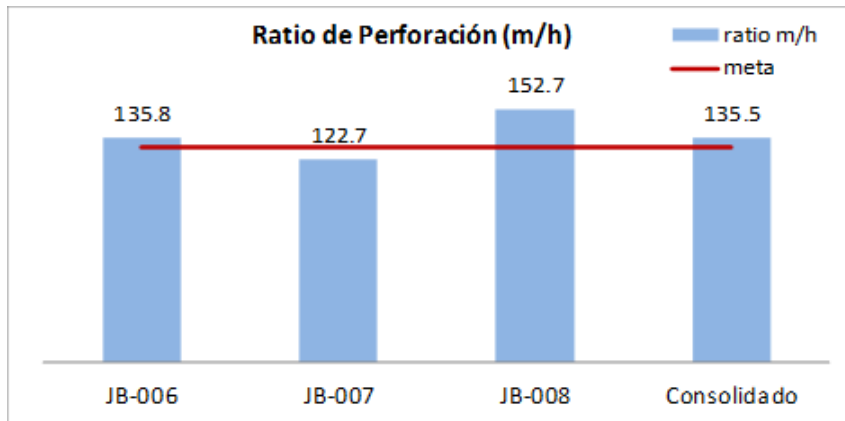
En el período evaluado, los Equipos de perforación horizontal presentaron los siguientes resultados para metros perforados y tiempos de utilización:

Equipo	Perforación (m)	Utilización (h)	Ratio de Perforación (m/h)
JB- 006	32,858	242.0	135.8
JB- 007	101,604	828.4	122.7
JB- 008	93,596	613.0	152.7

Fuente: Cerro Lindo

Elaboración: Propia

Tabla 3.11 Metros de perforación, horas de utilización y ratio de Equipos de perforación horizontal.



Fuente: Cerro Lindo

Elaboración: Propia

Tabla 3.12 Ratio de perforación Equipos de perforación horizontal.

La meta / programación de la unidad para la perforación de los Equipos de perforación horizontal es de 130 m/h. El valor consolidado de los 3 equipos es superior a esta meta definida (135.5 m/h). De forma individual por equipo, solamente el JB-007 no logró superar la programación de ratio de perforación (-5.6%). Destaque para el Equipos de perforación horizontal JB-008 que logró superar la meta en aproximadamente 17%.

Este análisis podría indicar también que la meta definida por equipo está subdimensionada y la programación de producción por equipo podría establecerse en un nivel más elevado (por lo menos 135.5 m/h).

Capítulo 4: Impacto de la disminución de los tiempos improductivos

En esta sesión se buscó evaluar los impactos de potenciales mejoras (reducción de tiempos improductivos B o C) en el incremento de los tiempos productivos esenciales A y su consecuente impacto en mejoras de indicadores operacionales de la mina.

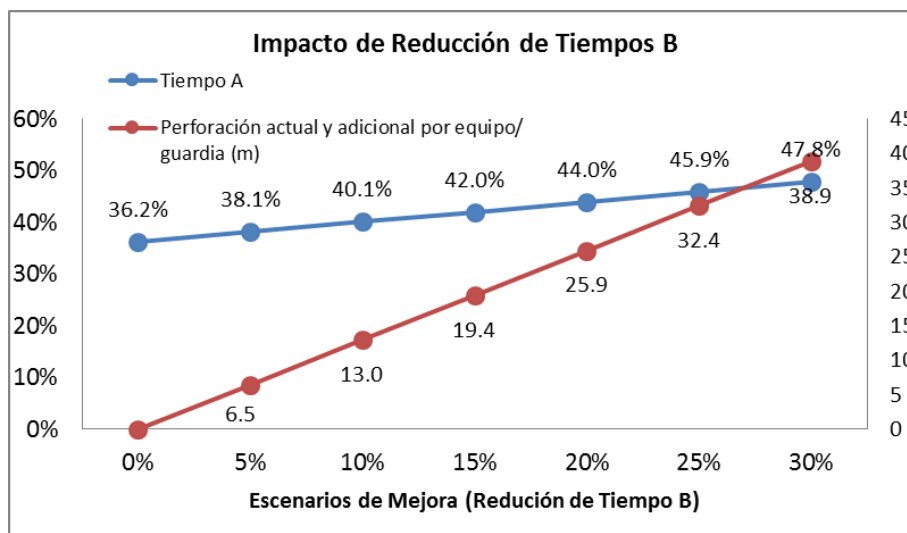
4.1 Evaluación de Escenarios de Mejora - Equipos de perforación de taladros largos

Si se redujeran las principales causas de los tiempos B (despeje por voladura, charla / reparto de guardia / traslado de personal, refrigerio y lavado de equipo) y C (reparación mecánica, falta de agua, paro sindical, corte de energía, espera para reparación mecánica, falta de operador y falta de labor), se tienen los siguientes escenarios con reducciones de 5%.

Reducción de tiempo B -->	Actual		Escenarios de Reducción de Tiempos improductivos					
		0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%
Tiempo A		36.2%	38.1%	40.1%	42.0%	44.0%	45.9%	47.8%
Incremento de horas productivas		0.0	0.2	0.5	0.7	0.9	1.2	1.4
Perforación actual y adicional por equipo/ guardia (m)	121	0.0	6.5	13.0	19.4	25.9	32.4	38.9

Elaboración: Propia

Tabla 4.1 Escenarios de reducción de tiempos B de taladros largos.



Elaboración: Propia

Figura 4.1 Impacto de Reducción de tiempos auxiliares B de taladros largos.

Si se redujera en 30% los tiempos auxiliares B, podría generar un impacto en los tiempos esenciales A, pasándolos de 36.2% (4.3 h por turno), que es el tiempo actual, llevándola a 47.8% (equivalente a aproximadamente a 5.7 h por turno). La variación de incremento de tiempo es de 1.4 horas, que incrementaría las perforaciones, por equipo, de 121 m a 160 m por guardia trabajada.

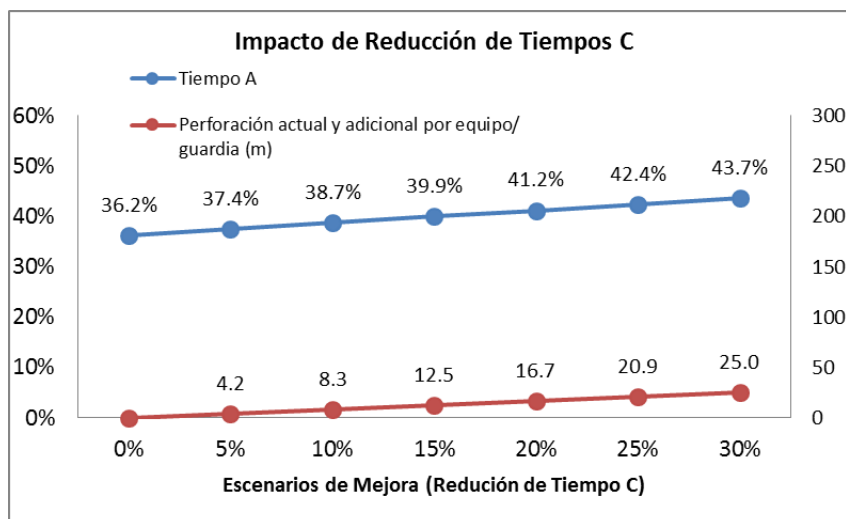
De igual manera, también se evaluaron los impactos en escenarios de reducción de tiempos inútiles C. La tabla y gráfico con resultados están presentado a continuación:

Mejora / Reducción de Tiempos Auxiliares C:

Reducción de tiempo C -->	Actual		Escenarios de Reducción de Tiempos improductivos					
		0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%
Tiempo A		36.2%	37.4%	38.7%	39.9%	41.2%	42.4%	43.7%
Incremento de horas productivas		0.0	0.2	0.3	0.5	0.6	0.8	0.9
Perforación actual y adicional por equipo/ guardia (m)	121	0.0	4.2	8.3	12.5	16.7	20.9	25.0

Elaboración: Propia

Tabla 4.2 Escenarios de reducción de tiempos C de taladros largos.



Elaboración: Propia

Figura 4.2 Impacto de Reducción de tiempos inútiles C de taladros largos.

Si se redujera en 30% los tiempos inútiles C, podría generar un impacto en los tiempos esenciales A, pasándolos de 36.2% (4.3 h por turno), que es lo que representa en porcentaje el tiempo actual A, llevándola a 43.7% (equivalente a aproximadamente 5.2 h por guardia) e incrementaría las perforaciones de 121 m a 146 m por guardia trabajada.

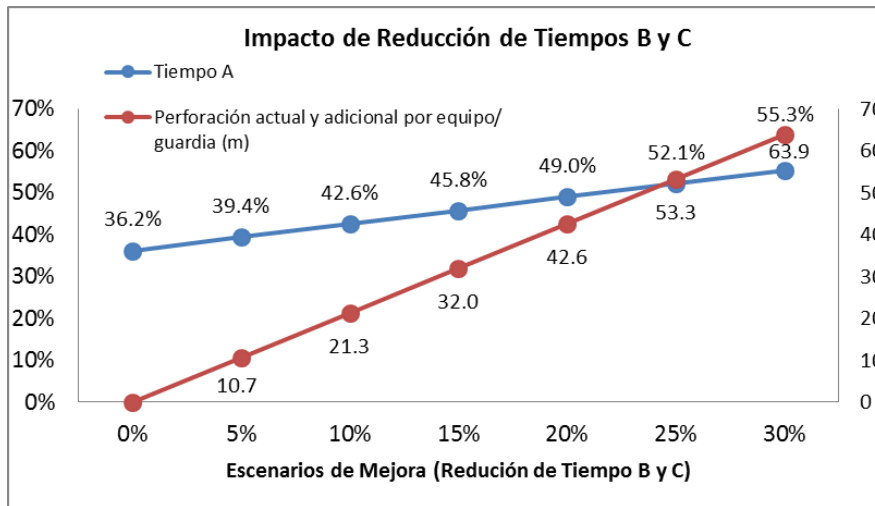
Se nota hay oportunidades de mejoras tanto en tiempos B cuanto en tiempos C. Sin embargo, se nota más claramente que los impactos de la reducción de los tiempos auxiliares B en el incremento de horas productivas (tiempos esenciales A) son más significativos que los impactos de la reducción de tiempos auxiliares B.

:

Reducción de tiempo B y C -->	Actual		Escenarios de Reducción de Tiempos improductivos					
		0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%
Tiempo A		36.2%	39.4%	42.6%	45.8%	49.0%	52.1%	55.3%
Incremento de horas productivas		0.0	0.4	0.8	1.1	1.5	1.9	2.3
Perforación actual y adicional por equipo/guardia (m)	121	0.0	10.7	21.3	32.0	42.6	53.3	63.9

Elaboración: Propia

Tabla 4.3 Mejora / Reducción de tiempos auxiliares B y C de taladros largos.

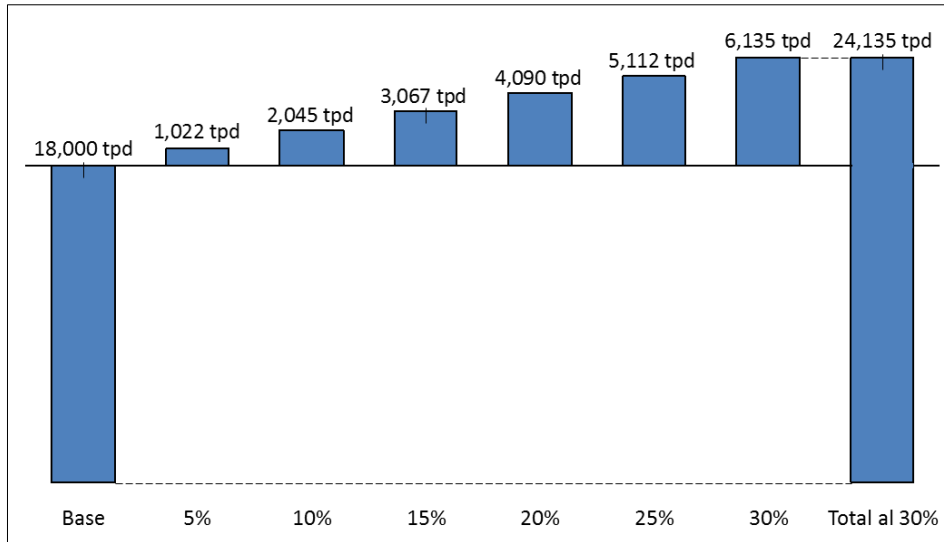


Elaboración: Propia

Figura 4.3 Impacto de reducción de tiempos B y C de taladros largos.

Finalmente, si consideramos una combinación de mejoras máxima del 30%, tanto en reducción de los tiempos B y C, podría generar un impacto en los tiempos esenciales A pasándolos de 36.2% (4.3 h por turno), que es lo que representa en porcentaje el tiempo actual A, llevándola a 55.3% (equivalente a aproximadamente a 6.6 h por turno). La variación de incremento de tiempo es de 2.3 horas, producto del cual los 121 m perforados actualmente pasarían a 185 m por guardia trabajada.

Si se toma en cuenta una productividad de 8 toneladas por metro perforado, el impacto en reducir los tiempos de B y C en un 30%, incrementaría la producción hasta en 511 toneladas por equipo y por guardia., es decir, con los mismos equipos, se puede llegar a la meta que busca la operación, de 20,000 tpd, inclusive llegar hasta los 24,000 tpd. En el siguiente gráfico se muestra los incrementos de producción por efecto de reducir los tiempos B y C cada 5%.



Elaboración: Propia

Figura 4.4 Incremento de producción por cada 5% de reducción de los tiempos B y C para taladros largos.

4.2. Evaluación de Escenarios de Mejora - Equipos de Limpieza y Carguío Equipos de carga, acarreo y descarga

En esta sesión se buscó: 1) evaluar los impactos de potenciales mejoras (reducción de tiempos improductivos B ó C), 2) el incremento de los tiempos productivos esenciales A, y 3) el potencial de incremento de productividad de los Equipos de carga, acarreo y descarga s (toneladas transportadas por hora).

Para ello se utilizó como referencia los resultados de tiempos productivos (A) e improductivos (B y C) presentado en el capítulo anterior, además del valor promedio del ratio toneladas/hora por Equipos de carga, acarreo y descarga 193.8 m/h (también presentado en el capítulo anterior).

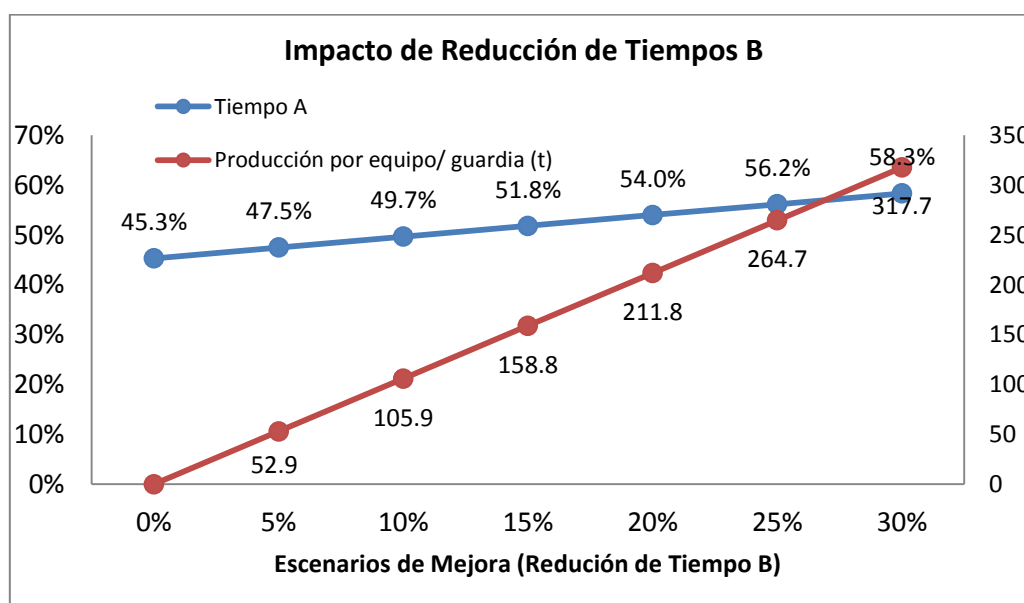
Como referencia se evaluaron los impactos para una guardia de operación, es decir, simulado hasta 12 horas de tiempo total máximo disponible.

Si se redujeran las principales causas de los tiempos B y C se tuvieran los siguientes escenarios con reducciones cada 5%.

	Actual	Escenarios de Reducción de Tiempos improductivos						
Reducción de tiempo B -->	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	
Tiempo A	45.3%	47.5%	49.7%	51.8%	54.0%	56.2%	58.3%	
Incremento de horas productivas	0.0	0.3	0.5	0.8	1.0	1.3	1.6	
Producción por equipo/guardia (t)	1106	0.0	52.9	105.9	158.8	211.8	264.7	317.7

Elaboración: Propia

Tabla 4.4 Mejora / Reducción de Tiempos Auxiliares B de Equipos de carga, acarreo y descargas.



Elaboración: Propia

Figura 4.5 Impacto de Reducción de Tiempos Auxiliares B de Equipos de carga, acarreo y descarga

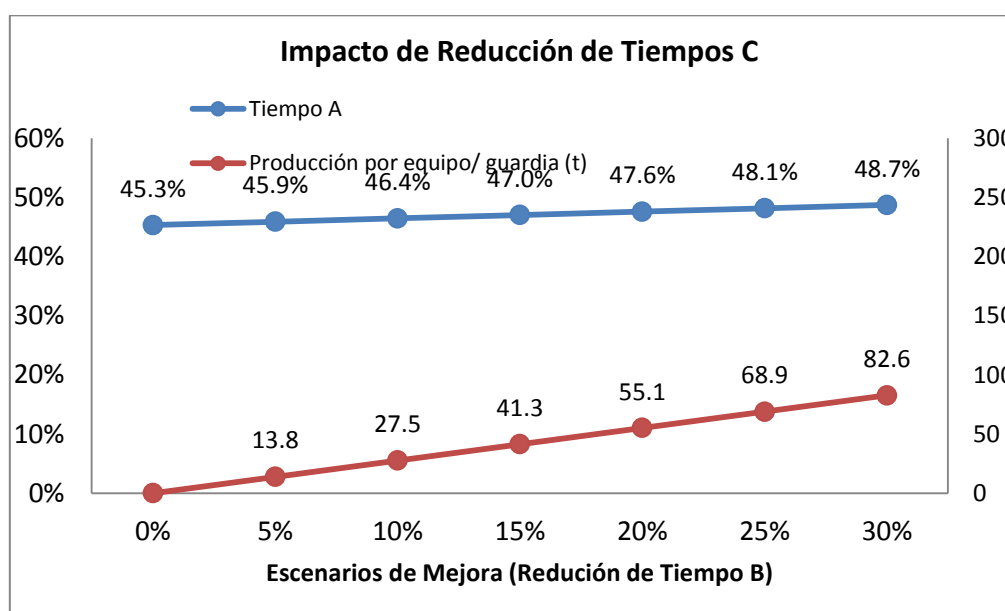
Como ejemplo, una reducción de 30% en los tiempos auxiliares B podría generar un impacto en los tiempos esenciales A pasándolos de 45.3% a 58.3% (equivalente a aproximadamente 1.6 h por turno) e incrementaría las toneladas de mineral cargado en 317.7 t por guardia trabajada.

De igual manera, también se evaluaron los impactos en escenarios de reducción de tiempos inútiles C:

	Actual	Escenarios de Reducción de Tiempos improductivos						
Reducción de tiempo C -->	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	
Tiempo A	45.3%	45.9%	46.4%	47.0%	47.6%	48.1%	48.7%	
Incremento de horas productivas	0.0	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	
Producción por equipo/guardia (t)	1106	0.0	13.8	27.5	41.3	55.1	68.9	82.6

Elaboración: Propia

Tabla 4.5 Escenarios de Reducción de Tiempos C de Equipos de carga, acarreo y descarga.



Elaboración: Propia

Figura 4.6 Impacto de Reducción de Tiempos Auxiliares C de Equipos de carga, acarreo y descarga.

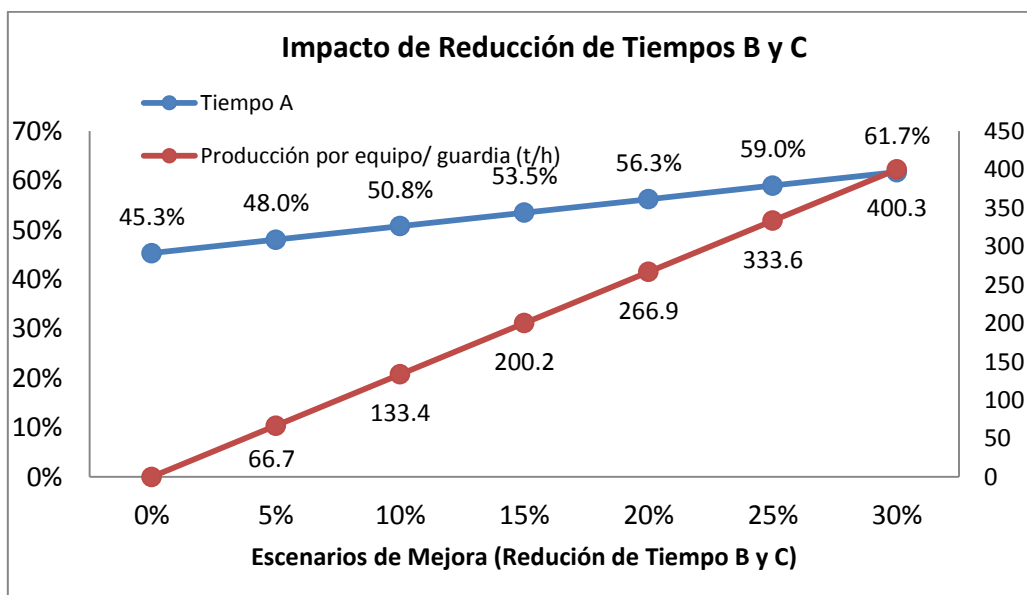
Como ejemplo, una reducción de 30% en los tiempos inútiles C de una guardia podría generar un impacto en los tiempos esenciales A pasándolos de 45.3% a 48.7% (equivalente a aproximadamente 0.40 h por guardia) e incrementaría las toneladas de mineral cargado en 82.6 t por guardia trabajada.

Finalmente, también se evaluaron los impactos en escenarios de reducción de tiempos inútiles en total (B+C):

	Actual	Escenarios de Reducción de Tiempos improductivos						
Reducción de tiempo B + C -->		0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%
Tiempo A		45.3%	48.0%	50.8%	53.5%	56.3%	59.0%	61.7%
Incremento de horas productivas		0.0	0.3	0.7	1.0	1.3	1.6	2.0
Producción por equipo/ guardia (t/h)	1106	0.0	66.7	133.4	200.2	266.9	333.6	400.3

Elaboración: Propia

Tabla 4.6 Escenarios de Reducción de Tiempos B y C de Equipos de carga, acarreo y descarga.

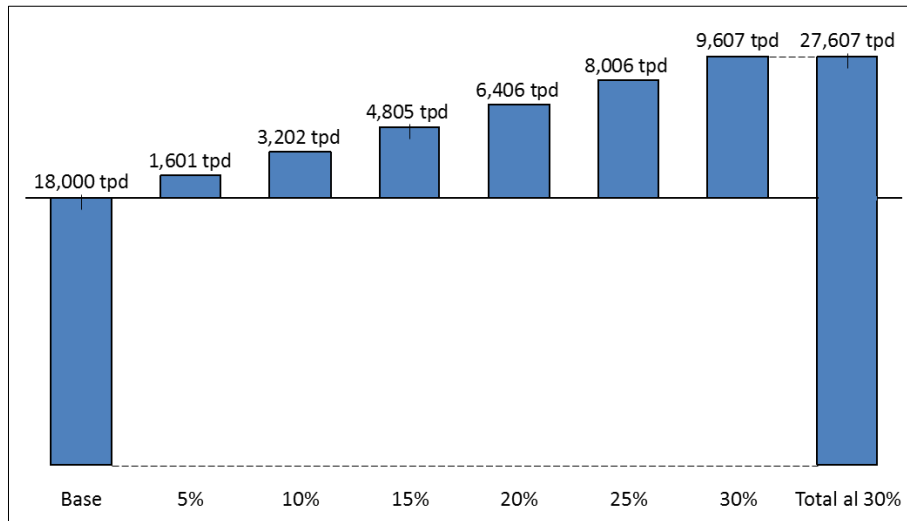


Elaboración: Propia

Figura 4.7 Impacto de reducción de tiempos auxiliares B y C de Equipos de carga, acarreo y descarga.

Como ejemplo, una reducción de 30% en los tiempos inútiles C de una guardia podría generar un impacto en los tiempos esenciales A pasándolos de 45.3% a 61.7% (equivalente a aproximadamente 2.0 h por guardia) e incrementaría las toneladas de mineral cargado en 400 t por guardia trabajada. Es decir, con los mismos equipos, se puede llegar a la meta que busca la operación, de 20,000

tpd, inclusive llegar hasta los 27,600 tpd. En el siguiente gráfico se muestra los incrementos de producción por efecto de reducir los tiempos B y C cada 5%.



Elaboración: Propia

Figura 4.8 Incremento de producción por cada 5% de reducción de los tiempos B y C para Equipos de carga, acarreo y descarga.

Es notable que existen oportunidades de mejoras tanto en tiempos B como en tiempos C. Sin embargo, se nota más claramente que los impactos de la reducción de los tiempos auxiliares B en el incremento de horas productivas (tiempos esenciales A) son más significativos que los impactos de la reducción de tiempos auxiliares C. Esto corrobora los resultados de los análisis de las mediciones presentadas en el capítulo 3.

4.3. Evaluación de Escenarios de Mejora - Equipos de perforación Equipos de perforación horizontal

Según comentado anteriormente, en esta sesión se buscó evaluar los impactos de potenciales mejoras (reducción de tiempos improductivos B o C) en el incremento de los tiempos productivos esenciales A y en el caso de los Equipos de perforación horizontal también el potencial incremento de perforaciones (metros perforados).

Para tanto se utilizó como referencia los resultados de tiempos productivos (A) e improductivos (B y C) presentado en el capítulo anterior, además del valor

promedio del ratio de perforación por Equipos de perforación horizontal 135.5 m/h (también presentado en el capítulo anterior).

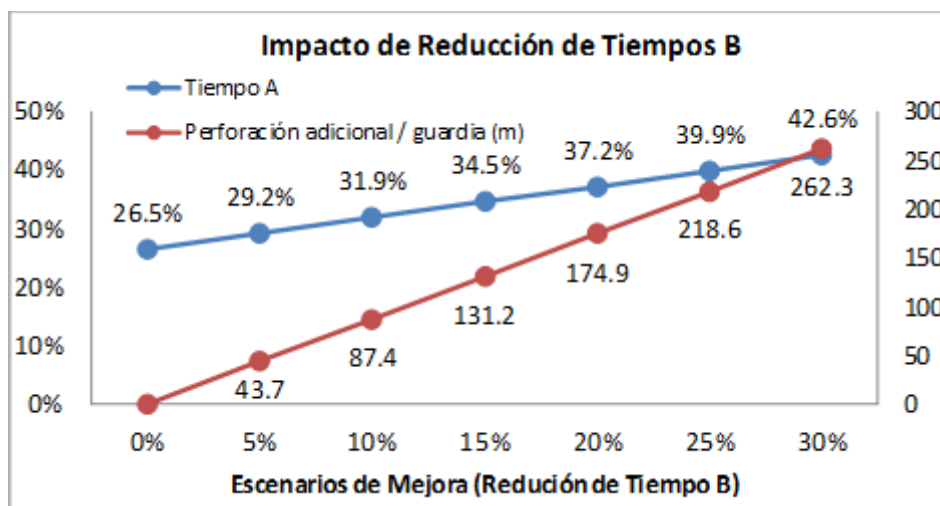
Como referencia se evaluaron los impactos para una guardia de operación, es decir, simulando para 12 horas de tiempo total máximo disponible.

Abajo se encuentran la tabla y lo gráfico con los resultados de algunos escenarios de mejora para la reducción de tiempos:

	Actua l	Escenarios de Reducción de Tiempos improductivos					
Reducción de tiempo B -->	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%
Tiempo A	26.5%	29.2%	31.9%	34.5%	37.2%	39.9%	42.6%
Incremento de horas productivas	0.0	0.3	0.6	1.0	1.3	1.6	1.9
Perforación adicional / guardia (m)	0.0	43.7	87.4	131.2	174.9	218.6	262.3

Elaboración: Propia

Tabla 4.7 Escenarios de reducción de tiempos auxiliares B para Equipos de perforación horizontal.



Elaboración: Propia

Figura 4.9 Impacto de reducción de tiempos auxiliares B en Equipos de perforación horizontal.

Como ejemplo, una reducción de 15% en los tiempos auxiliares B podría generar un impacto en los tiempos esenciales A pasándolos de 26.5% a 34.5%

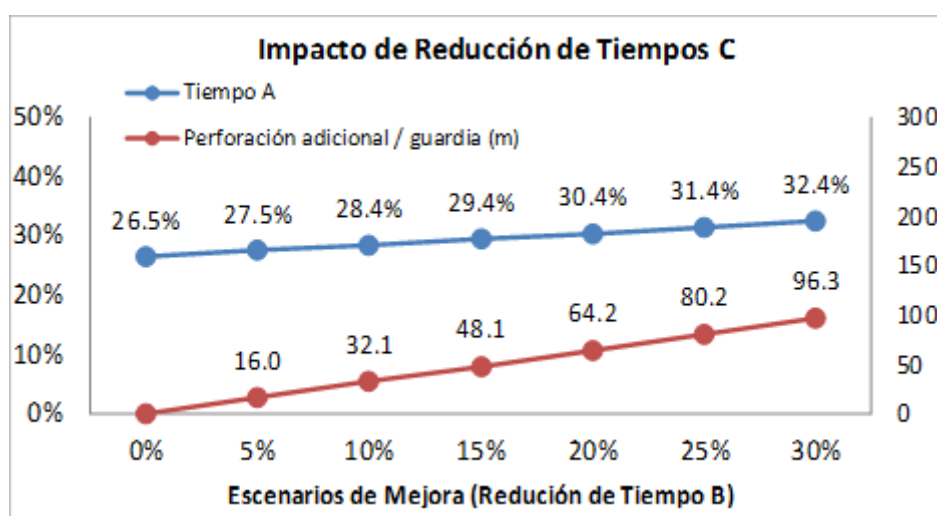
(equivalente a aproximadamente 1 h por turno) e incrementaría las perforaciones en 131.2 m por guardia trabajada.

De igual manera, también se evaluaron los impactos en escenarios de reducción de tiempos inútiles C. La tabla y gráfico con resultados están presentados a continuación:

	Actual	Escenarios de Reducción de Tiempos improductivos					
Reducción de tiempo C -->	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%
Tiempo A	26.5%	27.5%	28.4%	29.4%	30.4%	31.4%	32.4%
Incremento de horas productivas	0.0	0.1	0.2	0.4	0.5	0.6	0.7
Perforación adicional / guardia (m)	0.0	16.0	32.1	48.1	64.2	80.2	96.3

Elaboración: Propia

Tabla 4.8 Escenarios de reducción de tiempos C para Equipos de perforación horizontal.



Elaboración: Propia

Figura 4.10 Impacto de reducción de tiempos inútiles C en Equipos de perforación horizontal.

Como ejemplo, una reducción de 15% en los tiempos inútiles C de una guardia podría generar un impacto en los tiempos esenciales A pasándolos de 26.5% a 29.4% (equivalente a aproximadamente 0.35 h por guardia) e incrementaría las perforaciones en 48.1 m por guardia trabajada.

Se nota hay oportunidades de mejoras tanto en tiempos B cuanto en tiempos C. Sin embargo, se nota más claramente que los impactos de la reducción de

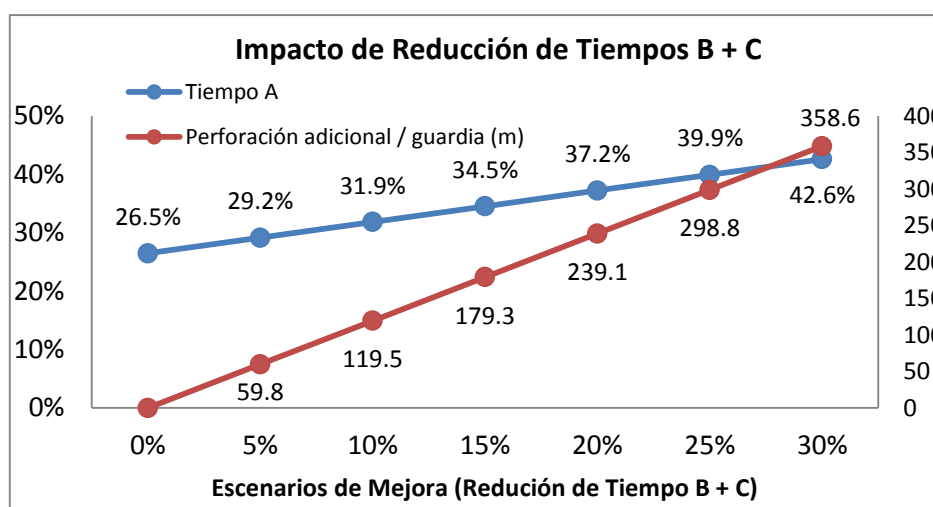
los tiempos auxiliares B en el incremento de horas productivas (tiempos esenciales A) son más significativos que los impactos de la reducción de tiempos auxiliares B. Esto corrobora los resultados de los análisis de las mediciones presentadas en el capítulo 3.

Se entonces, como ejemplo, consolidamos los resultados de las reducciones de los B y C se tendrán los siguientes resultados:

	Actual	Escenarios de Reducción de Tiempos Improductivos					
Reducción de tiempo B + C -->	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%
Tiempo A	26.5%	30.2%	33.8%	37.5%	41.2%	44.9%	48.5%
Incremento de horas productivas	0.0	0.4	0.9	1.3	1.8	2.2	2.6
Perforación adicional / guardia (m)	0.0	59.8	119.5	179.3	239.1	298.8	358.6

Elaboración: Propia

Tabla 4.9 Escenarios de Reducción de Tiempos B y C para el Equipos de perforación horizontal.



Elaboración: Propia

Figura 4.11 Impacto de reducción de tiempos inútiles B y C en Equipos de perforación horizontal.

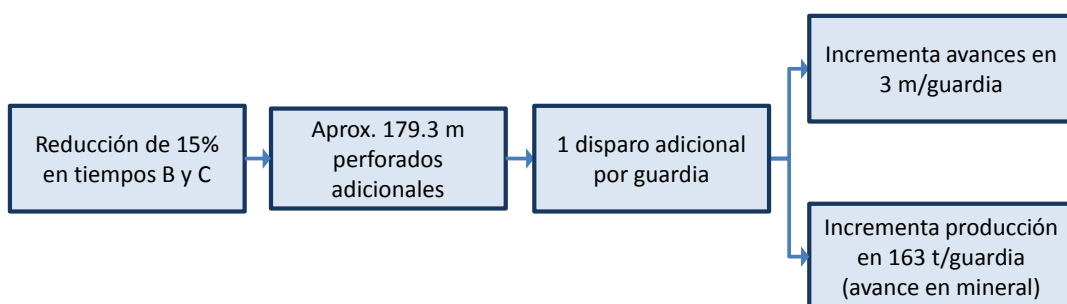
Si se considera una mejora de 15% tanto en los tiempos B como en los tiempos C se podría alcanzar un incremento en los tiempos A que pasaría de 26.5% a 34.5% y esto representaría una producción adicional de los Equipos de perforación horizontal (en esta caso metros perforados) de 179.3 m por turno de trabajo en cada equipo en operación.

► Potenciales mejora para la producción

Según informaciones de la unidad minera, para preparar y realizar un disparo (voladura) es necesario perforar con los Equipos de perforación horizontal de 144 m a 200 m en cada frente (estos valores dependen de las dimensiones planeadas para cada labor en la mina).

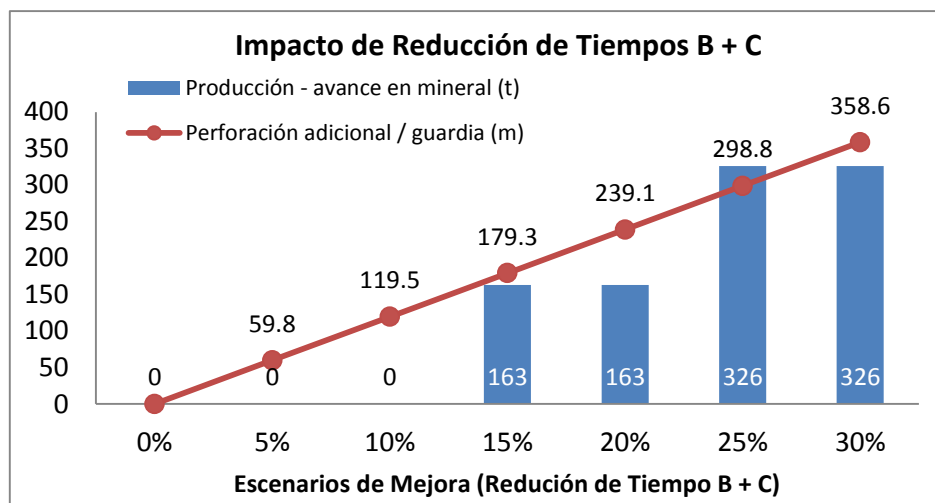
En los ejemplos anteriores, se verificó que una reducción de 15% en los tiempos improductivos B y C pueden significar una incremento de 131.2 m y 48.1 m perforados respectivamente → totalizando aproximadamente 179.3 m. Este total de perforación adicional está entre el rango necesario para preparar una labor antes del disparo (voladura). De esta forma si puede concluir que una mejora (reducción de 15%) en los tiempos improductivos B y C permitiría realizar un disparo adicional por turno operativo en la mina, lo que representa un impacto bastante significativo para la operación (aproximadamente + 3 m de avance por labor).

Además, si se considera que el avance se hace en zona de mineral, todo el material explotado sale como producción de la mina, entonces esto significaría una producción adicional de 163 t/día (según datos informados por la mina: considera una labor convencional de dimensiones 4 m x 4 m; avance de 3 m/disparo y densidad del mineral de 3.4 t/m³).



Elaboración: Propia

Figura 4.12 Impacto de potenciales mejoras para Equipos de perforación horizontal.



Elaboración: Propia

Figura 4.13 Impacto de potenciales mejoras en producción por Equipos de perforación horizontal.

Nota: considera 1 disparo adicional en 15% (con 179.3 m perforados adicionales) y otro disparo adicional en 25% (con 298.8 m perforados adicionales)

4.4 Impacto económico potencial

Para las potenciales mejoras (reducción de los tiempos B y C) presentadas en este documento, se estimó el impacto económico para la empresa considerando las siguientes premisas:

- Mejora de los procesos con reducción de 30% en los tiempos improductivos B y C (con consecuente incremento de actividades A);
- Como las mejoras en los procesos aislados no pueden ser simplemente sumadas, se consideró estas mejoras enfocadas en el proceso de perforación de taladros largos (proceso considerado la principal restricción del ciclo de minado);
- incremento de aproximadamente 6.135 tpd de producción de mineral como resultado de las mejoras;
- No hay necesidad de inversión en CAPEX adicional para los procesos de mina, tampoco para planta concentradora y procesos auxiliares de la unidad minera;

- *Net Smelter Return* (NRS o Valor del Mineral) de aproximadamente US\$ 60 /t de mineral– considera los precios actuales de los metales;
- Cash Cost estimado (costo de producción) de US\$ 30 /t de mineral;
- No se considera el pago de cualquier tipo de impuesto, regalía o costo de capital.

Tomándose como referencia estas premisas, se tendría como impacto económico anual:

Indicador	Unidad	Valores
Producción Adicional	tpd	6,135
Valor NSR	US\$/t min	60
Cut off NSR	US\$/t min	30
Días operados	día	360
Impacto Económico Potencial	US\$ MM	66.26

Elaboración: Propia

Tabla 4.10 Impacto económico producto de reducir los tiempos B y C

Capítulo 5: Conclusiones y Recomendaciones

A continuación se presenta las conclusiones y recomendaciones para los procesos y equipos estudiados en este trabajo, tomándose como referencia la Metodología Lean, en la que los tiempos auxiliares B e inútiles C son factibles de disminuirlos para incrementar el tiempo esencial A y así incrementar el valor para la compañía.

- Tomando en cuenta que los tiempos auxiliares “B” e inútiles “C” abarcan el 64%, para los taladros largos, 55%, para los Equipos de carga, acarreo y descargas y 73.5% para los Equipos de perforación horizontal del tiempo total; si hipotéticamente se disminuye los tiempos B y C en 30%, cada uno, se incrementaría el porcentaje del actual tiempo esencial A, la que permitiría un volumen adicional de hasta 6,134 toneladas de mineral adicional por día. Es decir, con los mismos equipos, se puede llegar a la meta que busca la operación, de 20,000 tpd, inclusive llegar hasta los 24,000 tpd;
- Como se evidencia, respecto a las causas de los tiempos auxiliares “B”, el tema de voladura es el de mayor impacto, por lo que se recomienda utilizar un explosivo que sea diferente al ANFO, como por ejemplo la emulsión, que tiene baja producción de gases tóxicos; de tal forma que los gases producto de la voladura requieran menor tiempo para diluirse o circular. Además, se podría incrementar las velocidades de aire de ventilación de tal forma que los gases se diluyan o circulen a la brevedad. En el tema del lavado de equipos, se recomienda implementar zonas de lavado rápido. Si bien es cierto que las causas más representativas de los tiempos B son las 7 primeras, es decir, las que representan 80% del total, también se sugiere mirar a los inmediatos, que podrían ser quizás, en algunos casos, más factible de reducirlas. Por ejemplo, la instalación del equipo (agua y energía); esperas por

- sostenimiento, es decir con una mejor planificación las labores ya deberían estar sostenidas para cuando el equipo llegue al lugar;
- Respecto a las causas de los tiempos inútiles “C”, no se puede permitir pérdidas de tiempo por falta de agua, corte de energía, espera para reparación mecánica, falta de operador, falta de labores y esperas por volquete, éstas actividades deberían eliminarse de inmediato con una buena supervisión y planificación adecuada. Replantear el sistema de mantenimiento preventivo (revisar la lista de actividades del plan preventivo actual) también para buscar reducir las paradas intempestivas para reparaciones mecánicas, revisar el plan y programa de minado de cortísimo plazo para buscar eliminar los tiempos improductivos por falta de labor y revisar los índices de ausentismo de trabajadores y proponer acciones para reducción de este índice buscando así reducir los tiempos improductivos por falta de operador;
 - La productividad de los equipos está más impactada por temas operaciones que por temas de mantenimiento y condiciones de los equipos. Esto se nota claramente en resultados de Disponibilidad y Utilización presentados anteriormente. Respecto a los ratios de productividad, se recomienda establecer como metas las que, según modelo, alcanzaron las mayores productividades; así tenemos que las perforadoras de taladros largos actualmente alcanzaron 28 mph y se propone 30 mph, para los Equipos de carga, acarreo y descarga 210 tph y para los Equipos de perforación horizontal 135 mph.
 - Para las disponibilidad, si bien es cierto que los Equipos de carga, acarreo y descargas y Equipos de perforación horizontal están muy próximas el valor de Benchmark mundial para equipos mineros (que es de 88% según MBA Augusto Ayesta – material de clases Maestría en Gestión Minera – GERENS 2015), el caso de las perforadoras de taladros largos, esta llega a 81%, por lo que se recomienda alcanzar al menos el 85%.

- La Utilización, en general, es significativamente inferior a la Disponibilidad, lo que significa que los tiempos improductivos de estos equipos son más influenciados por paradas operacionales que por paradas para mantenimiento (programado o correctivo). Se recomienda alcanzar entre el 69% y 71%. Es decir, actualmente para el caso de las perforadoras de taladro largos, en una guardia de 12 horas, el tiempo utilizado es sólo de 4.96 h y se recomienda alcanzar 7.26 h. Para el caso de los Equipos de carga, acarreo y descarga, actualmente el tiempo utilizado es de 7.1 h y se recomienda alcanzar 9.1 h.

- Respecto a que turno debería contar con el mayor porcentaje de tiempo A, se esperaría que fuera el turno “Noche”, debido a que existen menores retrasos o esperas por otras actividades propias del día, pero en este caso ocurre todo lo contrario, es decir, el turno día tiene el mayor tiempo A, Esto indica una potencial oportunidad de mejora, pues lo normal sería hallar el mayor porcentaje de tiempo A en el turno “Noche”, debido a que existe menores retrasos o esperas por otras actividades propias del día. En este caso, siguiendo lo ya comentado anteriormente, se recomienda que en el turno “Noche” se mejore la supervisión y control, además la planificación, buscando incrementar los tiempos A en por lo menos 5 puntos.

- Los resultados que actualmente posee la Unidad Minera, son buenos, pero se evidencia un potencial de mejora en cada tipo de equipo; se podría incrementar la producción diaria con el mismo número de equipos, disminuyendo los tiempos improductivos e incrementando los productivos. Esto permitiría mayores ventas a menor costo de inversión.

- El impacto económico anual potencial, considerando una reducción de 30% en los tiempos improductivos B y C (con consecuente incremento de actividades A) y tomándose como referencia las premisas citadas en sesión 4.4, sería del orden de US\$ 66.26 MM.

Referencias Bibliográfica

Bernaola Chávez, H. G. (2012). Gestión de Productividad Total en Empresas de Minería Subterránea. *Gestio Polis*, 19-69.

Flamarion Klippel, A., Petter, C. O., & Valle Antunes Jr, J. A. (marzo de 2008). Lean Management Implementation in Mining Industries. *Universidad Nacional de Colombia, año 75(154)*, 81- 89.

Herrera Herbert, J. (2009). Introducción al Mantenimiento Minero. *Universidad Politécnica de Madrid*, 10-11.

Medina Barcena, E. (2013). Minado Masivo para una Producción de 15k tpd en Unidad Minera Cerro Lindo - Milpo S.A.A. *Encuentro Tecnología e Investigación - Perumin 31 Convención Minera*, (pág. 26). Arequipa.

Sepulveda Wetzel, J. R. (2008). Tesis para Optar al Grado de Magister en Gestión y Dirección de Empresas: Aplicación de Lean Management al Ciclo de Maduración en una Empresa Industrial. *Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Departamento de Ingeniería Industrial*, 7-8.