



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE MINAS

**METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO Y SEGUIMIENTO DE PRODUCTIVIDAD
EN LA PREPARACIÓN MINERA PARA MINERÍA SUBTERRÁNEA DE
BLOCK/PANEL CAVING EN DIVISIÓN EL TENIENTE**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL DE MINAS

MATÍAS EMILIO NAVARRO QUILODRÁN

PROFESOR GUÍA:

JUAN FREDDY DIAZ FONTALBA

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

WINSTON ROCHER ANDA

RAÚL CASTRO RUIZ

SANTIAGO DE CHILE

2017

**RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR
AL TÍTULO DE:** Ingeniero Civil de Minas
POR: Matías Emilio Navarro Quilodrán
FECHA: 19 de enero del 2017
PROFESOR GUÍA: Juan Freddy Díaz Fontalba

METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO Y SEGUIMIENTO DE PRODUCTIVIDAD EN LA PREPARACIÓN MINERA PARA MINERÍA SUBTERRÁNEA DE BLOCK/PANEL CAVING EN DIVISIÓN EL TENIENTE

La productividad en la industria minera está en la agenda del sector y es un desafío constante el cómo medir efectivamente las obras de construcción en los proyectos mineros subterráneos, donde las condiciones inherentes del método de explotación junto a la arquitectura mina, dificultan las labores. El trabajo a desarrollar tiene como objetivo principal generar una metodología para cuantificar la productividad y llevar a cabo un seguimiento de la preparación minera en proyectos subterráneos explotados por Block/Panel Caving.

La metodología propuesta corresponde a la construcción de indicadores de productividad en base a la definición de eficiencia y eficacia. Cuantificando la eficiencia en base a la utilización de los recursos, por medio de la relación entre lo que se produce y los elementos productivos que participan en el proceso. Y la eficacia a través de la obtención de las metas planificadas, con un indicador del porcentaje de cumplimiento del avance físico con respecto al programa.

Se definen diferentes métricas que ayudan a determinar la velocidad de construcción, cuantificando la magnitud y/o volumen de actividades que se realizan en los últimos años en la División El Teniente, específicamente para los sectores de Esmeralda, Reservas Norte y Diablo Regimiento.

Para la estimación de la productividad se recopila información histórica del control y seguimiento del cumplimiento físico y financiero de las obras junto al número de trabajadores que están relacionados.

Los resultados arrojan que la División el Teniente en el periodo del 2006 – 2015 ha aumentado su eficiencia medida con el indicador propuesto en un 90%, y presenta un cumplimiento promedio del 91%, ubicándose en una zona de alta productividad.

Para cada uno de los sectores, los resultados dieron que todos han aumentado su eficiencia en el periodo de 2011 – 2015. Esmeralda en un 74%, Reservas Norte un 59% y Diablo Regimiento un 84%, mientras que la eficacia con el cumplimiento ha sido más variable para cada sector.

Finalmente, la productividad calculada con esta metodología, tiene dos funciones, servir como parámetro de mejoramiento en procesos futuros y como registro histórico y línea base para comparaciones más adelante.

Abstract

The topic of productivity in the mining industry has nowadays come to the spotlight. Also, it is a constant challenge how to effectively measure construction works in underground mining projects, where the inherent conditions of exploitation hinder the works. The work to develop aims the creation of a measure to quantify the productivity and to accomplish a mining preparation monitoring in underground projects exploded by block/panel caving

The proposed methodology corresponds to the constructions of productivity indicators based on their definition, that is framed in the quantification of: the efficiency in the use of resources through the relation of what is produced and the productive elements that participate mining preparation process; and the efficacy, which is related with the achievement of planned goals through an indicator of the compliance percentage of the physical progress regarding the program.

Different metrics are defined, which help to determine the speed of construction quantifying the magnitude and/or volume of activities that are historically performed at División El Teniente, and specifically to the sectors of Esmeralda, Reservas Norte y Diablo Regimiento.

For the estimation of productivity, historical information of the control and monitoring of the physical and financial compliance of the works are collected alongside the amount of the involved workers.

The results demonstrate that in the period of 2006-2015, División el Teniente has increased its efficiency measured with the proposed indicator in a 90%, presenting an average compliance of 91%, placing El Teniente in a high productivity zone.

During the period of 2011-2015, each sector has increased its efficiency. Esmeralda in 74%, Reservas Norte in 59%, and Diablo Regimiento in 84%. While the compliance efficacy has been variable for each sector.

Lastly, the calculated productivity with this methodology has two purposes: to serve as an improvement parameter in future processes and as a historical register; and finally, as a baseline for later comparisons.

Agradecimientos

Principalmente quisiera agradecer a mis padres y hermanos, pilares fundamentales en mi vida, quienes me han apoyado siempre. Y han sido los cimientos de mi crecimiento tanto personal como profesional.

Agradezco también a los profesores y profesionales que hicieron posible este trabajo, a Juan Freddy Díaz, por sus conocimientos entregados, apoyo, buena voluntad y disponibilidad, sin dudas, ante todo, una gran persona. A Winston Rocher, por la oportunidad, consejos y cooperación desde la distancia.

De forma especial darle las gracias a Camila por su tiempo, paciencia y entrega sincera. Por acompañarme en los momentos más difíciles y que a pesar de la lejanía, estar siempre presente. He crecido mucho gracias a ti.

Por último, me gustaría agradecer profundamente a las personas que me acompañaron en este proceso; con quienes viví, Jose, Claudio y Felix; a mis amigos de universidad y colegio; a aquellos que pasé largas noches de estudio y trabajo; y a los que he compartido y han sido un gran apoyo en Rancagua: Hector, Ignacio y Pablo T. Todos han sido partícipes de momentos inolvidables.

De todos ustedes me siento realmente agradecido...

Tabla de Contenido

CAPITULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. Problema y motivación	1
1.2. Objetivos	3
1.2.1. Objetivo principal	3
1.2.2. Objetivos específicos.....	3
1.3. Alcances.....	3
1.4. Metodología de Trabajo	4
1.5. Estructura del informe	4
CAPITULO II	6
ANTECEDENTES DE PRODUCTIVIDAD.....	6
2.1. Conceptos generales de productividad	6
2.2. Importancia de la productividad	8
2.3. Medición de la productividad.....	9
2.4. Tipos de productividad	9
2.5. Etapas para construir un índice de productividad	9
2.5.1. Medición de la producción en construcción.....	10
2.6. Benchmarking como herramienta para el mejoramiento de la productividad	11
2.7. Conclusiones del capítulo	13
CAPITULO III	14
ANTECEDENTES DE LA PREPARACIÓN MINERA DE BLOCK/PANEL CAVING EN LA DIVISIÓN EL TENIENTE	14
3.1. Contexto: División El Teniente	14
3.1.1. Reservas y producción	14

3.1.2.	Sistema de explotación	14
3.1.3.	Niveles de la mina	14
3.2.	Preparación minera.....	15
3.2.1.	Actividades y labores de la preparación minera	16
3.3.	Preparación minera en División El Teniente	17
3.3.1.	Modelo de negocios para la preparación minera DET.....	17
3.3.2.	Sectores en preparación en El Teniente	17
3.3.3.	Planificación de la preparación minera en DET.....	19
3.4.	Antecedentes del control y seguimiento de la preparación minera en El Teniente.....	21
3.4.1.	Estructura organizacional de la Gerencia de Obras Minas.....	22
3.4.2.	Planificación y control de la Gerencia de Obras Minas (GOBM)	23
3.5.	Camino recorrido de la preparación minera en El Teniente	29
3.6.	Factores que afectan la productividad	31
3.7.	Conclusiones del capítulo	34
CAPITULO IV		36
METODOLOGÍA PROPUESTA.....		36
4.1.	Propuesta de definición de productividad en preparación minera.....	36
4.2.	Propuesta de medición de productividad en la preparación minera.....	36
4.3.	Medición de los recursos utilizados en preparación minera	37
4.4.	Medición de la producción en preparación minera	38
4.4.1.	Área Preparada Equivalente y Cantidad de Obra	39
4.5.	Índices de productividad en preparación minera.....	45
4.5.1.	Índice del costo por metro cuadrado preparado	45
4.5.2.	Índice de la Cantidad de Obra en relación a la mano de obra.....	45
4.6.	Conclusiones del capítulo	46

CAPÍTULO V	47
EVALUACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD EN MINA EL TENIENTE	47
5.1. Índices de productividad en preparación minera.....	47
5.1.1. Índice de eficacia en la preparación minera	47
5.1.2. Índice de eficiencia en la preparación minera	48
5.2. Recursos de la preparación minera	51
5.3. Medición de la producción en preparación minera en el tiempo	55
5.3.1. Área Preparada Equivalente	57
5.3.2. Cantidad de Obra	62
5.4. Resultados obtenidos a nivel global en la División El Teniente.....	64
5.5. Conclusiones del capítulo	66
CAPÍTULO VI	67
ANÁLISIS DE RESULTADOS Y SENSIBILIDAD	67
6.1. Indicador de productividad del costo por metro cuadrado equivalente	67
6.1.1. Análisis de resultados del Indicador	68
6.2. Indicador de productividad de la Cantidad de Obra por dotación de personal.....	69
6.2.1. Análisis del ponderador para Cantidad de Obras	69
6.2.2. Análisis de resultados del indicador	75
6.2.3. Análisis de la cantidad de actividades	76
6.3. Resultados obtenidos a nivel global en la División El Teniente.....	82
6.4. Conclusiones del capítulo	85
CAPÍTULO VII	87
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	87
7.1. Conclusiones generales	87
7.2. Recomendaciones a futuro	90

CAPÍTULO VIII	91
BIBLIOGRAFÍA.....	91
ANEXOS	93
ANEXO A: Detalle de indicadores utilizados en la preparación minera de El Teniente 93	
ANEXO B: Cálculo para pasar a una moneda de un año con respecto a otro.....	94
ANEXO C: Datos y ponderadores utilizados para las métricas propuestas.....	95
ANEXO D: Gastos incurridos y mediciones físicas de obras	99
ANEXO E: Detalle de las principales actividades consideradas	103
Sistemas de traspaso	103
Muros de fortificación de pilares	106
Puntos de extracción	109

Índice de Figuras

Figura 2.1-1 Relación de la productividad con la eficiencia, efectividad y eficacia. Fuente: Revista Universidad EAFIT (2004).	7
Figura 2.6-1 Benchmarking como herramienta para mejorar la productividad. (Alarcón et al, 1997)	12
Figura 2.6-2 Metodología para la implementación de benchmarking (Lema et al, 1995)	12
Figura 2.6-3 Evolución Benchmarking. (Tello, 2016).....	13
Figura 3.1-1 Sectores de las minas actuales en operación. Además de los desarrollos del Nuevo Nivel Mina.	15
Figura 3.2-1 Clasificación de la preparación minera (Camhi, 2012).....	16
Figura 3.3-1 Volumen de obras promedio y cantidades de las principales actividades y suministros para la preparación minera. Fuente: Gerencia de Obras Minas.....	19
Figura 3.3-2 Esquema general de la planificación de la preparación minera (Salgado, 2009).	21
Figura 3.4-1 Estructura organizacional de la Gerencia de Obras Minas.	23
Figura 3.4-2 Esquema de los KPI's de contratos de largo plazo en la GOBM.	24
Figura 3.4-3 Ejemplo de los resultados de los indicadores de desempeño para la semana 1 del mes de octubre del 2016. Elaboración: Gerencia de Obras Minas.....	25
Figura 3.4-4 Volumen de control para cuantificar las actividades que comprende un sector. Elaboración: Gerencia de Obras Minas	27
Figura 4.2-1 Metodología propuesta para medir productividad.	36
Figura 4.4-1 Esquema representativo de la preparación de área en los distintos niveles en el tiempo en la mina Esmeralda (Díaz, J. F., 2016).....	38
Figura 4.4-2 Esquema del cálculo de área preparada equivalente.	41
Figura 4.4-3 Esquema del cálculo de Cantidad de Obras.	44
Figura 5.3-1 Medición física de actividades principales de Diablo Regimiento desde el año 2006 al año 2015.....	57
Figura 6.2-1 Diseño de sistema de traspaso para Esmeralda y Reservas Norte Elaboración: Gerencia de Obras Minas.....	73

Figura E 0-1 Diseño de sistema de traspaso para Esmeralda	104
Figura E 0-2 Diseño sistema traspaso para Reservas Norte	105
Figura E 0-3 Corte sección del pique de traspaso con piloto- Reservas Norte	106
Figura E 0-4 Corte sección del pique de traspaso con piloto- Esmeralda	106
Figura E 0-1 Diseño Muros de fortificación pilares para Esmeralda y Reservas Norte	107
Figura E 0-2 Diseño muros de fortificación pilares para Diablo Regimiento.....	108
Figura E 0-3 Diseño Muros de fortificación pilares, vista entre calles, para Diablo Regimiento	108
Figura E 0-1 Arcos metálicos para puntos de extracción Esmeralda y Reservas Norte	109
Figura E 0-2 Vista sección zanja en diseño de puntos de extracción para Esmeralda y Reservas Norte	109
Figura E 0-3 Diseño de puntos de extracción de marcos de acero. Esmeralda y Reservas Norte	110
Figura E 0-4 Vista sección zanja en diseño de puntos de extracción Diablo Regimiento	110
Figura E 0-5 Vista perfil zanja en diseño de puntos de extracción de marcos de acero Diablo Regimiento	111

Índice de Gráficos

Gráfico 3.4-1 Cumplimiento preparación minera versus gasto (2000 – 2015) Elaboración: Gerencia de Obras Minas.....	28
Gráfico 3.4-2 Dotación preparación de minas (1998-2015). Elaboración: Gerencia de Obras Minas.....	29
Gráfico 3.6-1 Pareto tiempo no utilizado para proyectos de construcción minera Fuente: Estudio de productividad construcción minera CDT.....	33
Gráfico 3.6-2 Interferencias causas de la División. (Díaz y Arce, 2015).....	34
Gráfico 3.6-3 Pérdidas Operacionales Contratista. (Díaz y Arce, 2015)	34
Gráfico 5.1-1 5.1-1 Índice de productividad en base a los costos por área preparada equivalente, junto con los gastos incurridos por sector en el tiempo.....	49
Gráfico 5.1-2 Índice de productividad en base a la Cantidad de Obra por hombre mes, junto con la dotación mensual promedio al año por sector en el tiempo	50
Gráfico 5.2-1 Gastos incurridos por año en MUSD	52
Gráfico 5.2-2 Dotación mensual promedio al año del personal para los diferentes sectores	52
Gráfico 5.2-3 Detalle del gasto incurrido y dotación de Esmeralda	53
Gráfico 5.2-4 Detalle del gasto incurrido y dotación de Reservas Norte	54
Gráfico 5.2-5 Detalle del gasto incurrido y dotación de Diablo Regimiento.....	54
Gráfico 5.2-6 Gastos vs Dotación en cada sector	55
Gráfico 5.3-1 Medición física de actividades principales de Esmeralda desde el año 2006 al año 2015.....	56
Gráfico 5.3-2 Medición física de actividades principales de Reservas Norte desde el año 2006 al año 2015.....	56
Gráfico 5.3-3 Área preparada equivalente en los diferentes sectores en el tiempo.	58
Gráfico 5.3-4 Ponderador con respecto al peso económico por actividad para las 3 minas.	61
Gráfico 5.3-5 Cantidad de Obra en los diferentes sectores en el tiempo.	63
Gráfico 5.4-1 Cantidad de Obras vs Dotación para la División El Teniente	65

Gráfico 5.4-2 Cumplimiento en preparación en % vs Cantidad de Obra por persona	65
Gráfico 6.1-1 Tasa de cambio del costo por metro cuadrado con respecto al presupuestado.....	68
Gráfico 6.2-1 Valor precio unitario de desarrollos horizontales nivel de hundimiento	70
Gráfico 6.2-2 Valor precio unitario de desarrollos horizontales nivel de producción	71
Gráfico 6.2-3 Valor precio unitario de desarrollos horizontales subnivel de ventilación	71
Gráfico 6.2-4 Valor precio unitario de desarrollos horizontales nivel de acarreo.....	72
Gráfico 6.2-5 Evolución del costo del sistema de traspaso para Reservas Norte Elaboración: Gerencia de Obras Minas.....	74
Gráfico 6.2-6 Evolución del costo para el sistema de traspaso de Esmeralda Elaboración: Gerencia de Obras Minas.....	74
Gráfico 6.2-7 Resultados del indicador de productividad de la Cantidad de Obra por dotación mensual	75
Gráfico 6.2-8 Tasa de cambio de actividades con respecto al año 2012 en el sector de Esmeralda.	77
Gráfico 6.2-9 Tasa de cambio de actividades con respecto al año 2012 en el sector de Reservas Norte.	77
Gráfico 6.2-10 Tasa de cambio de actividades con respecto al año 2012 en el sector de Diablo Regimiento	78
Gráfico 6.2-11 Cantidad de Obras versus Dotación por sector	79
Gráfico 6.2-12 Cantidad de Obra por la dotación utilizada versus el cumplimiento físico de las obras en porcentaje- Esmeralda.....	80
Gráfico 6.2-13 Cantidad de Obra por la dotación utilizada versus el cumplimiento físico de las obras en porcentaje- Reservas Norte	81
Gráfico 6.2-14 Cantidad de Obra por la dotación utilizada versus el cumplimiento físico de las obras en porcentaje- Diablo Regimiento.....	82
Gráfico 6.3-1 Evolución del precio del cobre vs Cantidad de Obra por persona en la División El Teniente.....	83
Gráfico 6.3-2 Eficiencia en la Preparación Minera versus Precio del Cobre	84

Índice de Tablas

Tabla 3.3-1 Gastos reales de cada uno de los sectores y extensiones del año 2012 al año 2015 (montos en monedas correspondientes a cada año).	18
Tabla 3.4-1 Detalle del Costo por metro cuadrado presupuestado al año 2015. Elaboración: Gerencia de Obras Minas.....	27
Tabla 4.4-1 Cuadro comparativo entre la medida de área incorporada y de área preparada.....	39
Tabla 4.4-2 Ventajas y desventajas entre Área Preparada Equivalente y Cantidad de Obra	40
Tabla 5.1-1 Cumplimiento físico de obras con respecto al programa de revisión B	47
Tabla 5.1-2 Índice de productividad en costo por área preparada equivalente para los diferentes sectores en el tiempo.....	48
Tabla 5.1-3 Costo por área preparada según el presupuesto al año 2015, para los diferentes sectores.	48
Tabla 5.3-1 Cantidad de obras en un área de 100 x 100 m² requeridas en cada sector	59
Tabla 5.3-2 Porcentaje del costo real del año 2015 de las actividades principales con respecto al total en el área de 100x100 m²	60
Tabla 5.3-3 Ponderador final por actividad para transformar Área Preparada Equivalente en cada sector.....	62
Tabla 5.3-4 Costos utilizados para realizar la equivalencia a la Cantidad de Obras en metros lineales.	64
Tabla 6.1-1 Porcentaje de error con respecto al caso base del indicador de área preparada equivalente.....	67
Tabla 6.2-1 Variación porcentual de la Cantidad de Obra con respecto al caso base ...	72
Tabla 6.2-2 Porcentaje de error de la variación del precio unitario del sistema de traspaso	75
Tabla A-0-1 Cuadro resumen con el detalle de las observaciones de cada métrica.	93
Tabla C-0-1 Ponderador de cantidad de actividad y de peso económico en porcentaje.	95

Tabla C-0-2 Costos por actividades principales en el área de 100 x 100 m2 en USD MB2015.....	95
Tabla C-0-3 Cantidad de actividades principales requeridas por sector para un área de 100 x 100 m2	96
Tabla C-0-4 Detalle de las actividades principales y el ponderador para la Cantidad de Obra.	96
Tabla D-0-1 Gastos incurridos por Esmeralda	99
Tabla D-0-2 Gastos incurridos Reservas Norte.....	99
Tabla D-0-3 Gastos incurridos Diablo Regimiento	99
Tabla D-0-4 Medición física de obras a modo general de la División El Teniente de las actividades principales	100
Tabla D-0-5 Medición física de obras de las actividades principales del sector Esmeralda	100
Tabla D-0-6 Medición física de obras de las actividades principales para el sector Reservas Norte	101
Tabla D-0-7 Medición física de obras de las actividades principales para el sector Diablo Regimiento	102

Índice de Ecuaciones

Ecuación 2.1-1 Relación que define productividad.....	7
Ecuación 4.4-1 Cálculo de Área Preparada Equivalente.....	41
Ecuación 4.4-2 Cálculo de Cantidad de Obra en metros equivalentes	44
Ecuación 4.5-1 Índice de productividad (1): costo por metro cuadrado.....	45
Ecuación 4.5-2 Índice de productividad (2): Cantidad de Obra por hombre mes por año.	45
Ecuación B 0-1 Cálculo de factor para cambio de moneda base	94

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

Hoy en día, la industria del cobre pasa por una situación complicada. La caída de los precios del metal; sumado al alza de los costos de producción, por el aumento en el precio de los insumos; además de las mejoras salariales para los trabajadores; y los mayores requerimientos para mejorar la seguridad. Han originado que el uso eficiente de los recursos productivos sea de suma importancia para la sustentabilidad del negocio minero en el mediano y largo plazo.

En minería subterránea, específicamente en las minas explotadas mediante el método de Block/Panel Caving, la preparación minera juega un rol fundamental en el desarrollo de las labores que permiten la incorporación de un área para dar continuidad a la explotación. Dichas actividades son realizadas durante toda la vida del ciclo de la operación minera, por lo tanto, cualquier tipo de interferencia, detención o retraso va a impactar directamente en la producción de la mina.

En este sentido, la mina El Teniente se encuentra en una constante búsqueda de mejorar la productividad y reducir los costos. Particularmente se ha identificado una oportunidad en la preparación minera para los sectores de producción, que actualmente representa el 20% del presupuesto de la división con un gasto promedio de MUSD 220 al año.

Por lo anterior, se torna fundamental conocer y medir la productividad en las labores de preparación minera, para ver su evolución en el tiempo y analizar posibles causas en su variación, con el propósito de tener mayor información a la hora de tomar decisiones.

Actualmente no existe un criterio de medición ampliamente aceptado que permita realizar un seguimiento y cálculo de productividad en las labores de preparación minera, como sí es el caso en los procesos aguas abajo, como por ejemplo para la mina medido a través de las toneladas métricas por trabajador u horas hombre. Es por esto la importancia de realizar una definición clara y estandarizada de la productividad en dichas labores en relación al negocio minero. El problema se dificulta por la gran cantidad actividades, en diferentes niveles, que se realizan para incorporar área productiva y la necesidad de tener un índice global que sea capaz de decir si las labores se están realizando de manera más o menos eficiente en el tiempo.

El presente trabajo se enmarca en el desarrollo de una memoria para la obtención del grado académico de Ingeniero Civil de Minas otorgado por la Universidad de Chile.

1.1. Problema y motivación

Para poder realizar la explotación a través del método de Block/Panel Caving es necesario una serie de requerimientos que permiten la entrada en producción de un determinado sector. En este aspecto, la preparación minera es la encargada de proveer de espacio físico y construcciones necesarias para que la producción de mineral pueda

llevarse a cabo con las condiciones de seguridad suficiente que permitan el buen desempeño de la operación y la estabilidad de la mina. En consecuencia, el resultado final de la preparación minera es el área que se encuentra lista para comenzar a extraer el mineral a través de la abertura de las bateas y posterior manejo de materiales por los diferentes niveles.

Dentro del proceso minero, es importante contar con un criterio de medición estandarizado que permita hacer gestión respecto a la productividad. Por lo que urge la necesidad de medir el nivel de actividad de cada etapa de acuerdo a alguna métrica, por ejemplo, en el caso de la extracción de una mina subterránea la producción se indica de acuerdo al mineral extraído en toneladas métrica seca y la productividad en base a la relación del mismo indicador con dotación utilizada. Sin embargo, en la preparación minera no existe una medida similar con la que se pueda generar un Benchmark interno en Codelco, de manera de homologar las buenas prácticas.

En este contexto, una de las problemáticas para medir la productividad es encontrar una métrica que indique lo que produce la preparación minera, debido a la gran cantidad de obras que se están realizando de manera simultánea en diferentes partes y niveles de la mina, donde por ejemplo en cada nivel se está trabajando en el desarrollo horizontal de varias frentes, en otro o el mismo, construyendo muros de confinamiento, además de fortificar los puntos donde se extraerá el mineral, a través de marcos de acero con hormigón, simultáneamente en otro nivel, se está realizando la excavación para el sistema de traspaso de mineral, entre otras labores. En consecuencia, medir lo producido a través del área que ha completado todas las labores en conjunto, deja muchos trabajos fuera, y no representa todo lo realizado en el tiempo, lo anterior podría traer que en ciertos años se produzca una baja cantidad de área preparada producto de que existen actividades que falta ser completadas y en el año siguiente al completar dichas actividades se genera una mayor cantidad de área preparada, sin embargo, no necesariamente el año que se completa una mayor área, es el año en el que se realizan más obras.

Por otro lado, existe un sin número de factores que influyen en la construcción de un proyecto minero subterráneo, donde dependiendo de la estrategia de extracción del mineral, las características geológicas, geomecánicas, va a producir que ninguna mina sea igual a otra y, en consecuencia, difícilmente se presenten los mismos requerimientos para la preparación.

El presente estudio pretende generar una medida para cuantificar la productividad y, no solo llevar un seguimiento en el tiempo de cómo se está realizando las labores por la División, sino que, además, crear un estándar para compararse con respecto a otras minas subterráneas explotadas por Block/Panel Caving.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo principal

Proponer una metodología para el cálculo y seguimiento de productividad en la preparación minera subterránea de Block/Panel Caving.

1.2.2. Objetivos específicos

- Proponer una definición de productividad que mejor se adapte a la preparación minera.
- Definir indicadores de productividad acorde a los trabajos de preparación minera.
- Evaluar la productividad en las labores de preparación en la División El Teniente.
- Analizar los diversos factores que influyen en la productividad de la preparación minera.

1.3. Alcances

El trabajo se realiza de acuerdo a los requerimientos de las labores que definen la preparación minera en minería subterránea de Block/Panel Caving de la División El Teniente.

Por otro lado, la medición de productividad de preparación minera se enmarca en la construcción de obras mineras, civiles e infraestructura y queda fuera del alcance medir la productividad de las etapas previas de planificación, gestión y dirección de proyectos o los cambios en productividad que habrían de realizar las etapas previas de una manera diferente.

Además, los indicadores de productividad se definen y evalúan para la gestión anual en el largo plazo, en base a los datos facilitados por la División, acotado en el detalle del número de actividades y periodo de tiempo, para los sectores de Esmeralda, Diablo Regimiento y Reservas Norte. Los principales datos entregados son:

1. Medición física desde el año 2006 hasta el año 2015, de las siguientes obras:
 - a. Desarrollos Horizontales, con el detalle del nivel en que se realizó, no por tipo de sección.
 - b. Desarrollos Verticales, con el detalle del nivel en que se realizó, no con el diámetro que presenta.
 - c. Construcción de muros.
 - d. Puntos de extracción.
 - e. Sistemas de traspaso.
 - f. Perforación Radial, para el nivel de hundimiento y producción.
2. Medición de los gastos incurridos desde el año 2012 hasta el año 2015.
3. Medición de la dotación mensual, de las diferentes empresas contratistas desde el año 2011 hasta el año 2015.

Finalmente, no se evaluará la productividad en base a la medición de las horas efectivas por turno.

1.4. Metodología de Trabajo

A continuación, se describe la metodología de trabajo utilizada para lograr los objetivos planteados, a través de una serie de actividades y tareas.

- Recopilación de información bibliográfica, tales como: Obras principales para la preparación minera e infraestructura necesaria para la explotación de yacimientos subterráneos, variantes del método de hundimiento, temas relacionados a productividad en la construcción minera, principales índices y medidas de la productividad en preparación minera, etc.
- Visitas a terreno a los distintos sectores en construcción de la Mina Esmeralda de la División El Teniente de Codelco, para familiarizarse con las obras de desarrollo y construcción que componen la preparación minera en los niveles de producción, hundimiento, acarreo y ventilación.
- Revisión de los distintos métodos de seguimiento y medición de la producción en las labores de la preparación minera utilizados en la Gerencia de Obras Minas de la División.
- Elaboración del concepto de productividad en la preparación minera en el marco del negocio minero.
- Propuesta de una metodología para el cálculo y seguimiento de la productividad en la preparación minera de minería subterránea de Block/Panel Caving.
- Aplicación de esta metodología para calcular la productividad en la preparación minera durante el periodo de 2006-2015 en la División El Teniente de Codelco Chile, realizando una comparación entre las diferentes minas de la División.

1.5. Estructura del informe

A continuación, se resume el contenido de cada capítulo a modo de dar a entender la estructura de este trabajo:

- Capítulo I: Corresponde a la introducción y motivación del tema de estudio. Definición del objetivo principal y los objetivos específicos, junto a los alcances de la investigación y la metodología de trabajo.
- Capítulo II: Contiene los antecedentes y revisión bibliográfica sobre la productividad. Se definen los principales métodos, indicadores de medición de la producción, etc.

- Capítulo III: Presenta los principales antecedentes y el contexto sobre la preparación minera en la División El Teniente, junto con las principales definiciones de administración de proyectos en el seguimiento y control de obras.
- Capítulo IV: Este capítulo contiene la metodología propuesta para la construcción de indicadores de productividad para su cálculo y seguimiento en la preparación minera de Block/Panel Caving.
- Capítulo V: Se presentan el desarrollo y aplicación de la metodología en el caso de 3 minas de la División El Teniente: Esmeralda, Reservas Norte y Diablo Regimiento y a modo general para la División completa.
- Capítulo VI: Se analizan los resultados obtenidos de la memoria, correspondiente a la comparación de la productividad en los diferentes sectores en estudio, junto con las ventajas y desventajas de los indicadores.
- Capítulo VII: Este capítulo contiene las conclusiones y recomendaciones para futuros trabajos acerca de la de memoria.
- Capítulo VIII: Contiene las referencias utilizadas en el trabajo.

CAPITULO II

ANTECEDENTES DE PRODUCTIVIDAD

El siguiente capítulo tiene como objetivo presentar los principales antecedentes acerca del concepto de productividad y su importancia. Además de contextualizar en la forma de medición y los tipos que existen, junto con mostrar la herramienta de Benchmarking para mejorar la productividad.

2.1. Conceptos generales de productividad

Existen diversas nociones relacionadas con la productividad, provenientes de múltiples organizaciones asociadas a alguna actividad productiva. A continuación, se presentan múltiples definiciones de dicho concepto de acuerdo a cada una de estas organizaciones (Carballal, 2006):

- Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE): Productividad es igual a la producción dividida por cada uno de los elementos de producción.
- Organización Internacional del Trabajo (OIT): Los productos son fabricados como resultado de la integración de cuatro elementos principales: tierra, capital, trabajo y organización. La relación de estos elementos a la producción es una medida de productividad.
- Agencia Europea de Productividad (EPA): Productividad es el grado de utilización efectiva de cada elemento de producción. Es sobre todo una actitud mental. Busca la constante mejora de lo que existe ya. Está basada sobre la convicción de que uno puede hacer las cosas mejor hoy que ayer, y mejor mañana que hoy. Requiere esfuerzos continuados para adaptar las actividades económicas a las condiciones cambiantes y aplicar nuevas técnicas y métodos. Es la firme creencia del progreso humano.
- Corporación de Desarrollo Tecnológico (2001): Productividad es la relación entre la producción obtenida por un sistema de producción y los recursos utilizados para obtenerla. Estos recursos productivos, incluyen el factor trabajo, capital y otros insumos como, energía, materias primas e incluso, información.
- Industria de la Construcción: Se refiere a la productividad como la medición de la eficiencia con la que los recursos son administrados para completar un proyecto específico, dentro de un plazo establecido y un estándar de calidad dado (Serpell, 2002).

En síntesis, la productividad se puede definir como una relación entre los conceptos de eficiencia, eficacia y efectividad con la que se utilizan los recursos para obtener un determinado producto. En donde, se entiende por efectividad al logro de los resultados propuestos en forma oportuna con el óptimo empleo y uso racional de los recursos disponibles (materiales, dinero, personas), en la consecución de los resultados

esperados. En resumen, es la conjunción de eficiencia y eficacia. Donde el primero, es la relación entre el resultado alcanzado y los recursos utilizados y el segundo, corresponde a la extensión en la que se realizan las actividades planificadas y se alcanzan los resultados planificados (ISO 9000:2000). La Figura 2.1-1 muestra la relación que existe entre los tres conceptos antes mencionados.

Además, la eficacia busca medir la obtención de los resultados esperados con el fin de cumplir con el plan de producción, se mide a través del cumplimiento físico de las obras en porcentaje con respecto a un programa

La medida de eficiencia se realiza por medio de la construcción de indicadores en base a la siguiente relación:

$$\text{Productividad: } \frac{\text{Salidas}}{\text{Entradas}}$$

Ecuación 2.1-1 Relación que define productividad

En donde, las salidas corresponden a la cantidad de producción y las entradas a los recursos utilizados para dicha producción.

Por otro lado, la combinación y equilibrio de los tres conceptos expuestos, radica en buena parte el éxito del proceso productivo, éxito que se mide en el logro de los resultados con efectividad, es decir con calidad en el objetivo, con un manejo ordenado y sin desperdicios de los recursos, atendiendo los requerimientos de los usuarios o clientes y alcanzando un buen balance costo beneficio.

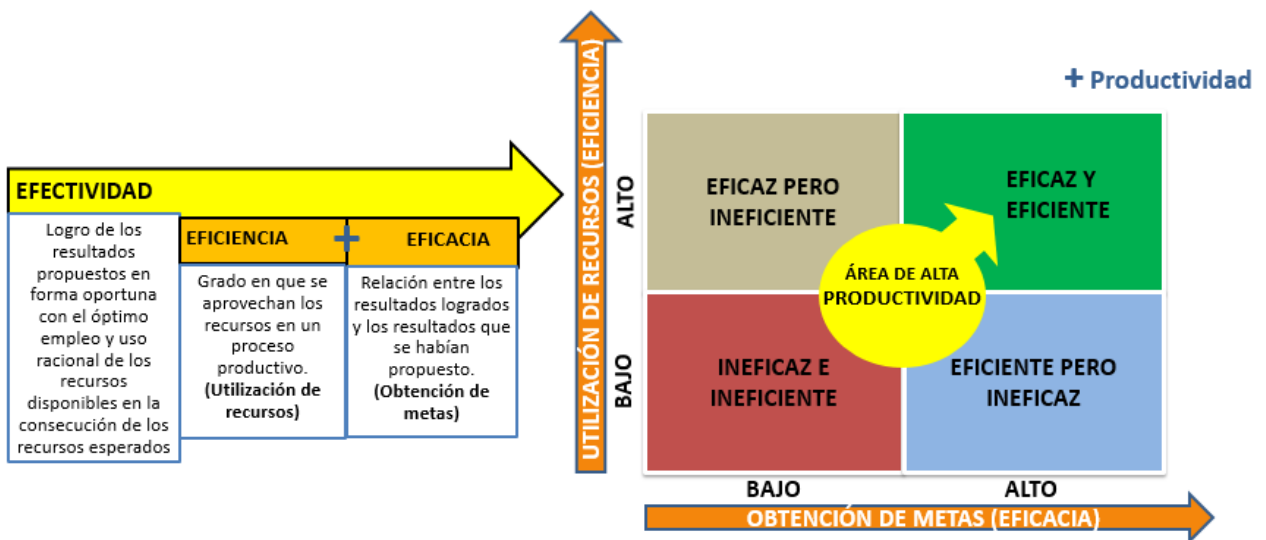


Figura 2.1-1 Relación de la productividad con la eficiencia, efectividad y eficacia. Fuente: Revista Universidad EAFIT (2004).

Las limitaciones y capacidades humanas son determinantes en el desarrollo de cualquier trabajo. Estas condiciones humanas inciden en la eficiencia y eficacia del uso

de los recursos, tales como el tiempo, maquinaria, y para nuestro caso específico de minería extractiva, el recurso mineral. Una idea que se abre camino entre profesionales del área minera, es que los factores humanos desempeñan un papel significativo en seguridad y productividad (Sanders y Peay, 1988).

Por otro lado, existen tres enfoques que apuntan al mejoramiento de la productividad (López, 2007):

- Mantener igual la producción y disminuir los recursos.
- Aumentar la producción manteniendo los mismos recursos utilizados.
- Aumentar la producción junto con reducir los recursos usados, el cual es el escenario ideal de un sistema productivo, aunque obviamente esto es lo más difícil de lograr.

Una manera de lograr estos enfoques es a través de la estandarización y parametrización de las labores para cualquier proceso minero. Ello significa que todos los trabajadores hagan el trabajo de la misma y buena forma, creando unidad en las obras, para que el proceso de producción esté bajo los estándares que lo hacen eficiente en el manejo del recurso, humano y de materias primas. Obteniendo como resultado menores tiempos de ciclo de trabajo.

Sin embargo, no se puede dejar de lado el grado de mecanización en una mina, pues incide en una importante proporción en el uso adecuado de los recursos (Irwin, 1995). Contar con tecnología es sin lugar a dudas una gran ventaja, aunque requiere en la mayoría de los casos un alto costo de inversión, a pesar de este alto costo, no es comparable el volumen de producción cuando las labores mineras son manuales contra las mismas labores hechas con ayuda mecánica.

2.2. Importancia de la productividad

La importancia radica en que el desarrollo de actividades con mayor productividad va a generar mayor rentabilidad y nuevos recursos para reinversión; mayor capacidad de remuneración a los trabajadores, además de la posibilidad para mejorar su calificación, condiciones de trabajo y satisfacción.

Para mejorar la productividad, necesariamente hay que medirla. Con ello es posible conocer áreas problemáticas que requieran atención inmediata, fortalecer la planeación de las actividades, generar conciencia en los trabajadores, además es necesaria para asociar el incremento de los salarios y de la rentabilidad con el comportamiento de la productividad.

Por otro lado, medir la productividad permite comparar bajo una misma medición el desarrollo que se tiene en el tiempo y en relación a otras compañías.

2.3. Medición de la productividad

Medir adecuadamente es el medio o instrumento que permite gerenciar en base a datos, dejando las opiniones subjetivas solo para aquellos asuntos que no hayan desarrollado medios cuantificables para medirlos y verificarlos a través de datos. Además, la importancia de medir la productividad se resume en (Rodrigues y Gómez, 1992):

- La medición permite planificar con certeza y confiabilidad.
- La medición permite discernir con mayor precisión las oportunidades de mejora de un proceso dado.
- La medición permite analizar y explicar cómo han sucedido los hechos.

2.4. Tipos de productividad

Un sistema productivo como la construcción y la preparación minera, se caracteriza por la transformación de recursos para producir una determinada labor, dichos recursos, se pueden subdividir en tres grupos principales: materiales, maquinaria o equipos, y mano de obra. Se puede hablar entonces de diferentes clases de productividad en un proyecto de construcción si separamos los recursos considerados (Botero & Alvarez, 2004):

1. Productividad de los Materiales: es importante pues su objetivo es controlar los costos minimizando las pérdidas para no exceder lo presupuestado en el cálculo del proyecto.
2. Productividad de Maquinaria o Equipos: el alto costo que representa obliga a racionalizar el uso en el transcurso del proyecto, tratando de evitar los tiempos muertos y el estancamiento de las tareas que dependen de maquinaria o equipos.
3. Productividad Laboral o de Mano de Obra: este es un factor fundamental ya que normalmente es el recurso que determina el ritmo de trabajo de la construcción del cual depende la productividad de otros recursos, y es el objeto de interés de esta tesis.

2.5. Etapas para construir un índice de productividad

Según la INEGI (2003), la construcción de un índice de productividad se puede definir en cuatro etapas:

1. Medición de la producción: Antes de proceder a construir un índice de productividad es necesario obtener una medida de la producción. En el caso de la preparación minera una medida de lo que produce se traduce en la cantidad de área incorporada o preparada.

2. Medición de los insumos o factores: La productividad se puede medir en términos de los distintos insumos que intervienen en el proceso productivo (por ejemplo: tierra, mano de obra y capital).
3. Cálculo del índice de productividad.
4. Elección del año base: se deberá seleccionar adecuadamente un año para considerarlo como base o de referencia.

2.5.1. Medición de la producción en construcción

La preparación minera corresponde a trabajos de construcción que entregan como principal producto un área construida para poder ser explotada, existen diversos métodos para la medición del trabajo completado en la construcción, los que se exponen a continuación:

2.5.1.1. Medición de la cantidad de trabajo completado

La determinación de la cantidad de trabajo completado para una actividad en particular dependerá de la naturaleza del trabajo y del requerimiento de control particular por parte del proyecto. Los principales métodos disponibles para la medición del trabajo son (Thomas y Kramer, 1998):

- I. Unidad Completada (medición física): Este método consiste en medir o contar las unidades de trabajo completadas. Este método es aplicable para: actividades que pueden ser medibles fácil y rápidamente; actividades que no implican sub-tareas, ó que sean pocas; y actividades de corta duración, es decir, menor a un día. Tiene como ventaja que es un método más detallado, preciso, objetivo y fácil de auditar, y como desventaja que es de alto costo la recolección de datos, cuando el método ha sido aplicado de forma inadecuada.
- II. Porcentaje completado: Este método es muy subjetivo, consiste en preguntarle al supervisor su opinión del porcentaje de actividad completada, donde el 100% representa el total de unidades de trabajo completado. Este método de medición es aplicable a actividades que se consideran menores o de corta duración. En caso de que ocurra un cambio de alcance el estimado de completación debe ser revisado. Tiene como ventaja ser simple, rápido y económico. Y como desventaja que puede ser muy engañoso e inexacto.
- III. Nivel de esfuerzo: Este método es muy usado para las actividades que involucran varias tareas, las cuales tienen un porcentaje relativo del total, donde reflejando solo la cantidad de porcentaje de cada una de las tareas podremos tener con precisión el estado de realización de la actividad. Tiene como ventaja un mayor detalle y objetividad que un simple estimado de cuanto trabajo fue realizado y menos costoso que contar o medir las unidades completadas. Y como desventaja un requerimiento de esfuerzo mayor al utilizado para un simple estimado de porcentajes completados.

- IV. Hitos de medición: Este método de medición es una variación del método nivel de esfuerzo, y se caracteriza por la identificación de una serie de hitos intermedios. Un porcentaje predeterminado es asociado con cada uno de los hitos. Este método puede ser usado cuando únicamente unos pocos renglones pueden ser considerados, las sub-tareas son difíciles de medir o si las tareas tomarán un periodo de tiempo muy prolongado para su realización. Tiene como ventaja que es fácil de usar y simple de entender. Y como desventaja que ambos periodos pueden pasar antes de que un hito intermedio sea alcanzado.
- V. Porcentaje Inicio-final: Este método de medición es otra variación del método nivel de esfuerzo, donde el único hito o fase es comienzo y final. Este método es aplicable para tareas en las cuales no se puede definir de forma rápida los hitos intermedios. Es aplicable a actividades de corta duración. Tiene como ventaja ser simple y como desventaja que puede ser impreciso, especialmente si hay pocos renglones o si la duración de las actividades es larga.

La selección de un método apropiado de medición de cantidad de trabajo completado es relevantemente simple. Los métodos hitos de medición y porcentaje inicio – final son aplicados en situaciones donde las sub-tareas son difíciles de definir o medir. En cambio, aquellos renglones que necesitan ser monitoreados para efecto de control pueden ser rastreados con mayor precisión con los métodos de unidad completada, porcentaje completado y nivel de esfuerzo. El método más simple que provea el nivel de detalle necesario para controlar el trabajo debe siempre ser seleccionado.

2.6. Benchmarking como herramienta para el mejoramiento de la productividad

El registro histórico de datos o mediciones proporciona la herramienta de Benchmarking que sirve como medio de comparación para el mejoramiento de la productividad por medio de la canalización del aprendizaje y la innovación entre los distintos sectores o empresas. Este proceso de comparación estratégica genera un aprendizaje en tres aspectos, se aprende lo que realmente se está haciendo en la empresa, luego del mejor, y en tercer lugar se vuelve a la empresa y se aprende “nuevamente” al diseñar la propuesta de mejora en función de lo que se necesita y conviene. A continuación, se esquematiza la herramienta de Benchmarking como medio de mejoramiento de la productividad.

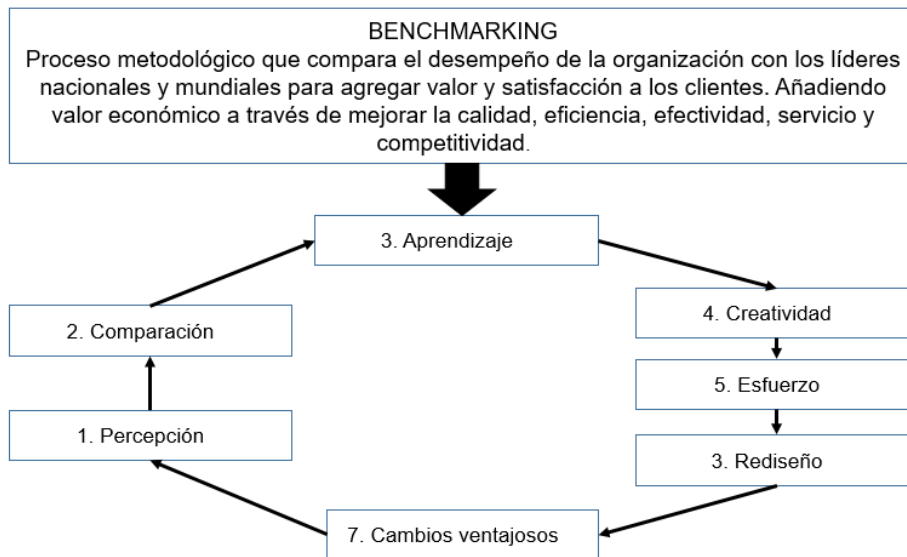


Figura 2.6-1 Benchmarking como herramienta para mejorar la productividad. (Alarcón et al, 1997)

Se pueden utilizar distintas metodologías para detectar e implementar las mejoras, una de ellas está dada por el siguiente esquema:

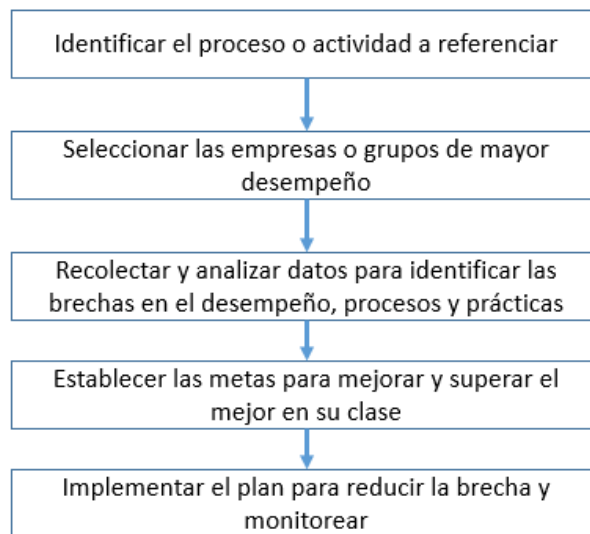


Figura 2.6-2 Metodología para la implementación de benchmarking (Lema et al, 1995)

Con esta herramienta se puede generar un ranking con las empresas con mejores prácticas y mejorar los niveles de competitividad de la división.

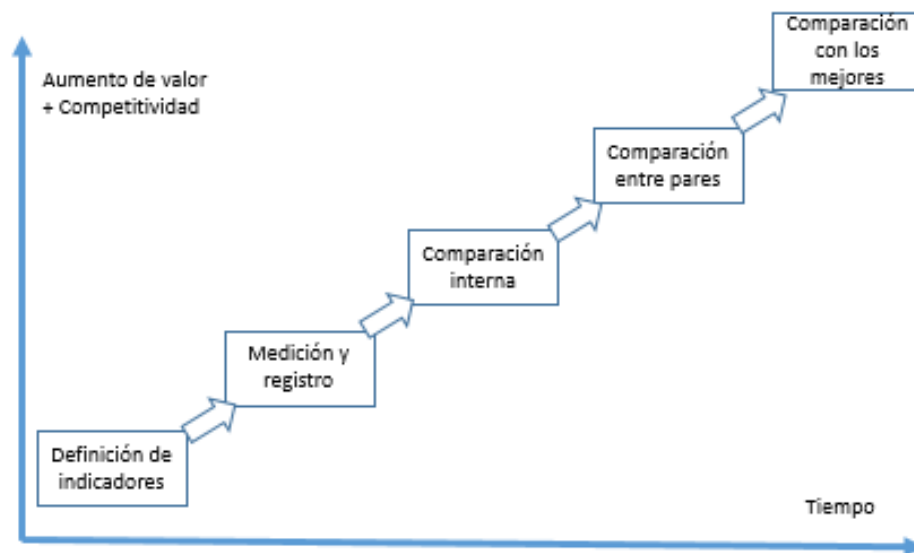


Figura 2.6-3 Evolución Benchmarking. (Tello, 2016)

2.7. Conclusiones del capítulo

Las principales conclusiones de los antecedentes mostrados en este capítulo son:

- La productividad se define en base a la relación entre los conceptos de eficiencia y eficacia con la que se utilizan los recursos en un proceso productivo, donde la zona de alta productividad se caracteriza por un alto grado de obtención de metas junto a un buen aprovechamiento de los recursos.
- Mejorar la productividad es de gran importancia ya que es el único camino para que un negocio o proceso productivo pueda crecer y aumentar sosteniblemente su competencia. Para mejorarla es necesario medirla adecuadamente, lo cual permite gestionar en base a datos, ayudando a planificar con certeza y confiabilidad, conocer las oportunidades de mejora y conocer y explicar cómo han sucedido hechos.
- La construcción de un índice de productividad, en el caso de la eficiencia se lleva a cabo a través de la medición de la producción, los insumos o recursos requeridos y la elección de un año base para compararse.
- Por último, el Benchmarking es una herramienta de gestión que permite tomar como referencia a los mejores, lo cual sirve para identificar oportunidades de mejora para poder adoptarlas, agregando valor.

CAPITULO III

ANTECEDENTES DE LA PREPARACIÓN MINERA DE BLOCK/PANEL CAVING EN LA DIVISIÓN EL TENIENTE

El siguiente capítulo tiene como objetivo contextualizar el trabajo de investigación y entrega una visión general de la Preparación Minera en minas de Block/Panel Caving con aplicación a División El Teniente de Codelco Chile. La revisión comprende, además, antecedentes sobre el seguimiento y control en obras de construcción y en preparación minera de la División.

3.1. Contexto: División El Teniente

En Chile, en plena Cordillera de los Andes del sector de Rancagua, se encuentra la mina El Teniente, faena subterránea de cobre más grande del mundo y con más de 100 años de operación minera, perteneciente a División El Teniente y cuyo propietario es el Estado de Chile a través de la Corporación Nacional del Cobre (Codelco Chile).

Está ubicado en la comuna de Machalí, Región del Libertador Bernardo O'higgins, a 50 kilómetros de la ciudad de Rancagua. Comenzó a ser explotado en 1905, y ya cuenta con más de 3.000 kilómetros de galerías subterráneas.

3.1.1. Reservas y producción

Las reservas de los próximos 5 años, alcanzan los 258 Mt con una ley promedio de 0.91% CuT. Las reservas totales contempladas a más de 80 años de vida son de 4,675 millones de toneladas de mineral con una ley de cobre total de 0.87%.

Durante el año 2015, El Teniente alcanzó una producción récord de 471 mil toneladas de cobre fino, que es comercializado a través de ánodos que se generan en la Fundición de Caletones. También produce molibdeno y ácido sulfúrico.

3.1.2. Sistema de explotación

El método de explotación se realiza a través del hundimiento gravitacional o Panel Caving, en operación desde la década del ochenta. En este sistema, al hundir los paneles, el mineral se fractura y se rompe por sí solo debido a las tensiones internas y efectos de la gravedad. Por consiguiente, se requiere de un mínimo de perforación y tronadura en la explotación del mineral.

3.1.3. Niveles de la mina

La mina está formada por varios niveles y subniveles que se disponen a diferentes cotas dentro del yacimiento. El nivel Teniente 8 está a la cota más baja (1,983 m.s.n.m.) y Teniente 1 representa la mayor cota (2,628 m.s.n.m.), aunque en este nivel ya no existe producción. La producción actual se extrae y transporta desde el nivel Teniente 4 hasta Teniente 8 nivel de transporte.

En el nivel Teniente 8 se conecta a través del FFCC Teniente 8, la mina con el concentrador de Colón. El ferrocarril transporta el mineral proveniente de los sectores Quebrada Pacifico, Diablo Regimiento, Pipa Norte, Teniente 4 Sur, Panel 3 y 4, Esmeralda y Reservas Norte lo que representa actualmente el 90% de la producción, incluyendo los desarrollos.

La Chimenea Braden está ubicada en el sector central del yacimiento, y contiene la mayoría de las instalaciones de los barrios cívicos de cada sector productivo. Se utiliza para construir este tipo de instalaciones debido a que no posee mineralización de cobre.

A la cota 1,880 m.s.n.m. se establecerá Nuevo Nivel Mina, considerando los sectores productivos Andes Central, Andes Sur, Andes Norte, Norte, Pacifico y Sur.

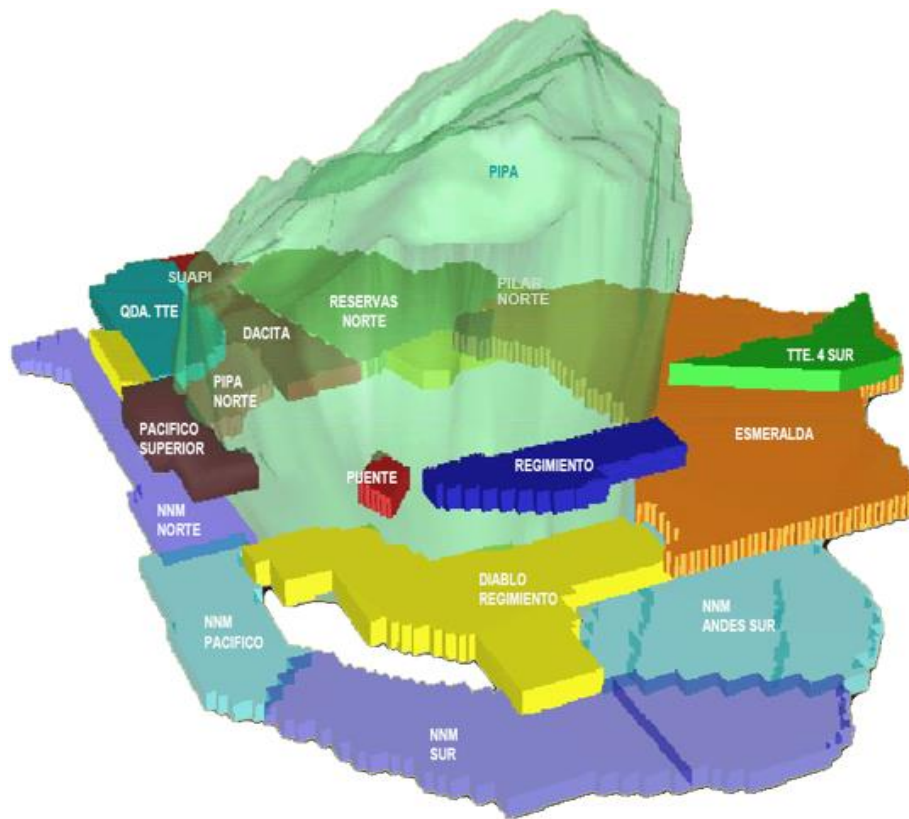


Figura 3.1-1 Sectores de las minas actuales en operación. Además de los desarrollos del Nuevo Nivel Mina.

3.2. Preparación minera

La preparación minera puede ser entendida y definida como el conjunto de actividades de desarrollo de túneles y de construcciones, mecánica, eléctrica, instrumentación, ingeniería e infraestructura de montaje de diferentes niveles o sectores de una mina subterránea que permiten la obtención de área en condiciones para dar inicio o continuidad de la explotación, dejando el mineral disponible para extraerlo. Esta actividad se desarrolla de una manera continua y secuencial durante todo el ciclo de vida

de la operación por lo que su detención, retraso o interferencias produce impactos en las metas productivas (Díaz y Morales, 2008; Contreras, 2015).

La actividad de preparación se divide básicamente en tres grandes áreas de trabajo:

Excavaciones Mineras	Obras Civiles	Montaje de Infraestructura
<ul style="list-style-type: none">•Corresponden a los desarrollos horizontales y verticales y todas las actividades asociadas a éstos, como la fortificación de galerías, el saneamiento de éstas y la estabilización de sectores.	<ul style="list-style-type: none">•Son las obras cuya materialización principal es el Hormigón Armado. Algunos ejemplos de estas actividades son las carpetas de rodado y los muros de confinamiento, éstos últimos cumplen la función de fortificación definitiva de una zona en producción.	<ul style="list-style-type: none">•Esta actividad corresponde a las obras de terminación necesarias para finalizar un proyecto. Normalmente se ejecutan posteriormente a las obras civiles. Ejemplos de estas actividades son el montaje y la habilitación de buzones de carguío y plate feeders, elementos de infraestructura necesarios para el traspaso y manejo de materiales desde un nivel a otro.

Figura 3.2-1 Clasificación de la preparación minera (Camhi, 2012).

3.2.1. Actividades y labores de la preparación minera

Por lo general los proyectos de preparación, siguen un esquema de construcción de infraestructura que define una serie de obras principales. Para la construcción de esta infraestructura se deben habilitar instalaciones provisionarias como por ejemplo barrio cívico, oficinas, bodegas y talleres que permitan la correcta supervisión, operación y mantención de los trabajos involucrados.

Las obras más importantes son las siguientes:

1. El desarrollo de galerías en diferentes niveles: hundimiento, producción, ventilación y transporte.
2. Construcción de piques desde el nivel de producción hasta el nivel de transporte.
3. Construcción de obras de ingeniería civil, tales como los puntos de extracción, puntos de vaciado, buzones, ferrocarriles y otros.
4. Construcción de infraestructura de servicios, tales como los talleres de mantenimiento, infraestructura eléctrica, oficinas.

5. Montaje y puesta en marcha de la instalación eléctrica, electrónica y mecánica requerida para los sectores: implementación del sistema de control automático para LHD, mandos a distancia semi-automáticas para martillos picadores y buzones, ventiladores auxiliares.

Las consecuencias del incumplimiento de la preparación minera son la pérdida de la flexibilidad y la reducción de la holgura del plan de producción que puede afectar seriamente los resultados de la empresa en relación con imprevistos (Díaz y Morales, 2008).

3.3. Preparación minera en División El Teniente

3.3.1. Modelo de negocios para la preparación minera DET

Actualmente las labores de preparación minera que se llevan a cabo en toda la mina se realizan a través de empresas contratistas (EE.CC) que son gestionados por la Gerencia de Obras Minas, cuya misión es ejecutar todas las actividades de desarrollo y construcción de infraestructura minera, mecánica, eléctrica e instrumentación, civiles y montaje, para incorporar un área que permita la continuidad de la explotación. De esta forma sustentar las áreas necesarias para incorporar y cumplir con el plan de producción, en plazo, alcance, costo y calidad (Alvarado, 2016).

El enfoque del modelo de negocios responde a una visión de la planificación estratégica, definiendo una metodología de selección de empresas contratistas, con foco en la organización, calidad y productividad de las actividades de preparación minera y los procedimientos de seguridad para sus trabajadores (Díaz y Morales, 2008).

3.3.2. Sectores en preparación en El Teniente

Actualmente en producción y crecimiento existen 7 sectores, estos son: Pipa Norte, Diablo Regimiento, Esmeralda, Reservas Norte, Pilar Norte, Sur Andes Pipa y Dacita y en su etapa de proyecto e implementación existen proyectos como el Nuevo Nivel Mina y diferentes extensiones de los sectores ya mencionados. La Figura 3.1-1 muestra los diferentes sectores que se encuentran en la mina El Teniente.

A continuación, se presenta el gasto real que se ha realizado para cada uno de los sectores y extensiones en preparación, dichos montos se encuentran en la moneda correspondiente a cada año. De esta se puede desprender que los sectores que presentan mayores gastos son Esmeralda, Reservas Norte y Diablo Regimiento, con un 80 % del gasto con respecto al total de la cartera.

Tabla 3.3-1 Gastos reales de cada uno de los sectores y extensiones del año 2012 al año 2015 (montos en monedas correspondientes a cada año).

GASTO REAL - KUS\$	2012	2013	2014	2015
DIABLO REGIMIENTO	37,138	35,990	27,124	25,918
RESERVAS NORTE	58,503	63,315	61,922	47,362
PANEL RENO	-	23,210	3,736	-
ESMERALDA SUR	88,899	95,481	98,713	93,018
PILAR NORTE	12,577	7,117	5,215	88
PANEL 1 ESMERALDA	19,192	10,868	2,655	1,619
DACITA	-	-	21,985	33,754
PANEL 2 ESMERALDA	-	1,645	-	-
EXTENSIÓN NORTE SUAPI	876	-	-	-
EXTENSION FW PIPA NORTE	1,964	-	-	-
EXTENSION NORTE SUAPI NORTE	-	-	11,704	15,382
EXTENSION HW PIPA NORTE	-	-	156	12,265
PACIFICO SUPERIOR	-	-	-	-
EXT. NORTE ESM	-	-	-	3,598
EXT. FW ESM	-	-	-	2,151
TOTAL CARTERA	219,150	237,625	233,210	235,154

Con respecto al volumen de obras promedio que realiza la preparación minera al año con un presupuesto de MUSD 220 se presenta la Figura 3.3-1 que muestra a modo resumen la cantidad de las principales actividades realizadas junto a los suministros utilizados, equipos principales y servicios que necesita la División para la preparación minera.



Figura 3.3-1 Volumen de obras promedio y cantidades de las principales actividades y suministros para la preparación minera. Fuente: Gerencia de Obras Minas

3.3.3. Planificación de la preparación minera en DET

La planificación de la preparación minera en la División El Teniente tiene por objetivo explicitar las actividades necesarias para sustentar el plan de producción, detallando el tipo de obra con una ubicación espacial y temporal determinada. Y el clave para medir la eficacia en las obras por medio del cumplimiento de la preparación en base a la obtención de las metas o planificado.

El plan se elabora considerando un horizonte a 25 años (PND, visión estratégica y largo plazo), con análisis detallado los primeros 5 años (Plan quinquenal, visión táctica y mediano plazo). El primer año, se considera en el presupuesto como Rev. A y luego se actualiza con un Rev. B (visión operacional y corto plazo). Una vez que el plan entra en ejecución, se actualiza con el plan actualizado mensual (PAM) de acuerdo a las órdenes de cambio que se vayan realizando.

Después de los primeros 5 años, el programa de obras de preparación minera se basa en información de las ingenierías de cada proyecto.

Los tiempos de cada una de las sub actividades de las secuencias de obras mineras son generados en base a rendimientos. En general se utilizan promedios históricos globales de preparación minera. Estos datos deben ser representativos y de buena calidad para evitar planificar ineficiencias.

La planificación debe considerar todo lo necesario para dar continuidad a la incorporación de área.

La programación anual de la preparación minera se realiza en dos etapas, las que serán descritas en los siguientes dos puntos (Salgado, 2009):

3.3.3.1. Programa anual Revisión A (Presupuesto)

Esta programación la realiza la Superintendencia de Planificación Minero-Metalúrgica (SPL-GRMD) y presenta una base de cálculo anual, además la fecha de emisión corresponde al mes de agosto.

Para la realización de este programa se analiza la siguiente información:

1. Programa preparación minera revisión B (año anterior).
2. Planos de ingeniería de detalle.
3. Programa producción Rev. 0 (feedback sobre área a incorporar).
4. Facilidades (energía eléctrica, ventilación, accesos, vaciaderos de marina, etc.).
5. Fichas geomecánicas PND.

Los productos de esta programación corresponden a los volúmenes de obras considerados en el Presupuesto anual de preparación y que son la base de las Autorizaciones de Gastos Diferidos (AGD).

3.3.3.2. Programa anual Revisión B

Este programa es elaborado por la Superintendencia de Gestión Producción (SGP GRMD) y se realiza en una base mensual, además la fecha de emisión corresponde al mes de enero.

Para la realización de este programa se analiza la siguiente información:

1. Programa Preparación Minera Revisión A.
2. Planos de Ingeniería de Detalle.
3. Programa Producción Revisión 2 (feedback sobre área a incorporar).
4. Facilidades (energía eléctrica, ventilación, accesos, vaciaderos de marina, etc.).
5. Rendimientos mensuales.
6. Estado de contrato de obras y calendario de licitaciones.

Los productos generados en esta programación corresponden a la planificación mensual detallada de las obras requeridas en cada sector productivo, para lograr sustentar el programa de producción Revisión 2.

Al ser un programa mensual, permite una visualización más directa por parte de operaciones mina y así evaluar las obras contempladas de cada sector. Además, el Programa Revisión B es utilizado para controlar los compromisos mensuales de avances e indicar el cumplimiento a la fecha, por lo que produce un indicador de eficacia en el tiempo.

La Figura 3.1-1 esquematiza de forma general cada uno de los pasos en la planificación de la preparación minera.

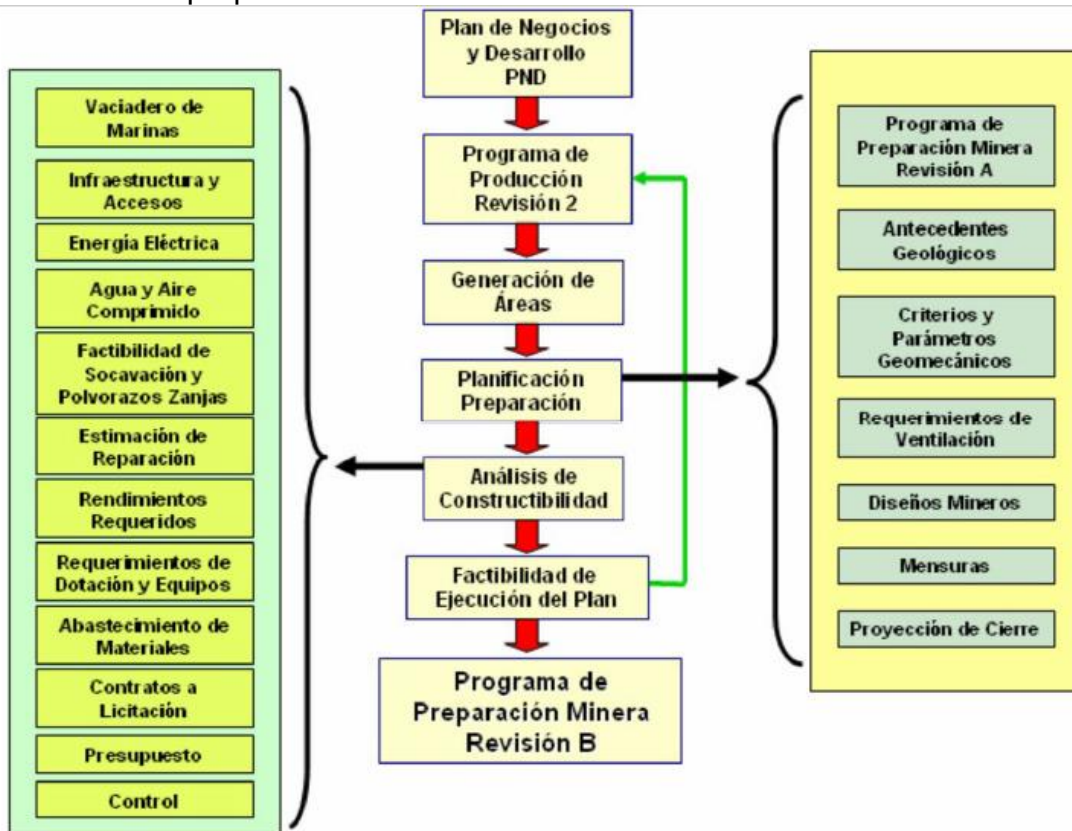


Figura 3.3-2 Esquema general de la planificación de la preparación minera (Salgado, 2009).

3.4. Antecedentes del control y seguimiento de la preparación minera en El Teniente

Para llevar a cabo la ejecución de un proyecto de construcción minero se tiene como función fundamental la administración, que es el proceso por el cual se obtienen, manejan y aplican recursos variados, necesarios para ejecutar el proyecto y cuyo

desempeño se mide principalmente con base en los siguientes parámetros: costo, plazo, calidad y satisfacción del cliente.

La administración del proyecto incluye funciones tradicionales como la planificación, organización, dirección y control. La planificación se utiliza como herramienta de gran utilidad dentro de cada proyecto, con el fin de lograr alcanzar los objetivos de éstos de la mejor manera posible. La planificación es posiblemente una de las funciones más importantes para el éxito de la administración de proyectos y el director o administrador del proyecto se apoya en ella para anticipar e influenciar futuros eventos que ocurrirán en el desarrollo del proyecto y para definir un camino de acción para la ejecución del proyecto. Por otro lado, un administrador o director de proyectos que no planifique, no podrá de manera alguna ejercer un buen control, ya que carecerá de un criterio por el cual juzgar el progreso actual del proyecto o los gastos en que se ha incurrido.

A continuación, se presentan los principales antecedentes acerca de la administración de la preparación minera en la División El Teniente, actualmente a cargo por la Gerencia de Obras Minas (GOBM).

3.4.1. Estructura organizacional de la Gerencia de Obras Minas

Para llevar a cabo la preparación minera se tiene una organización del tipo matricial, en donde el Gerente cuenta con un equipo de trabajo directamente a sus órdenes, pero encarga la ejecución de las tareas que demanda el proyecto a los servicios especializados o de apoyo. Entonces, la experiencia que se genera en la nueva actividad incrementa el acervo técnico de los departamentos funcionales, para que ella pueda llegar a los proyectos futuros. El superintendente de operaciones tiene a cargo todos los sectores a preparar, en donde existe un equipo por proyecto o sector. La representación del esquema organizacional se presenta en la Figura 3.4-1, en donde los cuadros naranjos representan al mandante y los plomos están asociados a empresas contratistas de servicios. Además, el equipo de proyecto es quien está a cargo de la o las empresas contratistas asociadas a la ejecución de las obras.

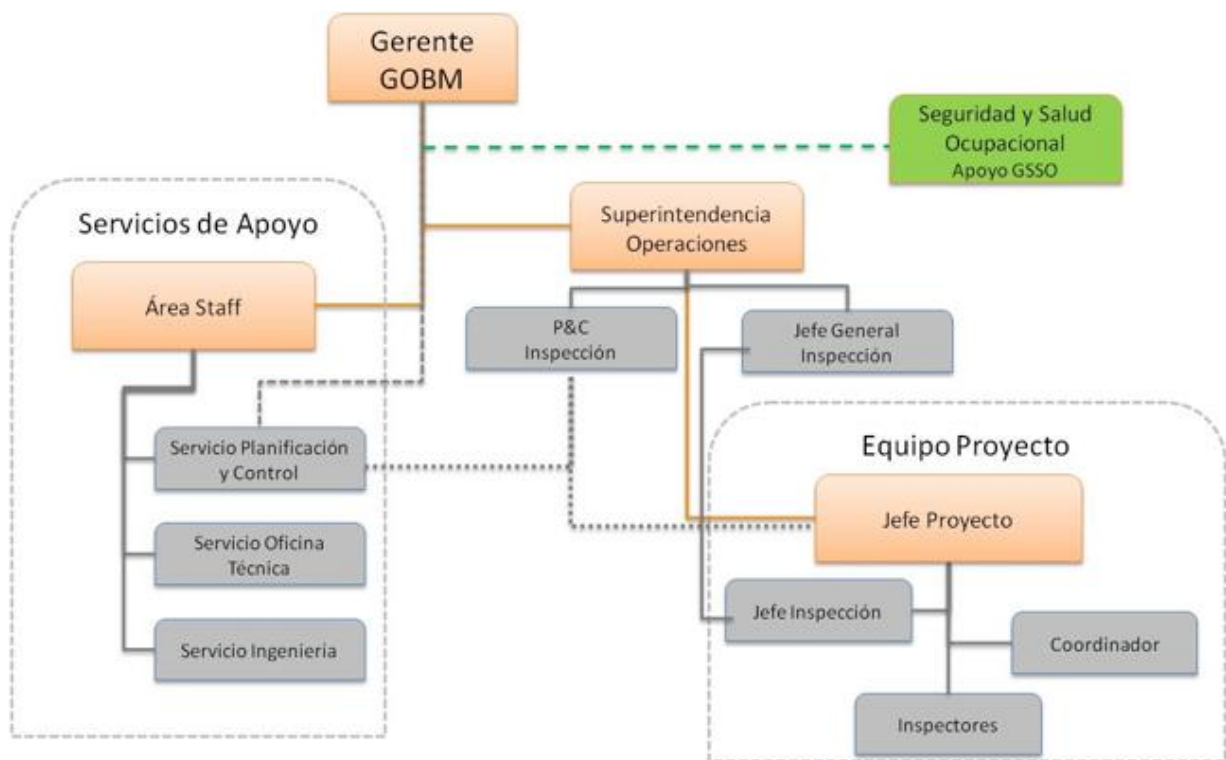


Figura 3.4-1 Estructura organizacional de la Gerencia de Obras Minas.

Por otro lado, el flujo de la información en cuanto al control de las obras pasa en primer lugar por la inspección del equipo de proyecto, luego a la planificación y control (P&C) de la inspección, donde transmite la información finalmente al servicio de apoyo de planificación y control quien tiene una visión más estratégica y de largo plazo en comparación a la inspección.

3.4.2. Planificación y control de la Gerencia de Obras Minas (GOBM)

El seguimiento de las obras de preparación se realiza a través del control del plan de Revisión B con el cumplimiento físico y financiero a medida que avanza la construcción de las obras.

Además, la preparación minera es medida y controlada a través de diferentes indicadores de desempeño (KPI's) para analizar los resultados semanalmente con el objeto de revertir las variaciones relevantes que se podrían producir con respecto a las metas establecidas.

Los indicadores de desempeño se miden con respecto al cumplimiento del programa actualizado mensual y las metas que se deben realizar por semana.

Existen dos focos de gestión a analizar, la gestión de calidad integral con énfasis en la seguridad, calidad y medio ambiente y la gestión operacional para medir si el desarrollo del contrato se realiza de forma impecable, cada uno de estos aspectos son medidos por medio de indicadores a través de diferentes métricas.

El esquema de la Figura 3.4-2 muestra un resumen de cada uno de los focos de gestión con sus respectivos indicadores y métricas. Además, el cuadro resumen de la Tabla A-0-1 (Anexos) muestra una descripción de cada una de las métricas utilizadas para medir cada indicador.

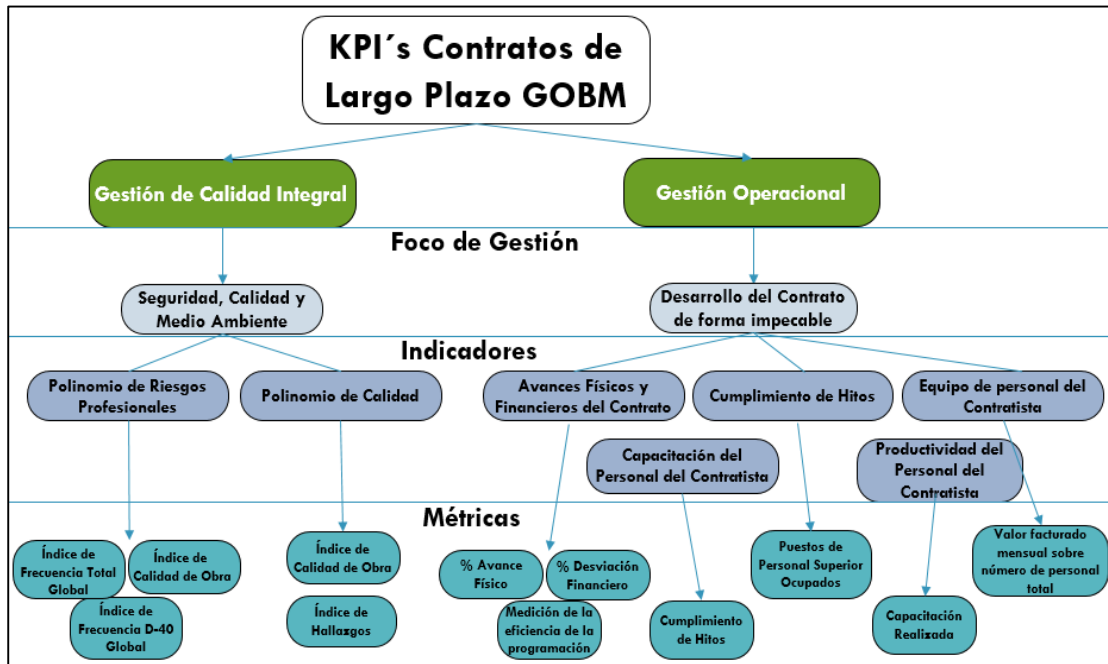


Figura 3.4-2 Esquema de los KPI's de contratos de largo plazo en la GOBM.

Dentro de estos indicadores se pierde y no queda clara la medición de eficiencia de las obras, en relación al aprovechamiento de los recursos en el sistema productivo, sin embargo, se definen indicadores de eficacia, por medio del avance físico y financiero del contrato con respecto a lo planificado.

La gestión operacional, en el corto plazo, se centra en el cumplimiento semanal de 4 actividades principales (desarrollo horizontal, desarrollo vertical, puntos de extracción y muros de confinamiento) con respecto al PAM, a través de los siguientes indicadores, que son evaluados para cada uno de los sectores en preparación, con el fin de tomar acciones y generar alertas en caso de no cumplimiento:

- Disparos/semana: rendimiento de los desarrollos horizontales por medio del porcentaje de disparos realizados con respecto a la meta semanal.
- Desarrollo vertical/ semana: medido como el porcentaje de la cantidad de metros de desarrollo horizontal realizados con respecto a la meta semanal.
- Puntos de extracción/semana: medido como el porcentaje de la cantidad de puntos de extracción realizados con respecto a la meta semanal.

- Muros en pilares/semana: medido como el porcentaje de la cantidad de muros en pilares realizados con respecto a la meta semanal.

A continuación, a modo de ejemplo, se presentan los resultados de la primera semana de octubre del año 2016, esto permite tener una visión a corto plazo de los focos de gestión que se deben analizar para cumplir la planificación establecida.

SECTOR	DISPAROS / SEMANA	DV / SEMANA	PE / SEMANA	MU-PI / SEMANA
DIABLO REGIMIENTO	96%	211%	0%	0%
RESERVAS NORTE	161%	54%	0%	102%
ESM. SUR UCL - NP	170%	0%	81%	177%
ESM. SUR SNV - NA	51%	84%	0%	0%
DACITA	123%	0%	86%	163%
PACÍFICO SUPERIOR	140%	123%	44%	185%
ESM. EXT. NORTE B2	59%	185%	25%	100%
Total Cartera	111%	99%	31%	91%

Figura 3.4-3 Ejemplo de los resultados de los indicadores de desempeño para la semana 1 del mes de octubre del 2016. Elaboración: Gerencia de Obras Minas.

Además, evalúa los diferentes aspectos que pueden estar causando el bajo desempeño de las actividades de acuerdo a si es producto de las empresas contratistas o problemas de la División, a través de otros indicadores:

- Gestión de empresas contratistas:
 - Dotación por Turno: por medio del porcentaje de la dotación por turno con respecto a lo planificado.
 - Horas Jumbo: por medio del porcentaje de horas que se utilizó el jumbo con respecto a las horas que están estipuladas.
 - Horas Scoop: por medio del porcentaje de horas que se utilizó el scoop con respecto a las horas que están estipuladas.
- Gestión División el Teniente
 - Aislación Polvorazo: por medio del porcentaje de horas que existió aislación para el polvorazo de hundimiento y de abertura de bateas, con respecto a las horas que están estipuladas.
 - Aislación sismicidad: por medio del porcentaje de horas que hubo aislación por sismicidad con respecto a las horas que están presupuestadas.

- Horas pique: por medio del porcentaje de horas que hubo disponibilidad de pique para el retiro de marica con respecto a las horas que están presupuestadas.
- Tiempo disponible: como el porcentaje del tiempo disponible que se tuvo para trabajar desde que empieza el turno hasta que se acaba sin considerar la hora de colación con respecto a la presupuestada.

Lo anterior, se enfoca en la gestión para evaluar el desempeño y analizar los focos que están afectando la planificación establecida. Sin embargo, es difícil cuantificar la eficiencia de la preparación minera a través de ellos, debido a que se realiza con respecto a un programa sin necesariamente saber si el programa es eficiente.

3.4.3. Medición del costo por metro cuadrado de área preparada a través de un volumen de control

Una forma que se utiliza para medir la eficiencia en el uso de los recursos en la preparación de un área es, a través de un volumen de control para comparar el costo de diferentes sectores de la mina en el tiempo. Para lo anterior se procede a ubicar un cuadro de área de $100 \times 100 \text{ m}^2$ en una parte representativa del sector a estudiar que abarque la mayor cantidad de actividades, dicha área se proyecta en todos los niveles con el fin de determinar y medir la cantidad de actividades que contempla, obteniendo el costo por metro cuadrado. La Figura 3.4-4 muestra el volumen de control utilizado para el sector de Esmeralda.

La comparación realizada por cada año en un mismo sector se realiza por medio de lo que costó cada actividad, por lo que el costo por metro cuadrado va a depender principalmente del contrato y de los valores impuestos por cada empresa para cada una de las actividades.

Por lo tanto, este indicador sirve para tener una métrica del costo del metro cuadrado por sector, donde el costo es de un paquete de actividades que determinan el volumen controlado, y la diferencia por sector y año va a depender del número de actividades que considera cada sector, y los cobros de este paquete por la empresa contratista a cargo. Tiene como desventaja que no mide lo que se está realizando cada año en relación al costo que se incurrió, lo cual define la eficiencia de un proceso, sino que compara los requerimientos de un sector para preparar área junto con la diferencia de costos del paquete de actividades requerido.

M² Preparado

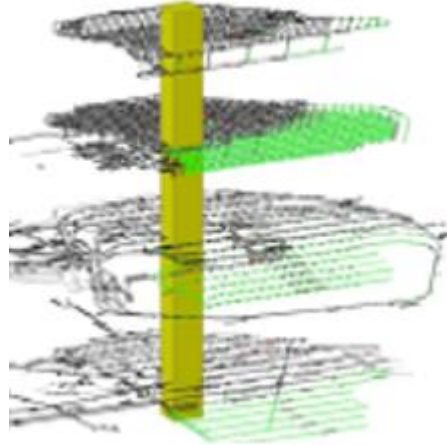


Figura 3.4-4 Volumen de control para cuantificar las actividades que comprende un sector. Elaboración: Gerencia de Obras Minas

En particular, de acuerdo al estudio del costo del metro cuadrado presupuestado, es más barato preparar área en el sector de Diablo Regimiento, debido a los menores requerimiento de obras, por no considerar nivel de acarreo. En la Tabla 3.4-1 se detalla el costo presupuestado pasado a moneda base del año 2015 de cada nivel, junto con el costo complementario por metro cuadrado.

Tabla 3.4-1 Detalle del Costo por metro cuadrado presupuestado al año 2015. Elaboración: Gerencia de Obras Minas.

Costos por Metro Cuadrado Presupuestado	Esmeralda	Reservas Norte	Diablo Regimiento
Nivel de Hundimiento	US\$/m ² 445	461	368
Nivel de Producción	US\$/m ² 800	879	712
Sub Nivel de Ventilación	US\$/m ² 135	101	105
Nivel de Acarreo	US\$/m ² 246	212	-
Costos Complementarios	US\$/m ² 956	1,074	599
Costo Total de Preparación	US\$/m² 2,583	2,728	1,785

3.4.4. Antecedentes de productividad en la preparación minera de la División El Teniente

A lo largo del tiempo la preparación minera en la División ha pasado por diferentes administraciones, antes del año 2004 quien se encargaba de las obras era la Gerencia de Minas existiendo serios problemas debido a que esta gerencia tiene como objetivo principal el cumplimiento de los planes de producción establecidos, por lo tanto, la preparación minera se convierte en un objetivo secundario si lo comparamos con la producción de minerales. Posterior a esto, se formó un grupo especializado que tuviera

la autonomía de tomar decisiones con el fin de cumplir los planes, por medio de una Dirección de Preparación Minera y posterior a esto la Gerencia de Obras Minas.

Dentro de los indicadores generales por los cuales se mide la preparación minera en el largo plazo y que dan cuenta de la evolución de esta es a través de los gastos incurridos, el cumplimiento y la dotación.

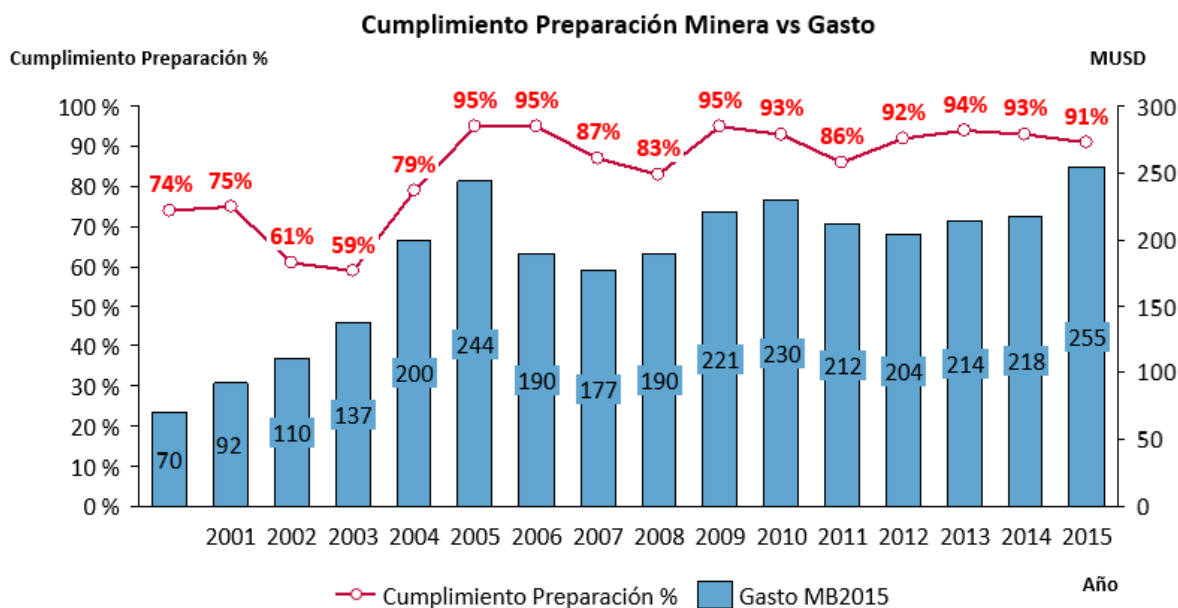


Gráfico 3.4-1 Cumplimiento preparación minera versus gasto (2000 – 2015)
Elaboración: Gerencia de Obras Minas

La evolución que ha presentado la preparación minera de la División en cuando a los gastos incurridos en las obras y al cumplimiento del programa de revisión B se detallan en el Gráfico 3.4-1, observándose el alto cumplimiento que ha alcanzado luego de la creación de la Dirección de Preparación Minera y Gerencia de Obras Minas. El detalle de la Dotación histórica se presenta en Gráfico 3.4-2 donde existe un cambio desde el año 2005 con la externalización de las obras con una baja cantidad de personal propio.

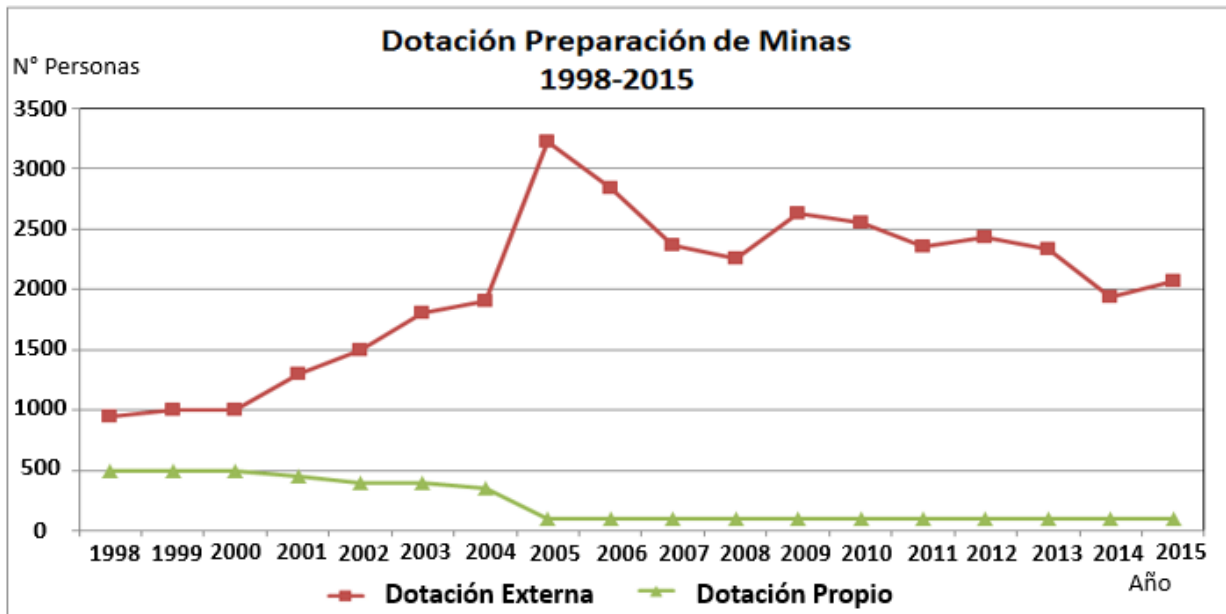


Gráfico 3.4-2 Dotación preparación de minas (1998-2015). Elaboración: Gerencia de Obras Minas

Los indicadores presentados hablan de que existe una medida para la eficacia en las obras, sin embargo, existe una falta en la medición de la eficiencia de las obras de preparación minera, donde la forma de realizarlo es a través de la comparación de los gastos incurridos en relación al personal, lo cual no necesariamente el mayor gasto es debido al aumento en la cantidad de obras.

3.5. Camino recorrido de la preparación minera en El Teniente

A lo largo del tiempo la preparación minera de la División se ha enfrentado a diferentes desafíos debido a la constante expansión de la mina con el fin de incrementar el volumen o capacidad de tonelaje a extraer. En este contexto ha recorrido un largo camino en vías del mejoramiento del proceso, en la búsqueda de entregar las obras de forma oportuna, segura, disminuyendo los costos y mejorando los estándares de calidad, para no comprometer los planes de producción.

Durante los años 2000-2004, la preparación minera se caracterizó por la ineficiencia y retrasos sistemáticos en el desarrollo, construcción e incorporación de área a la producción, logrando resultados promedio del 70% de cumplimiento en los programas ya establecidos. Estos incumplimientos tienen como consecuencia las pérdidas de flexibilidad y la disminución de la holgura del plan de producción que pueden afectar seriamente los resultados del negocio con respecto a cualquier circunstancia imprevista. (Díaz, G. et al. 2008).

Posterior a esto, desde el año 2005, se cambió el foco estratégico de la ejecución de obras pasando y entregando la administración de la preparación minera a un equipo altamente competitivo, externalizando los recursos con la implementación y reclutamiento de empresas contratistas de alta eficiencia y competitividad. Este cambio fundamental, en el que una entidad independiente de la operación, administra, gestiona y ejecuta las obras, utilizando todas las herramientas de gestión de un proyecto de inversión que permiten dejar libre la Gerencia de Minas para que se dedique íntegramente al negocio productivo. Dicho modelo ha permitido un progreso sustancial para que las empresas contratistas logren una alta eficiencia y competitividad.

Dentro de los hitos importantes que ha trabajado para mejorar la productividad en el tiempo, ha sido la implementación de alianzas estratégicas con las empresas contratistas, a través de contratos a largo plazo, comenzando con contratos de 1 año, luego de 3 para llegar progresivamente a contratos más largos con una duración de 5 años, esto ha permitido que las empresas a cargo de los trabajos tengan oportunidades de crecer e invertir en sus procesos con miradas a largo plazo, mejorando y perfeccionando las habilidades de sus trabajadores e incorporando nuevos equipos y mejores tecnologías, para aumentar los rendimientos. Dichos contratos de mayor plazo han habilitado la reducción de precio en un 10%¹.

Además, se ha propiciado un ambiente para dar paso a iniciativas de productividad y hacer cambios que promuevan un proceso más eficiente, en ese sentido diversas propuestas han surgido, como la utilización de estructuras de hormigón armado que estén listos desde fuera de las dependencias de la mina con el fin de fortificar los puntos de extracción de forma mucho más rápida, o el cambio del tipo de explosivo de ANFO a emulsión, además de la incorporación de nuevas tecnologías para la colocación de mallas en la fortificación. Todas estas iniciativas con miras en el aumento de los rendimientos y aumentar la productividad.

Se ha buscado el mejoramiento de la productividad mediante la implementación de la filosofía Lean desde el año 2012, donde dado el levantamiento realizado por diferentes estudios se determinó que los principales aspectos a trabajar son: el uso del tiempo; la planificación; el logro de resultados y uso de indicadores; los sistemas de gestión; el uso, disponibilidad y coordinación de recursos; y la comunicación, en donde las principales oportunidades detectadas son la necesidad de mejorar los procesos de planificación y coordinación; la necesidad de mejorar la comunicación entre los diferentes actores; el conocer y utilizar la información de los procesos administrativos y operativos;

¹ Arce, P. 2016. Visión Global y Desafío de la Gerencia de Obras Mina.

reducir las pérdidas operacionales y operativas; lograr la consolidación de los equipos de trabajo; y mejorar el alineamiento entre las partes.

Por otro lado, se ha implementado una estrategia de gestión enfocada en la excelencia operacional, a través de la transferencia de las mejores prácticas entre las empresas, con la estandarización de los procesos y alineamiento de cada una de ellas, en donde se determinan y cuantifica cada uno de los procesos realizados por las distintas empresas para luego compartir, estandarizar y modelar las conductas y disciplinas operacionales. Para luego, solicitar en las bases contractuales. Esto ha permitido reducir los tiempos de trabajo por actividad, aumentando los rendimientos.

Lo anterior da cuenta de los esfuerzos que se han realizado para posicionar a los trabajos de preparación minera en una zona de alta productividad con un buen cumplimiento y una mejor eficiencia del uso de los recursos. Sin embargo, aún existe mucho camino por recorrer y deficiencias en el proceso en donde se puede progresar.

3.6. Factores que afectan la productividad

A lo largo del periodo de 2005-2015 se han hecho una serie de estudios² por parte de entidades especializadas externas para medir y determinar los principales factores que afectan los rendimientos y la productividad, conociendo las principales oportunidades de mejora y puntos críticos que hay que tener especial cuidado para un adecuado seguimiento y control de las obras de construcción. En donde, dada las características de los trabajos que se realizan en la preparación minera existen algunas restricciones llamadas “estructurales” que afectan la productividad, que deben ser consideradas como condiciones de borde. Entre estas restricciones se encuentran los traslados hacia el interior mina, los horarios de ingreso y egreso (vehículos, materiales, etc.), los horarios de alimentación, entre otros. Por otro lado, hay que considerar que existe una “cultura minera” bastante arraigada en las personas que trabajan, y que viene desde hace mucho tiempo. Esto debe ser tenido en cuenta a la hora de analizar por todo lo que implica ya sea por las motivaciones, trato de las personas, liderazgo, estructuras, costumbres, sindicatos, etc.

Por otro lado, los estudios de análisis de cómo se utiliza el tiempo de la jornada, se tiene que los principales factores que afectan la productividad asociados a la operación son:

- Una mala planificación: que genera desorden y poca claridad en las cosas que hay que hacer al día a día, provocando una sensación de que no se

² Centro de Excelencia en Gestión de la Producción. 2012. Pontificia Universidad Católica de Chile. Programa de Mejoramiento de Productividad mediante Implementación de Filosofía LEAN.

sabe cuáles son las posturas del turno, con un enfoque en ‘apagar incendios’ más que en coordinar y organizar el trabajo futuro. Problemas de traspaso de información entre turnos, en coordinación y en temas logísticos. Además, existen grandes pérdidas de tiempos en traslados necesarios hasta las posturas (entrada, colación, salida). Y por otro lado, incentivos relacionados al uso eficiente del tiempo no existen, por lo que existe poca motivación y el factor de “cultura minera” asociado.

- Factores asociados a operación con mandante: está relacionado a problemas con paralización de la obra por interferencias provocadas por la División, indefiniciones en el diseño, bloqueos de áreas entre otras.
 - Factores asociados a rendimientos: que no son los esperados por fallas en los equipos o falta de personal en la postura, demoras en mantención, o en la entrega de materiales y o suministros.
- Factores asociados a sistemas de gestión: existiendo excesivos sistemas por parte de la División, siendo muy burocráticos (exceso de papeleo), con gran cantidad de normas, procedimientos, protocolos, instructivos, reglas y especificaciones, se hace difícil poder dominarlas todas para trabajar como se espera. Los procedimientos muchas veces se vuelven inútiles.

El Gráfico 3.6-1 muestra de acuerdo a un estudio de obras de construcción en minería realizado entre el año 2013 y 2014 que muestra cuales son la distribución de porcentajes que presentan mayor incidencia en el tiempo que no agrega valor a la operación y donde existe una brecha que se puede acortar para aumentar la eficiencia del proceso. Este estudio ratifica que los principales problemas son producto de una mala planificación producto de esperas por la secuencia constructiva, detenciones sin razón aparente, esperas por postura, falta de asignación de tareas o simplemente por no tener una postura asignada. Cabe destacar que las barras verdes hacen referencias a problemas o restricciones “estructurales”.

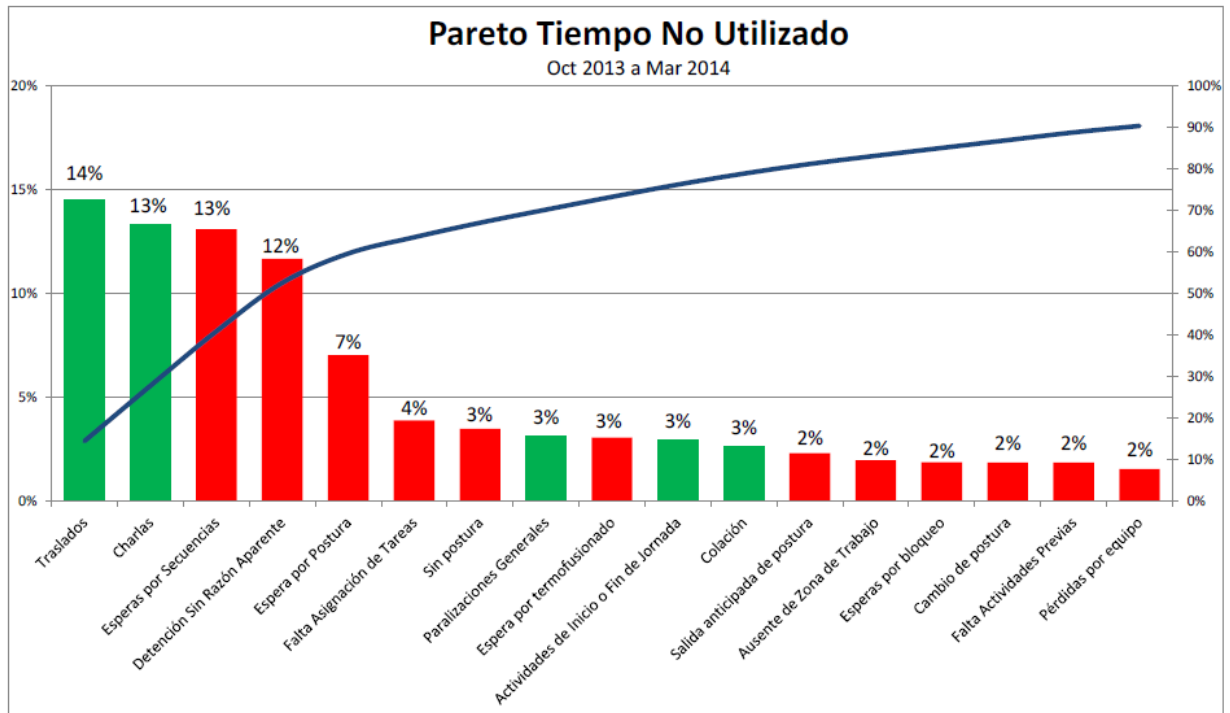


Gráfico 3.6-1 Pareto tiempo no utilizado para proyectos de construcción minera
Fuente: Estudio de productividad construcción minera CDT

Además, los factores se pueden dividir en los que producen interferencias ocasionadas por la División y las pérdidas en la operación por culpa de las empresas contratistas. En base a estos se tiene el Gráfico 3.6-2 y Gráfico 3.6-3 en donde se destaca del primero, el caso de la falta de piques para extraer las marinas, provocando que pare la continuidad operacional, este problema es causado principalmente por la poca disponibilidad que entrega producción para evacuar la marina, debido a la poca coordinación existente entre la Gerencia de Minas y la Gerencia de Obras Minas. En el segundo destacan problemas relacionados con rendimientos, producto de la falla en los equipos, falta de personal, repitiéndose la deficiente planificación y coordinación en la gestión del turno, además de problemas de abastecimiento tanto de energía y materiales.

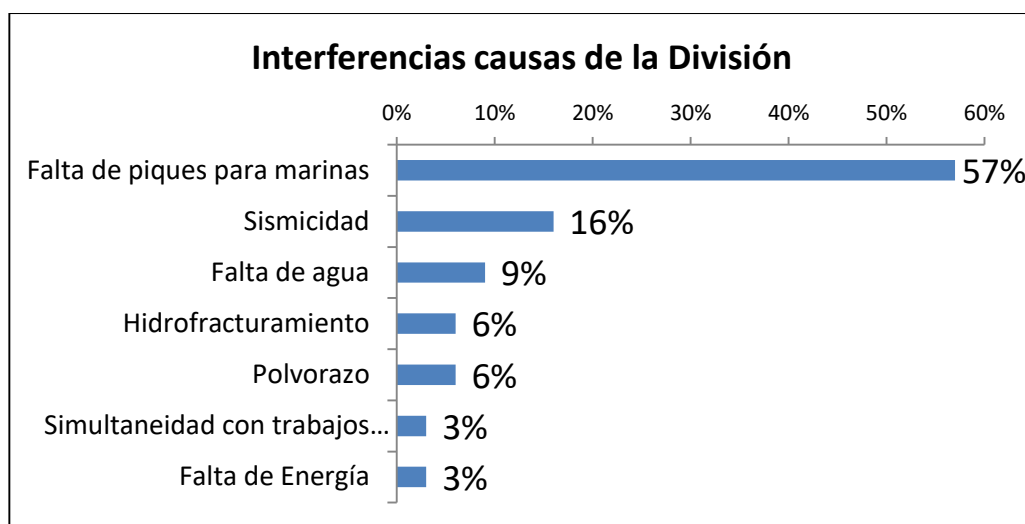


Gráfico 3.6-2 Interferencias causas de la División. (Díaz y Arce, 2015)

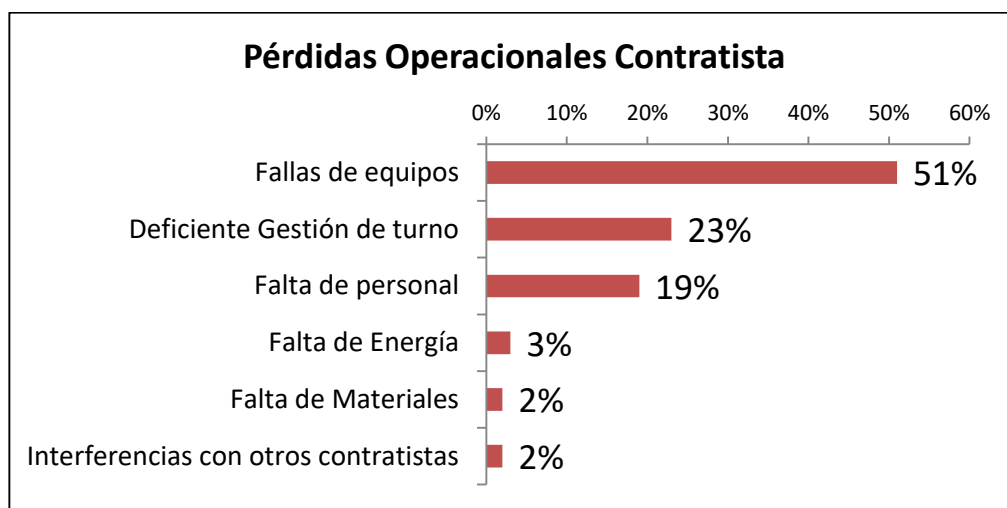


Gráfico 3.6-3 Pérdidas Operacionales Contratista. (Díaz y Arce, 2015)

Finalmente, los principales factores operacionales que afectan la eficiencia y el comprometen el cumplimiento en la ejecución de las obras es la mala planificación y coordinación existente entre los trabajadores y jefes a cargo, debido a la falta de información y datos para hacer gestión, junto a la mala comunicación entre los actores, que provocan interferencias y deficiencias en el proceso.

3.7. Conclusiones del capítulo

Las conclusiones de los antecedentes de la preparación minera son:

- La preparación minera corresponde y engloba un proyecto de gran envergadura en donde se debe realizar un enorme esfuerzo en la administración, planificación

y seguimiento en la realización del volumen de obras para El Teniente correspondiente a un presupuesto promedio anual de MUSD 220.

- Es de gran importancia llevar un control y seguimiento en un proyecto de construcción como lo es la preparación minera, para poder hacer gestión frente a retrasos, y desviaciones del programa.
- Luego de la creación de un grupo especializado y focalizado en la administración y ejecución de las obras de preparación, además de la externalización de la construcción por medio de empresas contratistas, produjo que el cumplimiento del programa aumentara considerablemente, dejando en el pasado los retrasos sistemáticos en el desarrollo, construcción e incorporación de área a la producción.
- Finalmente, de acuerdo a los antecedentes, los indicadores actuales utilizados para la medición y seguimiento de productividad en la preparación minera no son suficientes para medir la eficiencia en las labores, debido a que se encargan de medir el cumplimiento con respecto al programa o la obtención de las metas (eficacia) y no deja claro la medición del aprovechamiento de los recursos utilizados.

CAPITULO IV METODOLOGÍA PROPUESTA

El siguiente capítulo presenta una propuesta de definición de productividad para la preparación minera junto con la metodología para el cálculo y seguimiento a través de diferentes indicadores, detallando los supuestos considerados y pasos a seguir para la construcción de éstos.

4.1. Propuesta de definición de productividad en preparación minera

La productividad en la preparación minera se puede definir como el grado de utilización y aprovechamiento de los recursos para la construcción y desarrollo de la mina con la generación de un área lista para ser explotada de acuerdo al plan de producción de manera segura y oportuna.

Además, la definición se puede dividir en dos aspectos de acuerdo a los conceptos de eficiencia y eficacia, el primero como el grado de utilización de los recursos, a través de la relación que existe entre lo que se produce y los elementos productivos utilizados. Y el segundo, en base al logro de los resultados, de una manera segura y en el tiempo que corresponde para no comprometer la producción planificada.

4.2. Propuesta de medición de productividad en la preparación minera

Para llevar un seguimiento y cálculo de la productividad es necesario medirla a través de indicadores que representen los conceptos y definiciones antes expuestas de eficiencia y eficacia.

A continuación, se resume la metodología propuesta por medio del esquema que muestra la Figura 4.2-1.

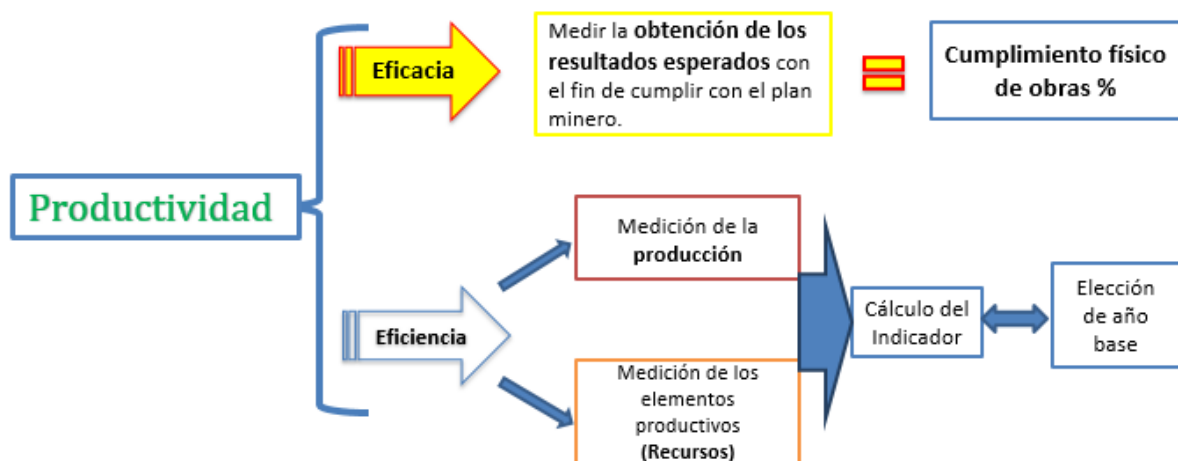


Figura 4.2-1 Metodología propuesta para medir productividad.

Debido a que para la medida de eficacia ya existen metodologías de medición en proyectos de preparación, por medio del indicador del cumplimiento del programa Rev B, que han sido validadas a través de los años. Este trabajo se centrará en la medida de eficiencia, en consecuencia, la primera etapa es tener una medida de la producción y una de los distintos insumos que intervienen en el proceso productivo de la preparación minera.

Además, como lo muestra el esquema, la construcción del indicador debe presentar la elección de un año base. En el estudio se realizarán los cálculos por medio de una moneda base llevada al año 2015 con una tasa de cambio de 585 \$/USD, donde el IPC es igual a 154.07 e IPM de USA igual a 209.80, la metodología de cálculo se explica en Anexos.

4.3. Medición de los recursos utilizados en preparación minera

En general, en el área de la construcción y la preparación minera, existen muchos recursos que son utilizados para desarrollar las diferentes actividades, éstos pueden ser clasificados de la siguiente manera:

- **Mano de Obra:** este recurso se puede clasificar como el más crítico si se piensa que un gran porcentaje del gasto total de la obra está asociado a este recurso y que una mala utilización de éste podría implicar un aumento importante en los costos del proyecto.
- **Materiales:** estos recursos son esenciales para lograr avances en un proyecto. El tipo y la cantidad de materiales adecuados podrían no estar disponibles en el momento en que se les necesite quizás debido sólo a un error de comunicación, con consecuencias desastrosas para la obra.
- **Equipos o Maquinaria:** este recurso se vuelve crítico debido a su alto costo. Luego, se torna importante tener una excelente planificación para la utilización y mantención de la maquinaria, de modo que se eviten tiempos ociosos de éstas, lo cual incrementa el costo de utilización.
- **Recursos Financieros (capital de trabajo):** La diferencia entre ingresos acumulados y los gastos acumulados del proyecto determinan el flujo de caja del proyecto. Si el flujo de caja es negativo el contratista deberá contar con una cantidad de dinero suficiente como para cubrir dicha diferencia; a esta cantidad de dinero se le denomina capital de trabajo de la obra.

También existen otros recursos de gran importancia como son el espacio, el conocimiento, la experiencia, el tiempo, el dinero incurrido y las instalaciones.

Finalmente, la medida de los elementos productivos que se toman en consideración son: la mano de obra, por medio de la dotación mensual promedio al año, debido a la importancia que tiene en obras de construcción; y la cantidad total de gastos incurridos en el periodo de estudio para representar la totalidad de los recursos utilizados.

4.4. Medición de la producción en preparación minera

Dada la definición de la preparación minera, el producto que entrega el proceso de construcción se puede representar como:

- Área incorporada o preparada: que corresponde al área proyectada en los diferentes niveles, del total de las obras a desarrollar y construir, es decir, es el sector que está listo para ser explotado. La abertura de las bateas por medio de la perforación y tronadura es el hito que da paso al término del proceso de construcción de la preparación minera.

Por otra parte, las consideraciones y características que se deben tener presente para tener una medida de los trabajos de preparación son:

- Se realizan de manera secuencial, simultánea y en diferentes sectores de la mina, por lo que el área preparada o incorporada no es homogénea por nivel y a través de los niveles.
- La estrategia de crecimiento y secuenciamiento va cambiando durante la ejecución del proyecto, por lo que se torna difícil medir la producción de la preparación minera a través del área preparada.

Lo anteriormente expuesto, se representa en la Figura 4.4-1 en donde se esperaría que el área que se va preparando e incorporando a producción se genere de manera secuencial en el tiempo, sin embargo, no es homogéneo y las actividades se van completando en diferentes sectores y niveles en tiempos distintos.

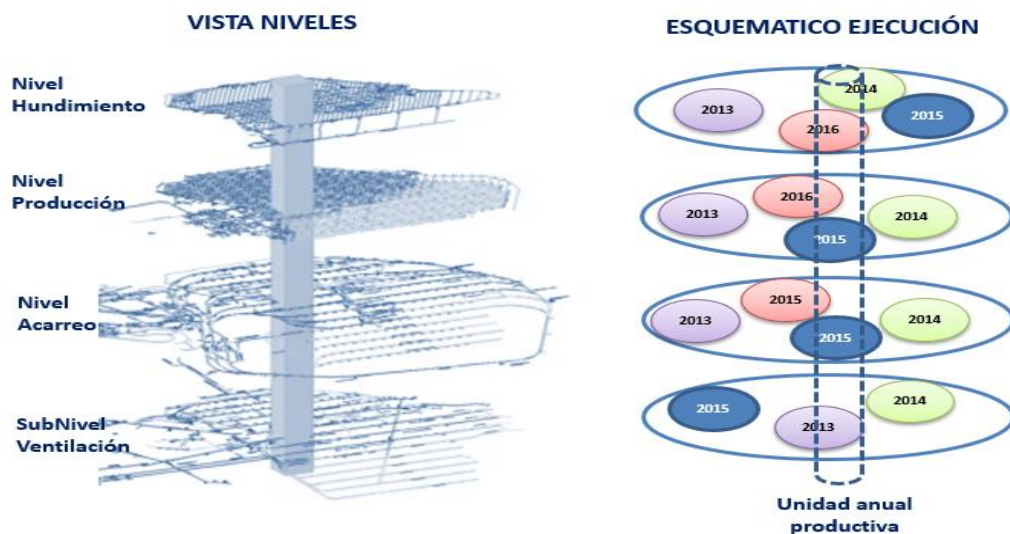


Figura 4.4-1 Esquema representativo de la preparación de área en los distintos niveles en el tiempo en la mina Esmeralda (Díaz, J. F., 2016)

Medir la producción del proceso de preparación a través del área preparada o incorporada provoca ciertas ventajas y desventajas, las cuales serán analizados en el siguiente cuadro.

Tabla 4.4-1 Cuadro comparativo entre la medida de área incorporada y de área preparada.

	Ventajas	Desventajas
Área Incorporada o Preparada	<p>Se puede determinar de acuerdo a la abertura de bateas, es decir, medir con el número de bateas incorporadas.</p> <p>Tiene directa relación con el proceso aguas abajo en el ciclo minero con el tonelaje que se extraiga a futuro.</p> <p>Corresponde a una medida que se puede medir y cuantificar de acuerdo al plan de producción.</p>	<p>Obras completadas fuera de la abertura de las bateas no son contabilizadas. Ej: desarrollo horizontal que va abriendo el frente de avance de las galerías no es contabilizado debido a que quedan muchas obras por completar, como la construcción de muros, etc.</p> <p>Las labores que se realizan por año no necesariamente son representativas en esta métrica. Ej: año 1 se incorpora la misma área que el año 2, sin embargo, la incorporación del año 2 se debió en gran medida a las obras realizadas el año anterior.</p>

Finalmente, se tiene que la medición de lo producido por la preparación minera a través de esta métrica no permite medir el total de las obras que se están realizando en el tiempo por la preparación minera y entrega el producto final, con la abertura de bateas, que está fielmente asociada al programa de producción.

4.4.1. Área Preparada Equivalente y Cantidad de Obra

Con el fin de medir el total de trabajos realizados y disminuir las desventajas producidas por la medida antes descrita se define una unidad equivalente para englobar a cada una de las labores completadas en los diferentes sectores de la mina, en una sola medida, estableciendo el concepto de Área Preparada Equivalente (APE) y Cantidad de Obra (CO).

El primero corresponde al área que equivale la realización o construcción de cada una de las actividades que se realizan en el tiempo por separado y va a estar determinado por los requerimientos del layout del sector a estudiar.

La Cantidad de Obra, similar al anterior, corresponde a una medida del volumen de obra que se realiza en el tiempo por medio de la transformación de la medición de cada actividad a una unidad equivalente y se crea con el fin de representar la magnitud del total de las obras realizadas en una sola unidad, ya que al momento de comparar dos proyectos de construcción la pregunta que surge es cuál realiza mayor cantidad de trabajos en el tiempo. Un ejemplo simplificado de este cuestionamiento puede ser, si la empresa A realizó 300 metros de desarrollo horizontal y 1 sistema de traspaso en un año,

mientras que la empresa B sólo 100 metros de desarrollo horizontales, pero además 1 sistema de traspaso y 10 puntos de extracción en el mismo año. ¿Qué empresa realizó una mayor cantidad de obras?

Otra de las complejidades, es que cada una de las actividades de la preparación minera se mide con métodos y métricas diferentes: por ejemplo, se utiliza el método de Unidad Completada por medio de metros lineales para medir los desarrollos horizontales y verticales; el método de Hitos de Medición por medio de porcentajes hasta completar la unidad para medir los sistemas de traspaso, puntos de extracción, etc.

Con lo anterior, medir lo producido a través del APE o CO tiene como principal ventaja considerar el total de obras completadas a lo largo de cada año, en vez de la medida del área incorporada, determinada por la abertura de las bateas, que solo contabiliza el sector donde el total de obras está completado.

Con este método de medición cada actividad va a ser equivalente a un área preparada ó Cantidad de Obra, por lo que es necesario definir un peso o ponderador para transformar la unidad con la que se mide dicha actividad. Producto de lo anterior, se tiene como desventaja que el peso de cada actividad va a estar dado de acuerdo a algún criterio utilizado para generar el ponderador. En base a lo anterior se presentan las principales diferencias de estas dos últimas métricas.

Tabla 4.4-2 Ventajas y desventajas entre Área Preparada Equivalente y Cantidad de Obra

	Ventajas	Desventajas
Área Preparada Equivalente	Considera obras llevadas a cabo en diferentes sectores y al mismo tiempo. Busca representar el área incorporada, por lo que tiene relación con el proceso de extracción de mineral aguas abajo.	Ponderadores generados para la equivalencia, dependen del criterio utilizado, ya sea de requerimientos, económico, etc. El área equivalente va a depender del sector a estudiar. Sectores con requerimientos de layout diferentes no son comparables.
Cantidad de Obra	Considera obras llevadas a cabo en diferentes sectores y el mismo tiempo. Puede ser comparable entre minas con diferente layout, ya que mide el volumen de obras realizados.	Ponderadores generados para la equivalencia, dependen del criterio utilizado.

4.4.1.1. Metodología de Cálculo del Área Preparada Equivalente

Según la definición del APE, se debe buscar un ponderador que lleve cada actividad al área que equivale, para hacer dicha transformación se utilizará un área representativa de $100 \times 100 \text{ m}^2$ proyectada en todos los niveles, conformando un volumen de control, obteniendo las obras que están involucradas. Conociendo la cantidad de obra requerida, se debe tener un peso de cada actividad con el fin de saber finalmente cuanta

área representa. Cuya limitación es que si bien representa un área preparada equivalente, esta no tiene relación con el área a incorporar o que está planificada para la producción.

Para un mejor entendimiento, se expone una simplificación por medio del siguiente ejemplo, suponiendo que si dentro del volumen de control de área de $100 \times 100 \text{ m}^2$ se deben realizar 800 metros de desarrollo horizontal, y además el peso del desarrollo horizontal es del 20% del total del costo del área, entonces si el año 1 se completaron 800 metros de desarrollo horizontal, entonces se obtiene un área equivalente del 20% de los $100 \times 100 \text{ m}^2$.

Entonces, para calcular el APE se definen dos ponderadores que juntos van a determinar la cantidad de metros cuadrados que equivale cada actividad. Un ponderador de la cantidad de actividades requeridas por metro cuadrado y un peso en porcentaje que define la importancia de dicha actividad con respecto a las demás, dicho ponderador se estableció en base al costo económico que se incurre en ella, para simplificar el problema. La **Figura 4.4-2** esquematiza el cálculo del área preparada equivalente.



Figura 4.4-2 Esquema del cálculo de área preparada equivalente.

Dado lo anterior, la metodología para calcular el Área Preparada Equivalente se realiza de acuerdo a la siguiente formulación:

$$APE = \sum_i^n CA_i * Pca_i * Pe_i$$

Ecuación 4.4-1 Cálculo de Área Preparada Equivalente

Donde:

CA_i : Cantidad o medición física de la actividad i , medida en la unidad correspondiente de dicha actividad. Ej: metros para los desarrollos horizontales.

Pca_i : Ponderador dado por la cantidad de actividad i requerida para completar el área representativa de $100 \times 100 \text{ m}^2$, en unidades de área/ unidad de la actividad. Ej: metros de desarrollo horizontal requeridos en el área en $[m^2/m]$.

P_{e_i} : Peso económico en porcentaje del costo de la actividad i para completar el área de $100 \times 100 \text{ m}^2$ con respecto al costo total para completar dicha área.

4.4.1.1.1. Conjunto de actividades que definen un área preparada

Los criterios utilizados para definir el conjunto de actividades requeridos para producir área preparada son los siguientes:

- Para cada sector de la mina El Teniente se va a definir un conjunto de diferentes actividades dependiendo de los requerimientos del layout que se presenten en el diseño de los distintos niveles.
- No se consideran las labores y construcción de desarrollo de túneles para llegar al cuerpo mineralizado como accesos principales hacia la mina.
- No se consideran las labores y construcción de infraestructura previa, como el barrio cívico, infraestructura de mantención, entre otros.
- Se realiza un conteo de todas las labores y actividades enmarcadas en un área de $100 \times 100 \text{ m}^2$ proyectada en todos los niveles para cada sector, de la misma forma indicada en la Figura 3.4-4. Dicha área se torna representativa ya que busca englobar la mayor cantidad de actividades.

Con lo anterior se definen las actividades por metro cuadrado de área preparada dividiendo el total de cada actividad por el total del área considerada.

Debido a la gran cantidad de actividades a realizar, la medición y el seguimiento de cada una resulta complejo y costoso en caso de contratar personal, por lo que, se escoge una serie acotada de trabajos en función de la incidencia económica con respecto al resto de las actividades, dichas actividades principales para el caso de El Teniente son las que han sido cuantificadas y medidas en el tiempo. Las actividades principales se resumen en los siguientes ítems:

- Desarrollos horizontales
 - Nivel de hundimiento: suma de metros lineales de conexiones y calles.
 - Nivel de producción: suma de metros lineales de calles y zanjas.
 - Subnivel de ventilación: suma de metros lineales de galerías o conexiones.
 - Nivel de acarreo o transporte: suma de metros lineales de galerías o conexiones.
- Desarrollos verticales
 - Nivel de producción: chimeneas pilotos en las bateas.
 - Subnivel de ventilación: chimeneas de ventilación.
 - Nivel de acarreo o transporte: chimeneas.

- Sistema de traspaso considera los siguientes ítems:
 - Punto de vaciado (25%)
 - i. Excavación y fortificación del punto de vaciado (50%)
 - ii. Construcción del punto de vaciado (50%)
 - Piloto de traspaso (8,4%)
 - Desquinche del pique (8,3%)
 - Blindaje interior del pique (8,3%)
 - Desquinche de la estación (8,3%)
 - Construcción de la estación (8,3%)
 - Montaje buzón (8,3%)
 - Habilitación del martillo y buzón (24%)
 - i. Instalación del sistema hidráulico (40%)
 - ii. Telecomando de martillo y buzón (50%)
 - iii. Puesta en marcha (10%)
 - Recepción final (1%)
- Puntos de extracción
- Construcción de muros
- Perforación radial
 - Nivel de hundimiento: suma de metros barrenados correspondientes para realizar el hundimiento.
 - Nivel de producción: suma de metros barrenados correspondientes para abrir las bateas.

**Los sistemas de traspaso se miden en unidades, en donde cada ítem suma un porcentaje a la medición (indicados al lado de cada actividad).*

**Cabe destacar, que no se considera la medición de carpeta de rodado por la poca información y datos con respecto a este ítem en el tiempo.*

4.4.1.2. Metodología de Cálculo de Cantidad de Obra (CO)

Según la definición de CO, se debe buscar un ponderador que lleve cada actividad a una cantidad de obra equivalente, para hacer dicha transformación se utilizará una equivalencia de acuerdo al peso o importancia que tenga cada actividad con respecto a una actividad en específico. El peso o importancia podría ser con respecto al costo o al tiempo de realizarlo en relación al resto de las actividades. A modo de simplificación se tomará en cuenta el lado económico y se dejará como supuesto que, a mayor costo, mayores son los requerimientos y mano de obra necesaria por actividad.

Un ejemplo de lo anterior es suponer que la actividad específica que se comparará cada actividad sea el metro lineal de desarrollo horizontal de sección de $4.2 \times 3.9 \text{ m}^2$ con

un costo de 2,829 USD. En consecuencia, un sistema de traspaso que cuesta 1.3 MUSD equivaldría a 460 metros lineales de desarrollo horizontal de la sección antes mencionada, si cada actividad realizada se pasa a dicha actividad se tiene una medida de la Cantidad de Obra en metros equivalentes.

Por lo tanto, para calcular CO se define un ponderador en base al peso económico. Dicho ponderador utiliza y fija los precios unitarios de cada actividad principal de las diferentes empresas contratistas para representar la Cantidad de Obra a través del gasto que se incurre en las actividades principales de manera estandarizada. Posterior a esto, se divide con respecto al costo de la actividad en específico a la cual se quiere transformar, obteniendo la Cantidad de Obra en dicha actividad equivalente.

La **Figura 4.4-3** esquematiza el cálculo de la Cantidad de Obras.

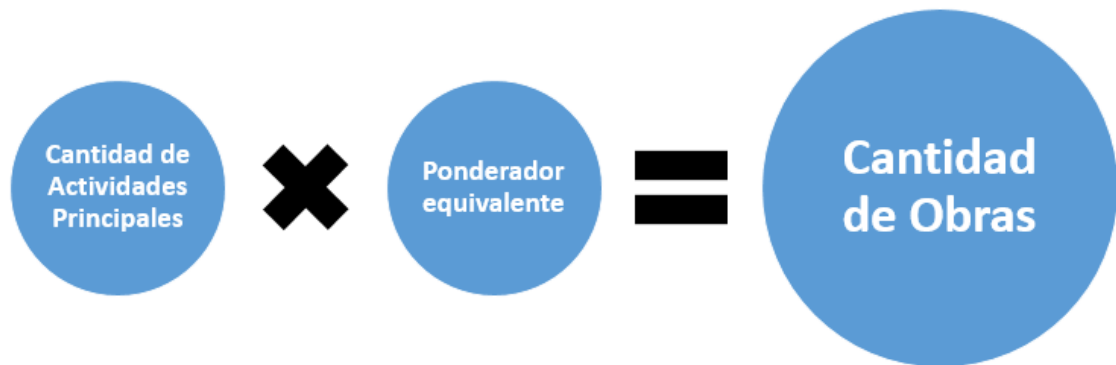


Figura 4.4-3 Esquema del cálculo de Cantidad de Obras.

En este trabajo se calculará la Cantidad de Obras en metros de desarrollo horizontal equivalentes a una sección de $4.2 \times 3.9 \text{ m}^2$ de costo de 2,829 USD.

La metodología para calcular la Cantidad de Obras en metros lineales equivalentes (sección $4.2 \times 3.9 \text{ m}^2$), está dada de acuerdo a la siguiente formulación:

$$CO \text{ en metros equivalentes} = \sum_i^n \frac{CA_i * Pec_i}{Pec_k}$$

Ecuación 4.4-2 Cálculo de Cantidad de Obra en metros equivalentes

Donde:

CA_i : Cantidad o medición física de la actividad i , medida en la unidad correspondiente de dicha actividad.

Pec_i : Peso económico en USD del costo de la actividad i .

Pec_k : Peso económico en USD del costo de la actividad k, en este caso de un desarrollo horizontal de sección de 4.2 x 3.9 m² a la cual se transformarán las demás actividades.

4.5. Índices de productividad en preparación minera

En base a las medidas que se determinaron anteriormente, se definen dos indicadores de productividad para llevar a cabo el cálculo y seguimiento de la productividad por el lado de la eficiencia de la preparación minera.

4.5.1. Índice del costo por metro cuadrado preparado

Con el fin de buscar la utilización de la totalidad de los recursos en base al producto que entrega al negocio minero, se define el indicador del costo por metro cuadrado equivalente que se prepara en el tiempo, a través de la siguiente fórmula:

$$\text{Índice de Productividad(1)}: \frac{\text{Gastos realizados por año}}{\text{Área Preparada Equivalente por año}} \left[\frac{\text{USD}}{\text{m}^2} \right]$$

Ecuación 4.5-1 Índice de productividad (1): costo por metro cuadrado.

Este indicador va a ser de utilidad para comparar el costo que se incurre con respecto al área preparada equivalente que se está realizando. Compararlo con el mismo sector en el tiempo va a indicar el gasto extra que se realiza en obras que no son consideradas las principales, relacionados con los supuestos del APE. Por otro lado, al compararlo con minas que presentan diferentes requerimientos de diseño, el indicador va a representar menores costos mientras menores sean los requerimientos del layout, es decir, va a señalar el grado de requerimientos que presenta un diseño del método de block/panel caving con respecto a otro.

4.5.2. Índice de la Cantidad de Obra en relación a la mano de obra

Este indicador busca representar la cantidad total de actividades equivalentes que se realizan en el tiempo, sin considerar los metros cuadrados que abarcan, en relación a la mano de obra, representada por la dotación del personal, a través de la siguiente fórmula:

$$\text{Índice de Productividad(2)}: \left[\frac{\text{Cantidad de Obra en metros equivalentes}}{\text{Hombre mes por año}} \right]$$

Ecuación 4.5-2 Índice de productividad (2): Cantidad de Obra por hombre mes por año.

Representa una herramienta para conocer la magnitud de obras realizadas, en relación a un recurso físico como la mano de obra, y compara con respecto a lo hecho por otras minas independiente del diseño o requerimientos. Todo lo anterior, sujeto a las consideraciones y supuestos para calcular la Cantidad de Obra, que mide dicha magnitud

a través de la representación en metros equivalentes de las demás actividades, a través del gasto que se incurre en las actividades principales de una forma estandarizada.

4.6. Conclusiones del capítulo

Las conclusiones asociadas a la metodología propuesta se enlistan a continuación:

- La definición de productividad en la preparación minera se enmarca en los conceptos de eficiencia y eficacia en la utilización de los recursos para lograr los objetivos planeados, por lo que el cálculo y seguimiento de la metodología propuesta se basa en ambos términos.
- La metodología propuesta aplica a proyectos de preparación minera en minería tipo Block/Panel Caving que lleven un control físico, financiero y dotacional de sus actividades, para generar los indicadores.
- Los indicadores de productividad generados, van a depender del grado de detalle de las actividades consideradas, es decir, mientras se consideren más actividades como principales y con un mayor grado de detalle, tanto el Área Preparada Equivalente como la Cantidad de Obras van a estar mejor representadas.
- El Área Preparada Equivalente va a depender de los requerimientos considerados en el volumen de control tomado y, va a existir variabilidad dependiendo del lugar donde se enmarque dicho volumen.
- La Cantidad de Obras tiene como supuesto fuerte que para cada actividad no existe diferencia de una con respecto a la otra. En consecuencia, es independiente de los requerimientos propios de cada sector a estudiar, es decir, un sistema de traspaso de una mina A vale la misma Cantidad de Obra que una mina B. Sin considerar, que una puede haber tenido un mayor largo o una mayor necesidad de hormigón. Además, se supone que a mayor costo de la actividad mayores son los requerimientos y personal necesario con respecto a las demás actividades.
- Finalmente, la metodología propuesta requiere de la medición de un indicador de eficiencia y eficacia, el primero por medio del porcentaje de cumplimiento de la preparación con respecto al programa anual y el segundo por medio de la relación entre lo producido, por medio de la Cantidad de Obra o Área Preparada Equivalente, y los recursos utilizados, ya sea mano de obra o gastos incurridos.

CAPÍTULO V

EVALUACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD EN MINA EL TENIENTE

En el siguiente capítulo se presenta la aplicación del método de cálculo y seguimiento de productividad en la preparación minera para los sectores de Esmeralda, Reservas Norte y Diablo Regimiento en la mina El Teniente, a través de la evaluación de los diferentes indicadores y métricas expuestas en el capítulo anterior.

En primer lugar, se presenta el resultado sobre los índices de productividad obtenidos, y posteriormente se desglosa cada uno de los términos utilizados para la medición de la producción y los recursos, detallando el cálculo y los supuestos considerados para el análisis del capítulo siguiente. Al final del capítulo se presentan los resultados obtenidos a nivel global para la División el Teniente.

5.1. Índices de productividad en preparación minera

Los índices de productividad anual utilizados para llevar el cálculo y seguimiento, se dividen de acuerdo a lo que se quiere medir, eficacia, por medio del cumplimiento físico del programa de Rev. B y la eficiencia, a través del costo por metro cuadrado preparado y la Cantidad de Obra en metros equivalentes por el personal utilizado, los resultados obtenidos se detallan a continuación:

5.1.1. Índice de eficacia en la preparación minera

Para medir la obtención de las metas en la preparación minera se utilizan diversos indicadores con respecto al programa con el que se quiere comparar. De acuerdo a los antecedentes existen diversos programas para planificar las obras que se van a realizar cada año. Para llevar el seguimiento de la eficacia se utiliza el programa de revisión B que es el plan anual que está detallado en forma mensual y que a diferencia del programa de control es el que corresponde al del año sin las ordenes de cambio que se van dando en el camino por las dificultades que presentan en la construcción.

La Tabla 5.1-1 presenta el porcentaje de cumplimiento físico de obras con respecto al programa de revisión B que ha tenido cada sector en estudio desde el año 2011 al 2015.

Tabla 5.1-1 Cumplimiento físico de obras con respecto al programa de revisión B

Control físico de avance con respecto al Revisión B					
Año	2011	2012	2013	2014	2015
Esmeralda	87%	85%	96%	94%	97%
Reservas Norte	65%	73%	83%	90%	68%
Diablo Regimiento	141%	97%	97%	86%	85%

5.1.2. Índice de eficiencia en la preparación minera

5.1.2.1. Índice de productividad del costo por metro cuadrado preparado

De acuerdo a los datos obtenidos de los gastos incurridos por año junto al cálculo del Área Preparada Equivalente que se detallarán más adelante, se tiene la Tabla 5.1-2 que muestra los resultados del índice desde el año 2012 hasta el 2015.

Tabla 5.1-2 Índice de productividad en costo por área preparada equivalente para los diferentes sectores en el tiempo.

Índice de Productividad en [USD/m ²]				
Sector	2012	2013	2014	2015
Esmeralda	2,220	2,542	2,399	2,376
Reservas Norte	2,605	2,309	4,166	3,991
Diablo Regimiento	1,698	2,326	2,287	2,192

Para conocer el desempeño de cada sector en el tiempo, los resultados son comparados con el valor presupuestado, obtenido mediante la suma de todos los gastos que se incurren en las actividades de un área proyectada dada, tal como se menciona en la sección de antecedentes. La Tabla 5.1-3 resume estos valores. Los cuales difieren entre sí debido a las diferencias en los requerimientos de cada nivel junto a los costos complementarios que se incurren en cada caso.

Tabla 5.1-3 Costo por área preparada según el presupuesto al año 2015, para los diferentes sectores.

Sector	Esmeralda	Reservas Norte	Diablo Regimiento
[USD/m ²]	2,584	2,729	1,784

El Gráfico 5.1-1 presenta los indicadores por medio de la línea amarilla, comparándose con la línea roja que representa el costo por área preparada presupuestado para cada sector, además, se agrega en el gráfico, el gasto incurrido por año representado por medio de barras.

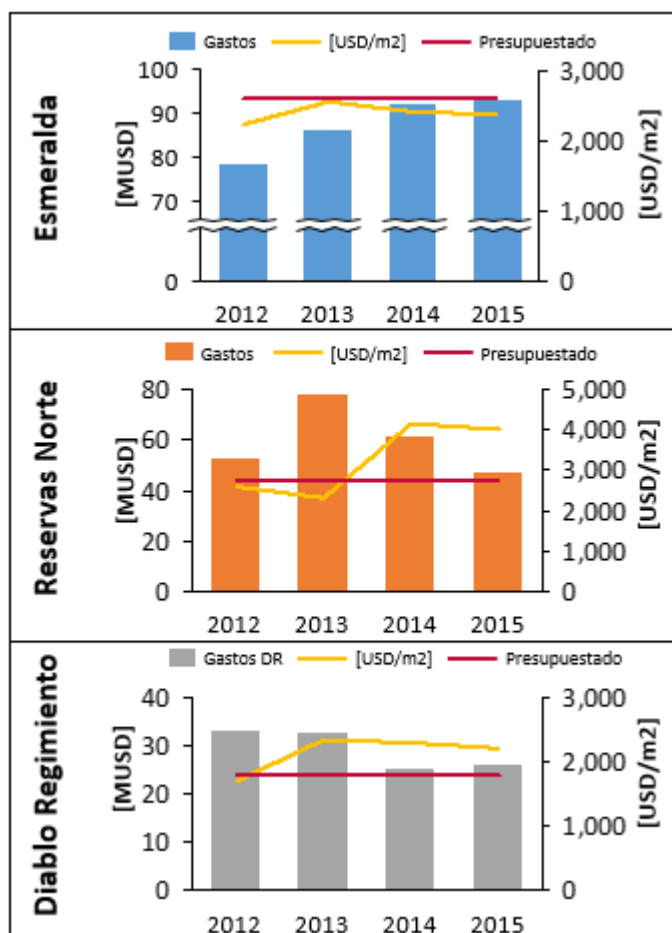


Gráfico 5.1-1 5.1-1 Índice de productividad en base a los costos por área preparada equivalente, junto con los gastos incurridos por sector en el tiempo.

De acuerdo a los resultados se observa que:

- Esmeralda: presenta valores similares y menores que el presupuestado entre los 2,220 y 2,542 USD/m².
- Reservas Norte: existe un fuerte cambio del año 2013 al año 2014 aumentando el índice de 2,309 [USD/m²] a 4,166 [USD/m²], manteniéndose alto al año 2015 en 3,991 [USD/m²] lo cual indica un aumento en los costos por metro cuadrado preparado equivalente en un 80% con respecto al año 2013, lo cual indica una fuerte alza en la preparación de área.
- Diablo Regimiento: se obtiene un valor similar al presupuestado para el año 2012, aumentando en un 37% al año 2013, manteniéndose similar para los siguientes años por sobre el presupuestado en unos 500 USD por metro cuadrado de área equivalente.

Además, se observa que tanto el sector de Esmeralda y Diablo Regimiento han disminuido el valor del índice de productividad desde el año 2013 al año 2015, lo que se traduce en un menor costo por metro cuadrado en dichos años.

5.1.2.2. Índice de productividad de la Cantidad de Obra en relación a la mano de obra

El Gráfico 5.1-2 representa los indicadores por medio de la línea negra punteada, y las barras la dotación mensual promedio por año.

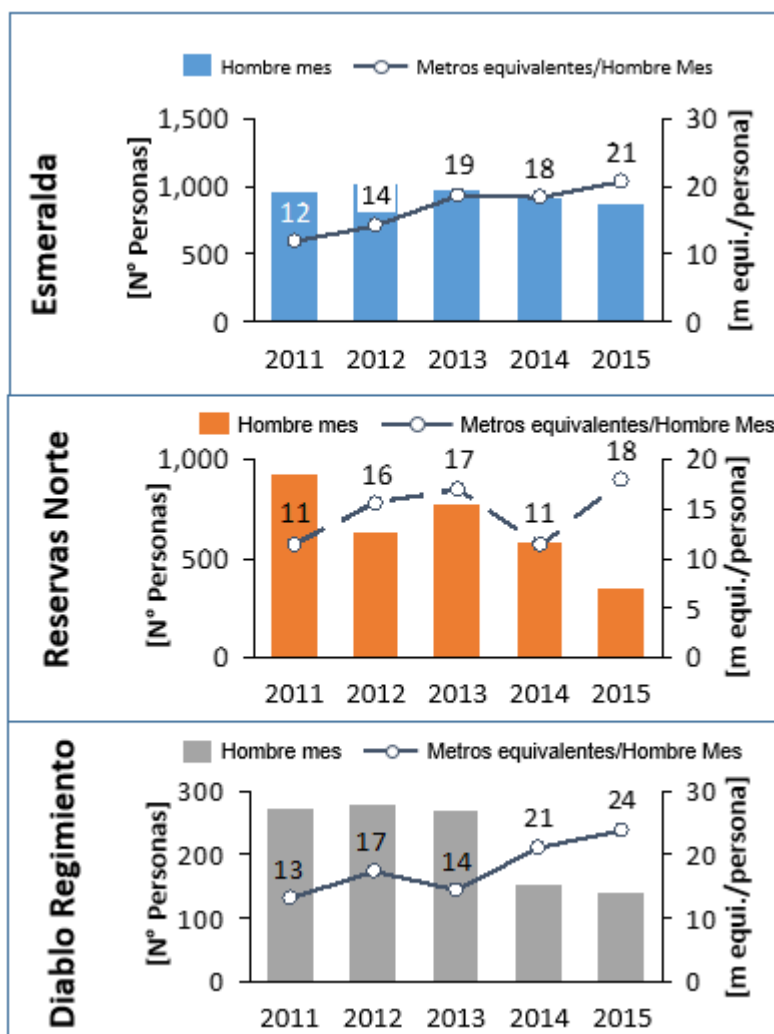


Gráfico 5.1-2 Índice de productividad en base a la Cantidad de Obra por hombre mes, junto con la dotación mensual promedio al año por sector en el tiempo

En base a los resultados se tiene que:

- Esmeralda: presenta un aumento constante en el valor del indicador, debido principalmente a que el personal por mes ha ido levemente a la baja, mientras que

se realiza una mayor Cantidad de Obra, por lo que existe una mayor utilización de la mano de obra en el tiempo.

- Reservas Norte: el indicador presenta una tendencia al alza alcanzando su peak al año 2013 y luego cae bruscamente en el año 2014, repuntando al año 2015.
- Diablo Regimiento: presenta un pequeño peak el año 2012 con un valor del indicador de 17 metros equivalentes de Cantidad de Obras por persona, para posteriormente mantenerse sin grandes variaciones y con un alza considerable para los últimos dos años llegando a un indicador de 24 metros equivalentes por persona.

En resumen, con los dos indicadores se detecta que: en Esmeralda, la eficiencia ha aumentado en promedio un 12 % cada año, en relación a la Cantidad de Obras que aporta cada persona al año, además presenta un buen desempeño en el tiempo con un menor costo por metro cuadrado con respecto a lo presupuestado; en Reservas Norte, existe una baja considerable para el año 2014 en el aporte por persona de Cantidad de Obra y un aumento en el costo por metro cuadrado en los últimos dos años; y para Diablo Regimiento existe una diferencia entre ambos indicadores, en donde gracias al primero se observa que ha presentado un costo por metro cuadrado mayor al presupuestado en los años, mientras que el segundo indica que ha mantenido un constante aumento en la eficiencia por medio del aporte de la Cantidad de Obra por persona.

Para entender de mejor manera las variaciones de ambos indicadores, hay que observar cada uno de los parámetros involucrados en su formulación.

5.2. Recursos de la preparación minera

Los recursos considerados para el cálculo de los indicadores se separan en dos:

1. Gastos incurridos por año
2. Mano de obra

El Gráfico 5.2-1 resume el gasto incurrido por año para cada uno de los sectores en estudio desde el año 2012 al año 2015, llevados a una moneda base al año 2015 para que sean comparables. Del gráfico se desprende que el orden de gastos incurridos en cada sector de mayor a menor corresponde a Esmeralda, Reservas Norte y Diablo Regimiento, respectivamente, debido principalmente por el tamaño de cada una de las minas.

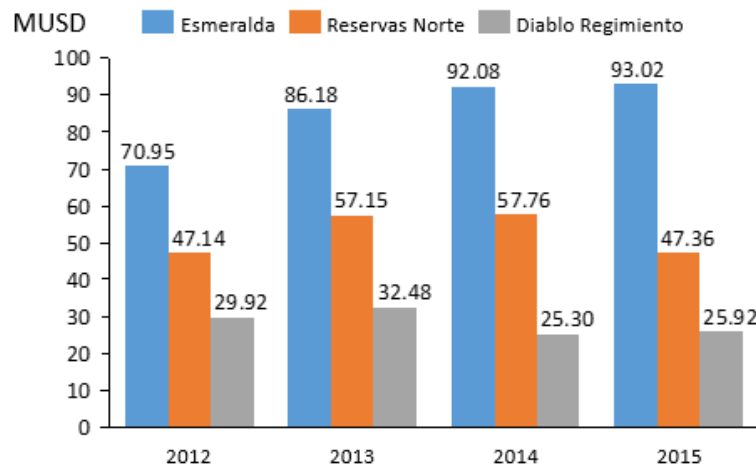


Gráfico 5.2-1 Gastos incurridos por año en MUSD

La mano de obra, representada por la dotación mensual promedio por año para cada uno de los sectores se ilustra en el Gráfico 5.2-2, donde se observa que la mayor dotación utilizada se encuentra en Esmeralda, seguido de Reservas Norte y en menor medida Diabla Regimiento.

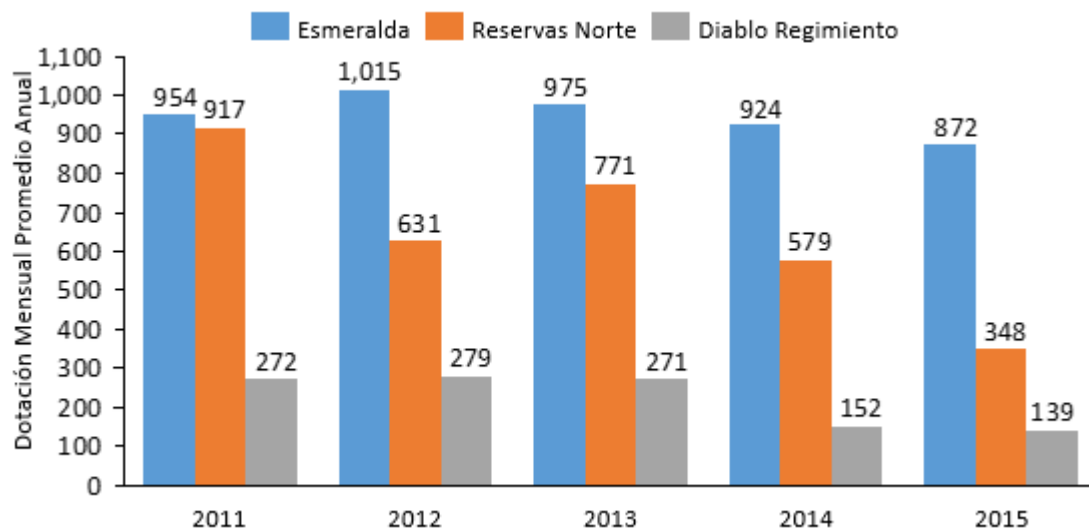


Gráfico 5.2-2 Dotación mensual promedio al año del personal para los diferentes sectores

Con el fin de conocer mayor detalle de los gastos incurridos se dividieron en 5 ítems:

- Gastos Secundarios: Corresponde a los costos que no están relacionados directamente con las actividades principales de construcción, como la administración y gastos financieros.

- Reparaciones: Corresponde a los cobros por obras que se tienen que re hacer debido a que no quedaron de acuerdo a los estándares de calidad establecidos.
- Adquisiciones: Corresponde a los gastos por términos de compra de bienes o servicios.
- Ingeniería: Corresponde a los gastos por los servicios de ingeniería.
- Construcciones EE.CC: Corresponde a los cobros por las empresas contratistas por las obras de preparación minera.

A continuación, se detalla el gasto incurrido por cada mina por separado en el Gráfico 5.2-3, Gráfico 5.2-4 y Gráfico 5.2-5. A modo general, el mayor gasto se encuentra en la realización de las actividades de construcción por las empresas contratistas con una media de 80%, llevándose el 20% restante los gastos en ingeniería, adquisiciones y reparaciones. Los gráficos, además, presentan a través de una línea, la dotación en el tiempo por cada sector, con el fin de ver la comparación entre ambos términos.

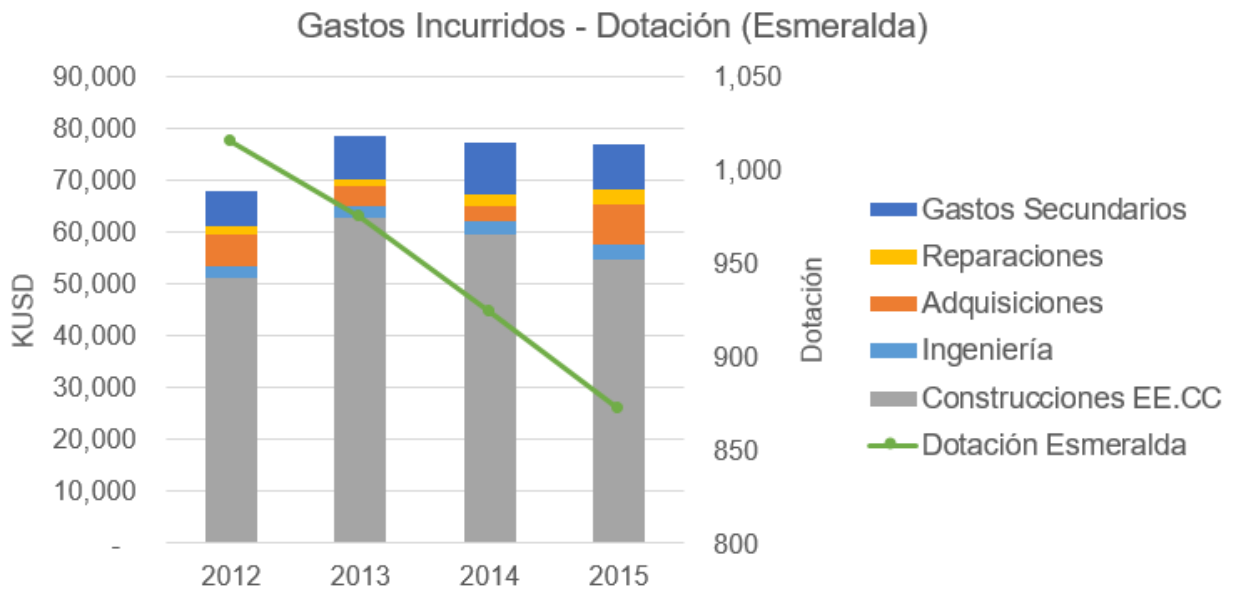


Gráfico 5.2-3 Detalle del gasto incurrido y dotación de Esmeralda

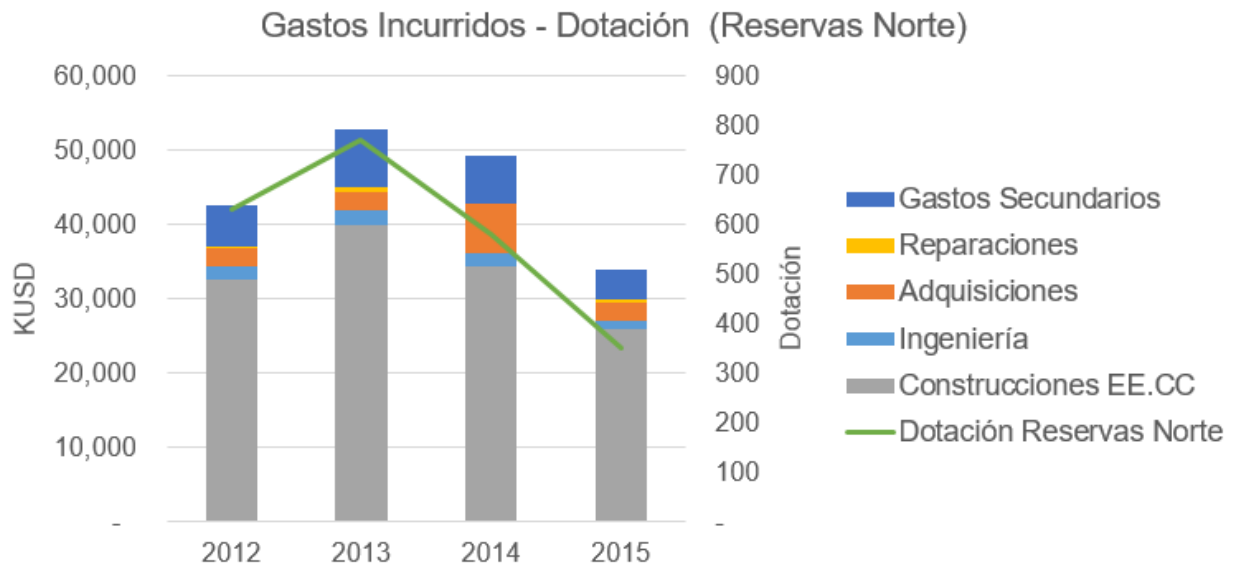


Gráfico 5.2-4 Detalle del gasto incurrido y dotación de Reservas Norte

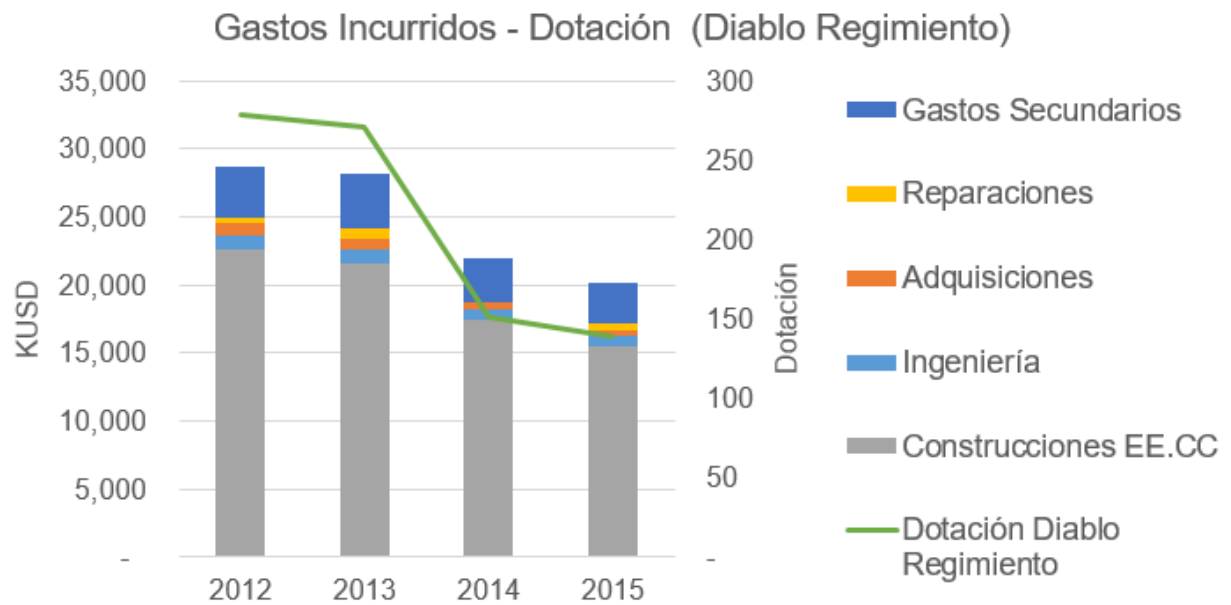


Gráfico 5.2-5 Detalle del gasto incurrido y dotación de Diablo Regimiento

Finalmente, se puede decir que la representación de los recursos utilizados tanto en los gastos incurridos como por la dotación mensual promedio al año para cada uno de los sectores presentan cierta correlación en el sentido que existe una mayor necesidad de recursos, tanto en dinero como en personal, para Esmeralda, seguido de Reservas Norte y en menor medida para Diablo Regimiento. Cabe destacar, que dado los alcances del trabajo solo se pudieron obtener la dotación desde el año 2011 y los gastos incurridos desde el 2012 hasta el año 2015.

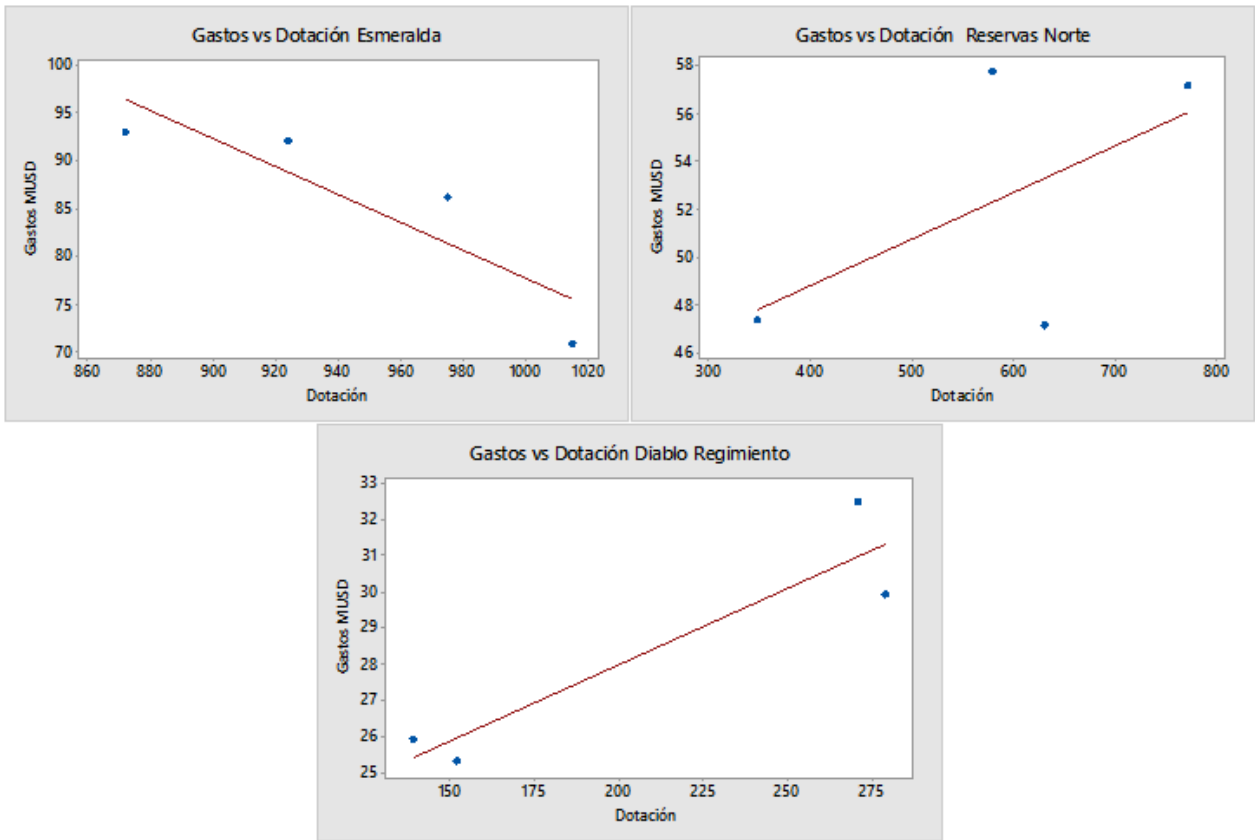


Gráfico 5.2-6 Gastos vs Dotación en cada sector

Por otro lado, si se comparan los gastos de cada sector versus la dotación se tiene que existe correlación positiva en los sectores de Reservas Norte y Diablos Regimiento, mientras que, para Esmeralda, la correlación es negativa, es decir, que se han presentado mayores gastos y requerido una menor cantidad de personal. Lo anterior se observa en el Gráfico 5.2-6.

5.3. Medición de la producción en preparación minera en el tiempo

El control físico sobre el avance de las obras se realiza mediante la medición por separado de las actividades que presentan mayor incidencia económica. La medida de producción de la preparación minera en el tiempo busca representar el desarrollo de cada una de las actividades en su conjunto.

A continuación, se detalla el control físico de las actividades principales para Esmeralda, Reservas Norte y Diablos Regimiento desde el año 2006 al año 2015.

Exponer la medida de cada una de las actividades por separado entrega una idea del volumen de actividades que se realiza cada año por sector. Por ejemplo, la mina Esmeralda realiza en promedio unos 6,000 metros de desarrollo horizontal, 1,600 metros de desarrollo vertical, sobre 80 puntos de extracción y 10 sistemas de traspaso al año.

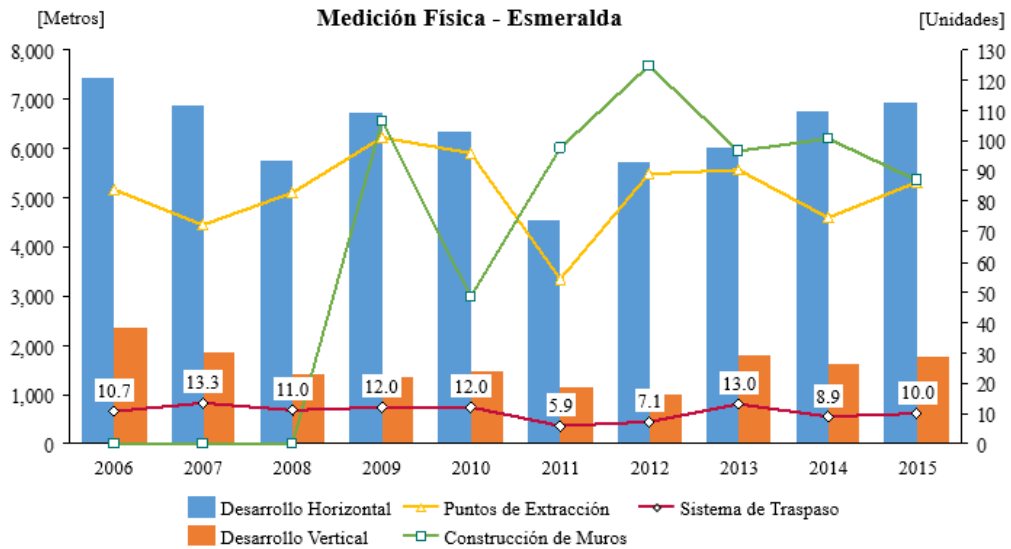


Gráfico 5.3-1 Medición física de actividades principales de Esmeralda desde el año 2006 al año 2015.

Reservas Norte, con una mayor variabilidad en la cantidad de actividades, realiza en promedio al año unos 3,000 metros de desarrollo horizontal, 900 metros de desarrollo vertical, sobre 60 puntos de extracción y unos 5 sistemas de traspaso.

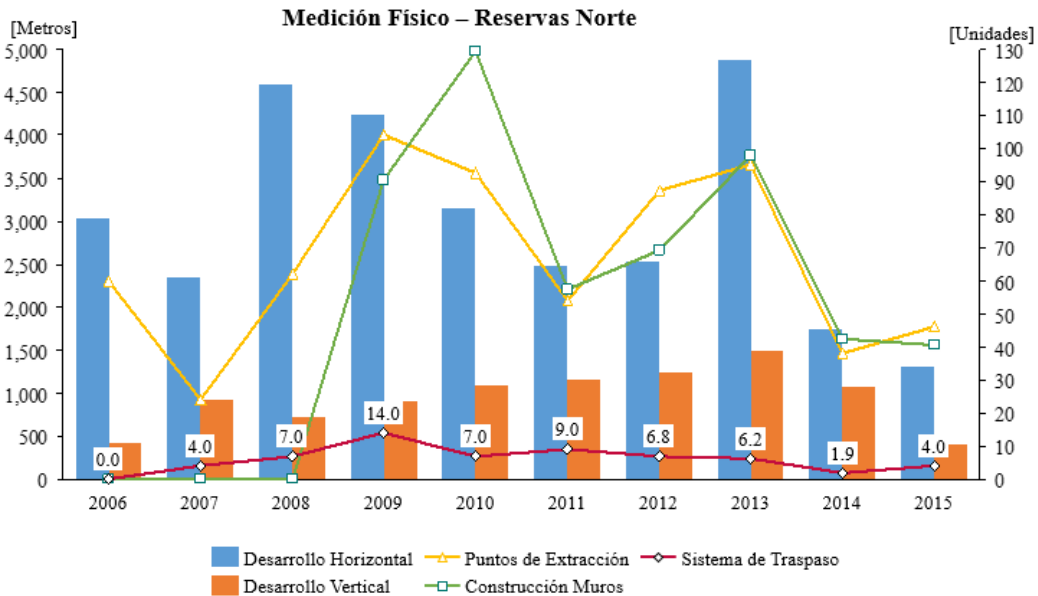


Gráfico 5.3-2 Medición física de actividades principales de Reservas Norte desde el año 2006 al año 2015.

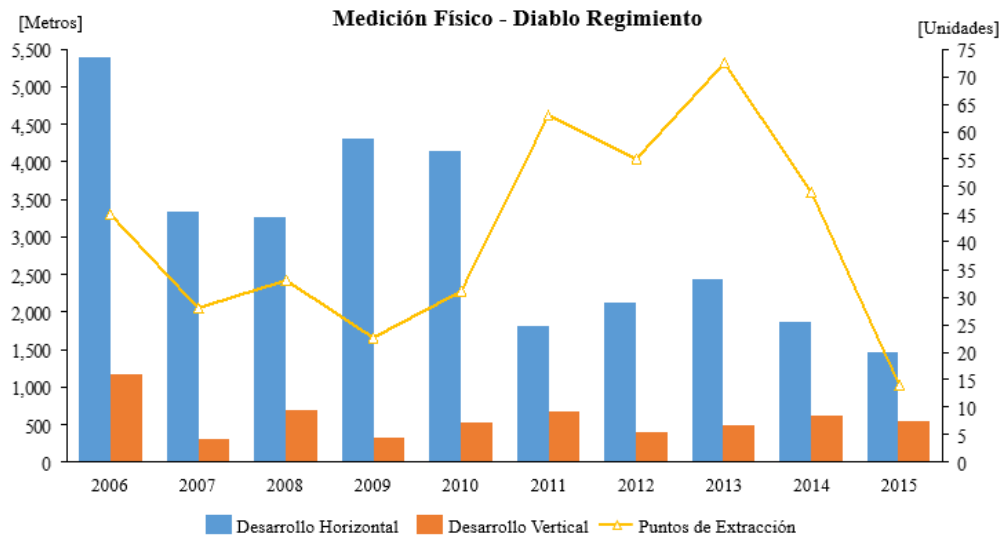


Figura 5.3-1 Medición física de actividades principales de Diabolo Regimiento desde el año 2006 al año 2015.

Diabolo Regimiento por su parte, se puede dividir, al menos para el desarrollo horizontal, en dos periodos, desde el año 2006 al 2010 en promedio realizó 4,000 metros, mientras que para el segundo periodo del año 2011 al 2015 unos 1,900 metros, bajando considerablemente la cantidad. En cuanto a los puntos de extracción, el primer periodo fue de 30 unidades mientras que para el segundo de unas 50. Finalmente, en el desarrollo vertical se mantuvo constante por sobre los 500 metros.

A modo resumen, por medio de la medición de las principales obras se observa que el sector que presenta una mayor construcción de obras es Esmeralda, seguido a Reservas Norte y por último Diabolo Regimiento quien no presenta obras relacionadas al Nivel de Acarreo como los sistemas de traspaso y tampoco construcción de muros.

5.3.1. Área Preparada Equivalente

Los resultados obtenidos de Área Preparada Equivalente en el tiempo, se resumen en el Gráfico 5.3-3 que indica que donde se prepara una mayor cantidad de área es en Esmeralda a diferencia de Diabolo Regimiento y Reservas Norte, quienes entre ellos presentan diferencias menores. Por otro lado, se tiene que para el año 2011 se generó la menor cantidad de Área Preparada Equivalente, mientras que para el año 2009 la mayor para todos los sectores.

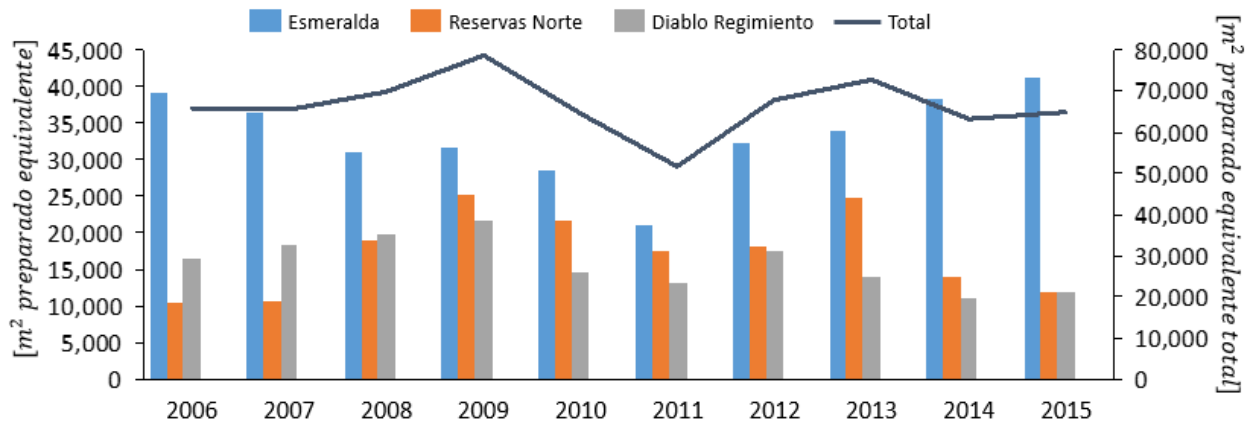


Gráfico 5.3-3 Área preparada equivalente en los diferentes sectores en el tiempo.

5.3.1.1. Conjunto de actividades que definen un área preparada

Para definir el conjunto de actividades que generan área preparada, se realizó en primer lugar un catastro del total de las labores requeridas para completar el área de 100 x 100 m², en los diferentes sectores. La Tabla 5.3-1 muestra el detalle de las obras y la cantidad requerida por sector en cada uno de los niveles.

Tabla 5.3-1 Cantidad de obras en un área de 100 x 100 m² requeridas en cada sector

Actividades	Cantidad requerida por sector			
	Diablo Regimiento	Esmeralda Sur	Reservas Norte	
Nivel de Hundimiento				
Desarrollo de calles	m	300	668	327
Desarrollo de zanjas	m	440	262	607
Pre-acondicionamiento	U	5	6	6
Perforación de socavación	m	9,000	15,000	12,892
Tronadura de socavación	m ²	10,000	10,000	10,000
Vaciadero de marinas	U	1	-	1
Carpeta de Rodados	m	-	200	-
Nivel de Producción				
Desarrollo de calles	m	300	338	328
Desarrollo de zanjas	m	505	510	540
Fortificación intersecciones	U	15	17	18
Fortificación pilares (muros)	U	30	34	36
Construcción de puntos de extracción	U	30	34	36
Desquinche y construcción puntos de vaciado (martillos)	U	-	3	3
Carpeta de Rodados	m	600	678	688
Desarrollo de chimeneas piloto	m	209	247	252
Desquinche, fortificación y blindaje pique traspaso	U	-	3	3
Perforación de bateas	m	26,489	37,060	37,620
Tronadura de bateas	U	15	17	18
Brocales de chimeneas de ventilación	U	2	4	4
Subnivel de Ventilación				
Desarrollo de galerías (cruzados)	m	116	133	116
Desarrollo de chimeneas	m	64	120	160
Construcción y montaje ventiladores	U	4	3	4
Salas eléctricas para ventiladores	U	1	2	-
Nivel de Transporte				
Desarrollo de galerías (cruzados)	m	-	100	100
Desarrollo de chimeneas	m	-	75	75
Construcción vía férrea	m	-	100	-
Excavación y fortificación buzones (tronco)	U	-	3	3
Construcción y montaje buzones (tronco)	U	-	3	3
Fortificaciones especiales	m	-	100	-
Carpeta de rodado	m	-	-	150
Habilitación hidráulica buzón	U	-	3	3

Por otro lado, las actividades principales consideradas corresponden a las que han sido medidas históricamente por la División para llevar el seguimiento del avance físico de los proyectos. Medirlo por medio de actividades principales, deja de lado ciertos detalles del diseño que requiere cada sector. Por ejemplo, los desarrollos horizontales para el nivel de hundimiento de la mina Esmeralda, considera desarrollos de sección de 3.6 x 3.6 m², 4.0 x 4.0 m² y otras secciones que son sumadas por igual como desarrollos horizontales para dicho nivel. Misma actividad para la mina Reservas Norte, considera desarrollos horizontales de sección 4.0 x 4.6 m², 3.0 x 3.8 m², 3.6 x 3.6 m² y otras secciones, que también son sumados por igual como la actividad de desarrollo horizontal.

La Tabla 5.3-2 indica el porcentaje del costo de las actividades principales con respecto a todas las actividades para realizar el área representativa de 100x100 m², mostrando el porcentaje total que abarca para cada uno de los sectores.

Tabla 5.3-2 Porcentaje del costo real del año 2015 de las actividades principales con respecto al total en el área de 100x100m².

Actividades	Nivel	Diablo Regimiento	Esmeralda	Reservas Norte
Desarrollo Horizontal	NH	18.24%	13.88%	13.95%
	NP	23.58%	15.01%	13.08%
	NA	-	3.11%	2.58%
	SNV	4.77%	2.75%	2.14%
Desarrollo Vertical	NP	6.07%	4.88%	5.03%
	NA	-	1.50%	1.50%
	SNV	1.96%	2.40%	3.19%
Puntos de Extracción	NP	9.42%	7.81%	8.01%
Construcción Muros	NP	-	6.52%	6.60%
Sistema de Traspaso	NA	-	10.18%	11.96%
Perforación Radial	NH	2.42%	2.78%	2.69%
	NP	7.01%	6.83%	7.79%
Total		73.47%	77.65%	78.53%

En resumen, se tiene que las actividades principales abarcan entre el 70 al 80% de los gastos en construcción para completar la preparación minera. Por lo que, a modo de simplificación se deja de lado la medición de las demás actividades que involucran el 20% restante.

5.3.1.2. Ponderador de cantidad de actividades y peso económico en porcentaje

El ponderador por actividad para convertir la cantidad de obras realizadas en metros cuadrados de Área Preparada Equivalente se detallan en la Tabla 5.3-3.

El peso económico se realiza en relación a las mismas actividades principales, La comparación entre los pesos económicos por actividad muestra la similitud que existe

entre los sectores de Esmeralda y Reservas Norte. Mientras que para Diablo Regimiento se redistribuyen los porcentajes, generando actividades con mayores pesos, debido a que no presenta ciertas actividades como la construcción de muros y los sistemas de traspaso. Lo anterior, queda representado en el Gráfico 5.3-4, realizado en base a la Tabla 5.3-2.

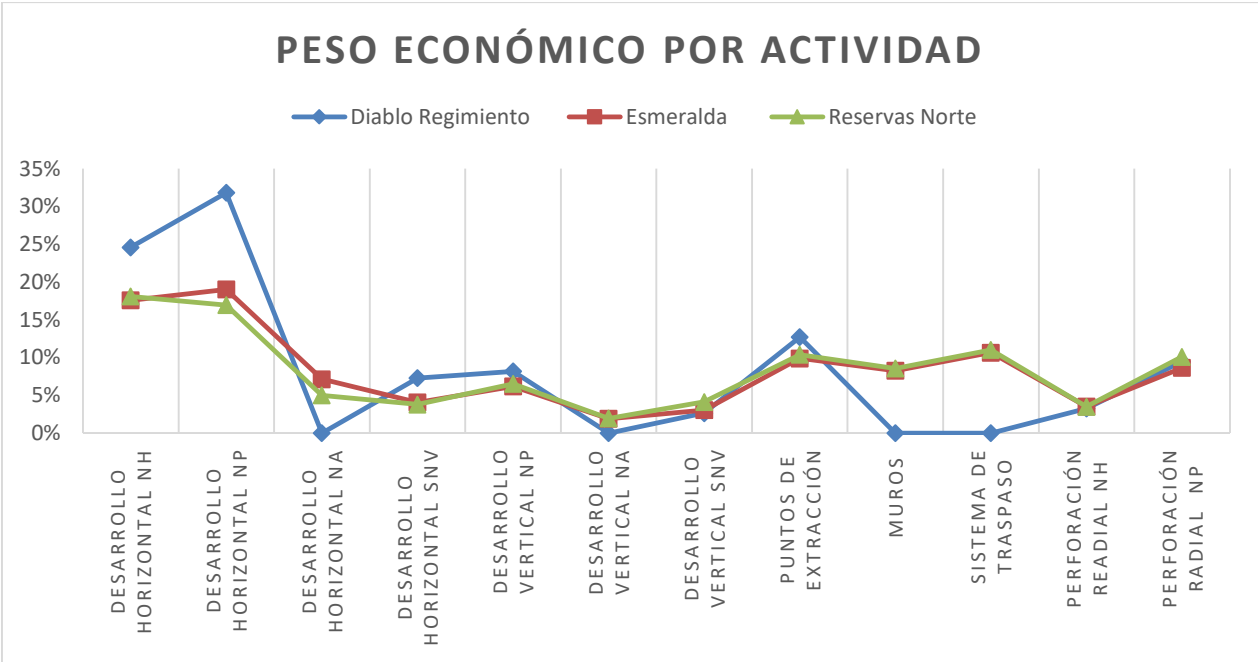


Gráfico 5.3-4 Ponderador con respecto al peso económico por actividad para las 3 minas.

El porcentaje del peso económico y el ponderador de la cantidad necesaria por cada actividad son mostrados en la Tabla C-0-1 (Anexos) y se obtienen gracias a los valores de la Tabla C-0-2 y Tabla C-0-3 (Anexos). A continuación, se muestra los valores del ponderador final obtenido de acuerdo a la metodología de cálculo presentada anteriormente.

Tabla 5.3-3 Ponderador final por actividad para transformar Área Preparada Equivalente en cada sector.

Actividades	Nivel	Unidad	Diablo Regimiento	Esmeralda	Reservas Norte
Desarrollo Horizontal	NH	[m ² /m]	3.33	1.89	1.94
	NP	[m ² /m]	3.95	2.24	1.95
	NA	[m ² /m]	0.00	7.15	5.00
Desarrollo Vertical	SNV	[m ² /m]	6.29	3.07	3.26
	NP	[m ² /m]	3.92	2.51	2.59
	NA	[m ² /m]	0.00	2.54	2.59
Puntos de Extracción	SNV	[m ² /m]	4.12	2.54	2.59
Construcción Muros	NP	[m ² /U]	42.38	29.13	28.85
Sistema de Traspaso	NP	[m ² /U]	0.00	24.30	23.78
Perforación Radial	NA	[m ² /U]	0.00	355.54	367.66
	NH	[m ² /mb]	0.04	0.02	0.03
	NP	[m ² /mb]	0.04	0.02	0.03

De acuerdo a los resultados del ponderador final, se obtiene que cada actividad equivale a un valor distinto dependiendo del sector que se esté midiendo. Diablo Regimiento presenta los ponderadores de mayor valor debido a que presenta menores requerimientos para realizar la misma cantidad de metros cuadrados, por lo que, la misma obra va a equivaler más área preparada. Mientras que, para los sectores de Esmeralda y Reservas Norte, los valores son parecidos. Por otro lado, se puede observar que de acuerdo al peso económico y a la cantidad de actividades que requiera el área de 100x100 m² considerada existen actividades que ponderan mucho más que otras, como es el caso del sistema de traspaso.

5.3.2. Cantidad de Obra

La Cantidad de Obra obtenida por cada uno de los sectores se presenta en el Gráfico 5.3-5. A modo general se obtiene un mayor valor para Esmeralda, seguido de Reservas Norte y el menor valor para Diablo Regimiento, a diferencia del Área Preparada Equivalente que es similar para estos últimos dos sectores.

Por otro lado, para Esmeralda el menor valor se encuentra en el año 2011 y 2012 y el mayor para el 2015; para Reservas Norte en los años 2006, 2007, 2014 y 2015 están los menores valores y el año 2009 y 2013 los mayores; en Diablo Regimiento, los menores fueron en los años 2014 y 2015 y los mayores 2008 y 2009. En este sentido, no existe una similitud o concordancia con respecto a los máximos y mínimos valores de este indicador entre los diferentes sectores.

Cantidad de Obras en metros equivalentes por año

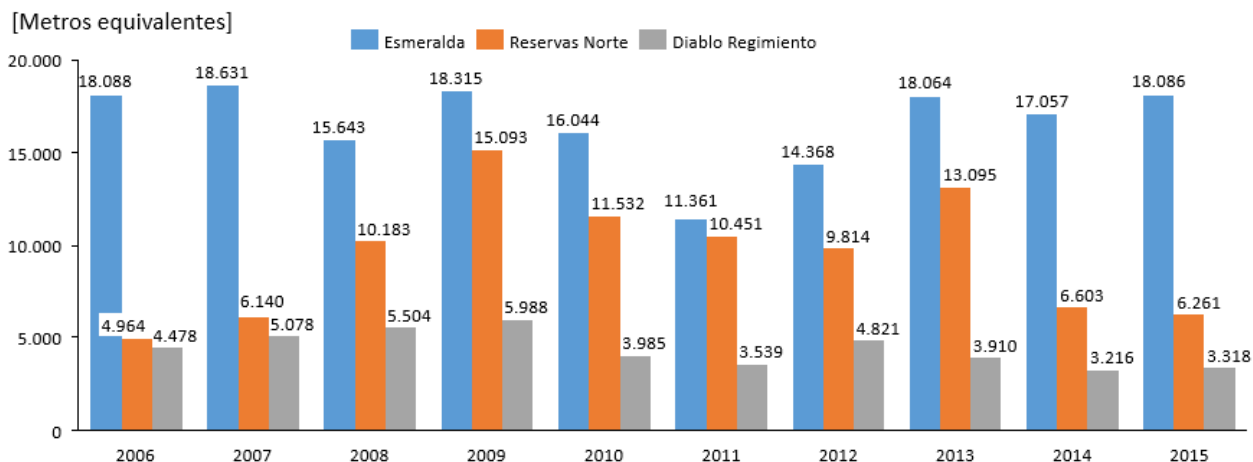


Gráfico 5.3-5 Cantidad de Obra en los diferentes sectores en el tiempo.

5.3.2.1. Ponderador de equivalencia en base al peso económico

Considerando que los datos que se tienen de las mediciones históricas del avance físico son de las actividades principales, que obvian el detalle de diseño de cada una, se busca generar un ponderador que represente de mejor manera la equivalencia entre las diferentes obras. A modo de simplificación, se construye por medio del lado económico, con respecto a los precios unitarios.

Se realizó un catastro del detalle de cada actividad principal, por ejemplo, las secciones de desarrollo horizontal que se realizan, luego, se calculó el promedio de los precios unitarios de los diferentes sectores y empresas contratistas. Obteniendo finalmente el precio promedio de cada ítem considerada como actividad principal.

La Tabla C-0-3 (Anexos) muestra el detalle que considera las actividades principales, y el ponderador en USD utilizado se resume en la Tabla 5.3-4, en base al costo unitario promedio. Finalmente, se tiene por ejemplo que 1 metro de desarrollo horizontal para en nivel de hundimiento equivale a 2,655 USD de Cantidad de Obra, para todos los sectores por igual. Estos costos serán los utilizados para realizar el cálculo de equivalencia de cada actividad principal a una unidad equivalente de Cantidad de Obras expresadas en metros lineales de desarrollo horizontal de sección de $4.2 \times 3.9 \text{ m}^2$ con costo de 2,829 USD. Por lo tanto, 1 metro de desarrollo horizontal en el nivel de hundimiento equivale a 0.94 metros equivalentes.

Tabla 5.3-4 Costos utilizados para realizar la equivalencia a la Cantidad de Obras en metros lineales.

Actividad	Nivel	Unidad	Precio Promedio Unitario [USD]
Desarrollos Horizontales	NH	m	2,655
	NP	m	2,945
	SNV	m	4,693
	NA	m	3,516
Desarrollo Vertical	Todos	m	3,425
Puntos de Extracción	NP	U	25,624
Construcción de Muros	NP	U	30,594
Perforación Radial	NH	m	31
Perforación Radial	NP	m	31
Sistema de Traspaso	NP, NA	U	1,311,515

5.4. Resultados obtenidos a nivel global en la División El Teniente

Utilizando la misma metodología para cada uno de los sectores en estudio se midió la Cantidad de Obras en el tiempo a nivel global para la División desde el año 2006 hasta el 2015. El Gráfico 5.4-1 muestra los resultados obtenidos y agrega la cantidad de personal utilizada en cada año. No se calculó el Área Preparada Equivalente debido a que la metodología de cálculo no lo permite para toda la División, debido a la gran cantidad de sectores con diferentes layout y requerimientos por lo que ese cálculo se deja solo para los 3 sectores en estudio.

Los datos sobre las mediciones físicas anuales de la cantidad de actividades por separado para el periodo del 2006 - 2015 se presentan en la **Tabla D-0-4** de la sección de Anexos.

Del gráfico se desprende que existe una clara tendencia a la baja en la utilización del recurso mano de obra, donde la dotación ha disminuido de 2,875 personas al año 2006 llegando a 2,060 para el año 2015. Por otro lado, para la Cantidad de Obra en metros equivalentes, no existe una tendencia clara, habiendo años con mayor valor como el año 2009 y 2015 y otros con menores como el 2006 y 2014, existiendo una correlación con los años en que se incurrieron más o menos gastos.

Por otro lado, la evolución del grado de productividad que ha tenido la División en el tiempo se representa en el Gráfico 5.4-2, por medio del indicador del porcentaje del

cumplimiento de las metas, representando la eficacia, y a través del indicador de eficiencia que mide la Cantidad de Obras por persona.

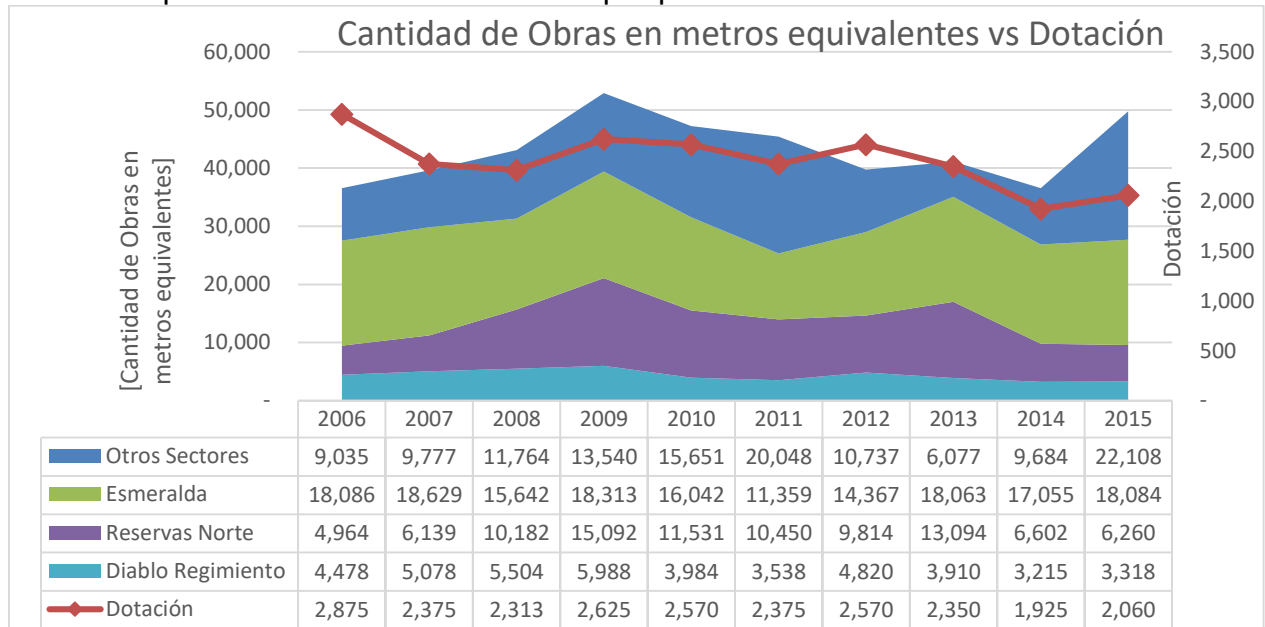


Gráfico 5.4-1 Cantidad de Obras vs Dotación para la División El Teniente

Los resultados entregan que ha existido un alto grado de eficacia en los últimos 10 años, en donde en solo 3 años ha existido un porcentaje de cumplimiento menor al 90% y todo el resto ha estado por sobre este valor. En cuanto a la eficiencia, desde el año 2006 al año 2015 ha habido un aumento progresivo, existiendo valores peaks para el año 2009 y 2015 y una baja considerable del año 2011 al año 2012.

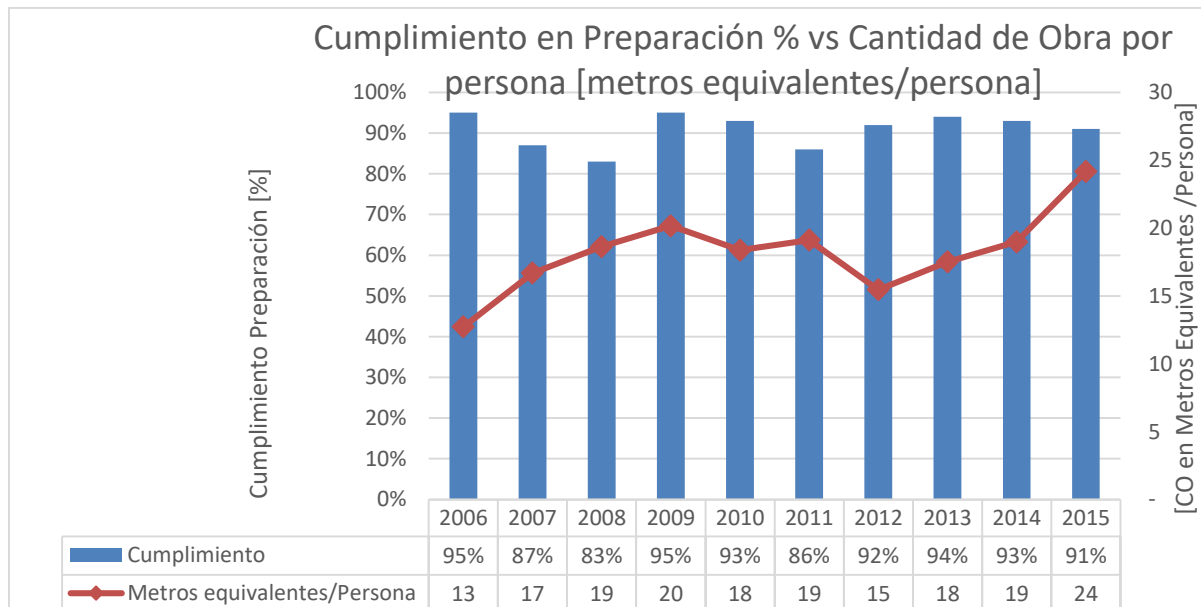


Gráfico 5.4-2 Cumplimiento en preparación en % vs Cantidad de Obra por persona

5.5. Conclusiones del capítulo

Las conclusiones más relevantes de los resultados del cálculo y seguimiento de productividad para el caso de estudio en la mina El Teniente son:

- El indicador de Área Preparada Equivalente es útil para cuantificar el avance de área que se genera en el tiempo. Sin embargo, no da cuenta del área efectiva en producción.
- El indicador de Cantidad de Obras sirve para cuantificar la magnitud de obras en conjunto que se están realizando en el tiempo.
- La construcción de los indicadores de Área Preparada Equivalente y Cantidad de Obra dependen de la información que se tiene disponible. Podrían generarse con un mayor detalle, abarcando una mayor cantidad de actividades que participan de la preparación minera.
- La medida de productividad por medio del indicador de costo por metro cuadrado preparado equivalente es útil para comparar minas con requerimientos similares o la misma mina en el tiempo. Se genera complicaciones a la hora de comparar entre minas diferentes, debido a la fuerte influencia de los requerimientos del layout para construir el indicador y, por ende, no necesariamente una mina que presente mayor área preparada equivalente es porque realizó un mayor volumen de obras, sino que puede ser debido a que simplemente requiere menos obras para la misma área, lo que data de la eficiencia del diseño.
- El indicador de productividad por medio de la Cantidad de Obras se hace cargo del problema antes mencionado y es útil para comparar la productividad entre minas con diferente layout, se propone utilizar este indicador como medida de eficiencia, dejando el anterior para comparar los requerimientos en obras entre distintas minas.
- Finalmente, de acuerdo a los resultados se tiene como conclusión que:
 - Esmeralda: aumentó de 12 metros equivalentes por persona a 21 para el periodo de 2011 – 2015. El porcentaje de cumplimiento llegó de un 87% hasta un 97% para el mismo periodo.
 - Reservas Norte: Baja considerable en el indicador de eficiencia para el año 2014, y del cumplimiento para el año 2015.
 - Diablo Regimiento: Baja constante del cumplimiento a lo largo del periodo 2011 – 2015, con una mayor eficiencia de la mano de obra de 13 a 24 metros equivalentes por persona en el tiempo.
 - División El Teniente: A nivel global existe un alto grado de obtención de metas, además de un aumento en la eficiencia de la mano de obra en un 90% para el periodo 2006 – 2015.

CAPÍTULO VI

ANÁLISIS DE RESULTADOS Y SENSIBILIDAD

A continuación, se analiza cada uno de los resultados de las métricas obtenidas para la División El Teniente. Además, dada la construcción de los indicadores van a existir efectos, que traen ciertas repercusiones a la hora de medir y comparar la productividad en preparación minera. Por lo que, se busca realizar un análisis crítico a considerar cada vez que se utilicen dichos indicadores.

6.1. Indicador de productividad del costo por metro cuadrado equivalente

El indicador del costo por metro cuadrado equivalente al año, presenta diferencias del costo presupuestado para construir un área representativa de la mina. Comparar ambos indicadores genera una medida para evaluar el desempeño que está teniendo la preparación en una determinada mina en relación a lo presupuestado.

Dentro de las repercusiones y errores que puede entregar el indicador de área preparada equivalente, existe la inquietud de lo variable que puede ser, por depender del peso económico y los requerimientos del sector que se les asigne. Con respecto a esta interrogante se realizó un análisis de sensibilidad que permite verificar la variabilidad que presenta la medida de acuerdo a un ponderador diferente. Se sensibilizó en un +/-20%, +/-10% los precios unitarios considerados para variar el porcentaje del peso económico de cada obra. Los resultados obtenidos se resumen en la Tabla 6.1-1, mostrando la raíz del error cuadrático medio con respecto al caso base. De lo anterior, se tiene que el máximo error es de un 2.25% para el año 2006 en Reservas Norte.

En consecuencia, la variación del peso económico de cada actividad no presenta gran incidencia en los resultados. El análisis de sensibilidad realizado sirve para ver que la influencia de los factores externos como el reajuste por los costos del acero o la inflación, que producen una variación en los costos y precios unitarios de las actividades, no generan fuertes cambios a la hora de hacer el cálculo de la métrica de área preparada equivalente.

Tabla 6.1-1 Porcentaje de error con respecto al caso base del indicador de área preparada equivalente

% Error c/r caso base	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Diablo Regimiento	1.77	0.71	1.74	1.60	1.26	0.46	0.90	1.26	1.81	1.39
Esmeralda	1.43	1.27	0.98	0.39	1.00	0.37	0.74	0.32	0.96	1.24
Reservas Norte	2.25	0.93	1.11	0.75	0.78	1.09	0.76	0.21	1.54	2.13

Por otro lado, debido a la forma en que se confecciona el indicador y lo que busca medir, existe una fuerte influencia de los requerimientos por mina que definen el área a preparar. Dicha influencia genera que el indicador termine midiendo la eficiencia del diseño en cuanto a los requerimientos para preparar minas, dando respuesta a qué mina

es más barato preparar metros cuadrados, y no deja claro qué mina está siendo más eficiente en el aprovechamiento de los recursos en los trabajos de construcción.

6.1.1. Análisis de resultados del Indicador

Los resultados arrojan que en promedio para Esmeralda se tiene un costo de 2,354 USD/m², para Diablo Regimiento de 2,126 y, por último, Reservas Norte un costo de 2,457 para los años 2012 y 2013 aumentando a 4,079 para los dos años siguientes.

Si se compara con el costo presupuestado para construir área, es posible conocer el sector más productivo, ya que, si bien puede presentar un costo mayor, se busca conocer el sector que esté construyendo área con los recursos justos y necesarios en base a lo presupuestado debido a sus requerimientos. La Gráfico 6.1-1 indica la evolución de la tasa porcentual del costo con respecto al presupuestado, mostrando una comparación, año a año, de los sectores en estudio, en donde la única mina que ha mantenido sus costos por debajo de lo presupuestado es Esmeralda.

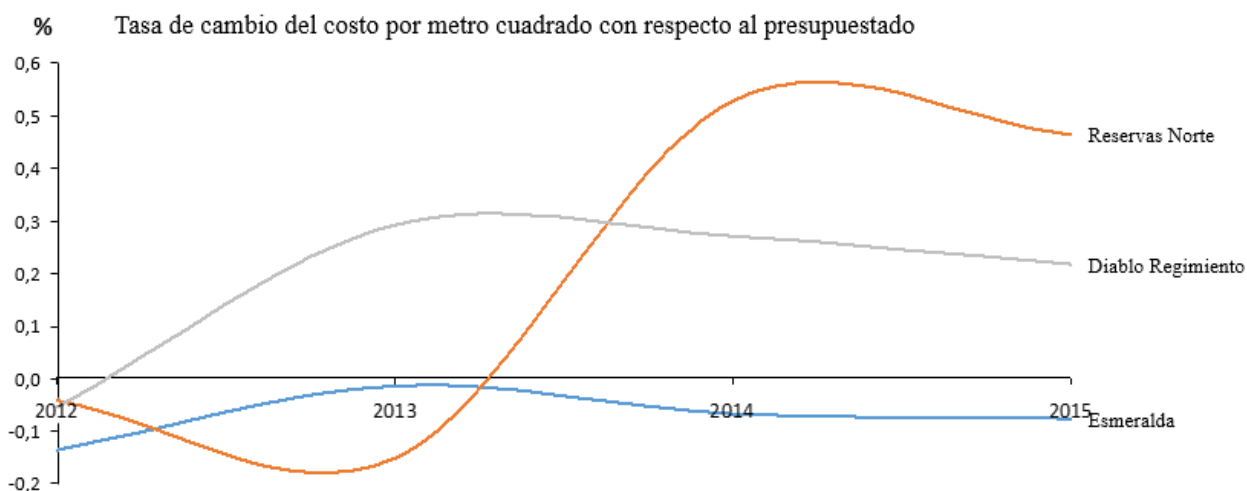


Gráfico 6.1-1 Tasa de cambio del costo por metro cuadrado con respecto al presupuestado.

El gasto incurrido por año que se considera en el indicador, busca representar la totalidad de los recursos utilizados en el tiempo, incorporando los costos por mano de obra, insumos, materiales y servicios generados durante el proceso. Sin embargo, por medio de esta métrica se debe tener en cuenta que no necesariamente dichos gastos son los que aportan obras para el año que se les está asignando. Por ejemplo: los materiales pudieron haberse comprado con anterioridad a la fecha en que se utilizaron y por ende los gastos no van ser representativos de dicho año.

Otro ejemplo, ocurre con ciertas prácticas de las empresas contratistas, donde, obras que se realizan en años anteriores son cobradas al año siguiente o después para amortiguar un año con menores ganancias para la empresa, y así mantener las utilidades.

También, los gastos incurridos van a estar fuertemente ligados a la empresa contratista asociada al sector y puede generar problemas a la hora de conocer la eficiencia con que se utilizan los recursos en comparación a otra mina. Un ejemplo de lo mencionado, es ponerse en el supuesto que, en estricto rigor la mina A sea más eficiente en el uso de los recursos y, por ende, más productiva que la mina B, sin embargo, el dinero cobrado por la empresa a cargo del trabajo de la mina A son los mismos o mayores que los cobrados por la empresa de la mina B, que no es tan eficiente para realizar el mismo trabajo en igual tiempo. Por lo que, al hacer la relación con los gastos incurridos no va a representar necesariamente quien es más productivo, porque simplemente una empresa va a estar generando mayores utilidades que la otra, en este caso la empresa A, ya que gasta menos en producir lo mismo y cobra lo mismo o más.

En resumen, el indicador es útil como medida para comparar el costo que se incurre en realizar una determinada área en el tiempo en relación a lo presupuestado, y van a existir ciertas repercusiones y problemas con las diferencias en los cobros y gastos de las empresas contratistas a cargo, que pueden entorpecer la representación de eficiencia en los trabajos de construcción.

6.2. Indicador de productividad de la Cantidad de Obra por dotación de personal

El indicador de Cantidad de Obra por la dotación, busca cuantificar, independiente de los requerimientos que presenta una determinada mina, la magnitud de la cantidad de actividades por persona que se va realizando en el tiempo. Dicha Cantidad de Obras se representa a través del gasto estandarizado (por un ponderador de precio único en el tiempo) de las actividades principales, por lo que este indicador estaría mostrando el dinero que aporta cada trabajador en las actividades principales.

Para construir el indicador de Cantidad de Obras es necesario comparar cada obra, y representar de la mejor manera posible una con respecto a otra, por ejemplo, hay que saber cuántos metros lineales de un desarrollo horizontal equivale la construcción de un sistema de traspaso y así generar la medida estándar.

El criterio utilizado está basado en la evaluación del impacto que puede representar el costo de un ítem en comparación a otro. Sin embargo, debido que las obras son subcontratadas, los precios unitarios van a depender de la empresa contratista encargada, en consecuencia, para obviar este factor, el ponderador escogido por actividad fue el costo unitario promedio de cada empresa, obteniendo un ponderador único y general por actividad para las minas o sectores en estudio.

6.2.1. Análisis del ponderador para Cantidad de Obras

Los problemas que puede provocar este ponderador es subestimar o sobrevalorar ciertas actividades debido a las diferencias en diseño y costos que presenta un sector con respecto a otro. Además, dentro de los datos entregados por la División, las mediciones de los desarrollos horizontales se subdividen por nivel sin considerar el diseño o sección que se está realizando, entonces, presenta el mismo valor de Cantidad

de Obra un metro de desarrollo horizontal de sección 4.0 x 4.0 de Esmeralda versus uno de sección 3.6 x 3.6 en Reservas Norte, ambos del nivel de hundimiento. En consecuencia, no se considera que una actividad puede presentar un menor requerimiento o mayores costos que otro. Lo mismo ocurre con las diferencias de diseño en el sistema de traspaso.

La simplificación en el ponderador por medio del promedio de los precios unitarios, se debe al detalle de los datos entregados y el afán de generar un ponderador estándar como medio de comparación, por lo que hay que asumir los problemas que conlleva para tenerlos en cuenta en futuros estudios.

6.2.1.1. Análisis del ponderador para los desarrollos horizontales

Se estudia el caso de los ponderadores para el desarrollo horizontal en los diferentes niveles, y el efecto que podría tener, se representa el Gráfico 6.2-1, Gráfico 6.2-2, Gráfico 6.2-3 y Gráfico 6.2-4 que muestran el detalle y evolución del precio promedio con respecto a cada sección, además se indica por medio del círculo azul cuál es la sección que más se desarrolla en el nivel de cada mina de acuerdo al programa de Revisión B. Cabe destacar que la sigla PMS, hace referencia a la fortificación que se implementa en la excavación por Perno-Malla-Shotcrete.

- El nivel de hundimiento presenta secciones desde 2.4 x 2.4 hasta 4.7 x 4.1 con diferentes precios unitarios para cada una. En este caso, el precio promedio considerado como ponderador está subvalorando la mayor cantidad de desarrollo horizontal del nivel.

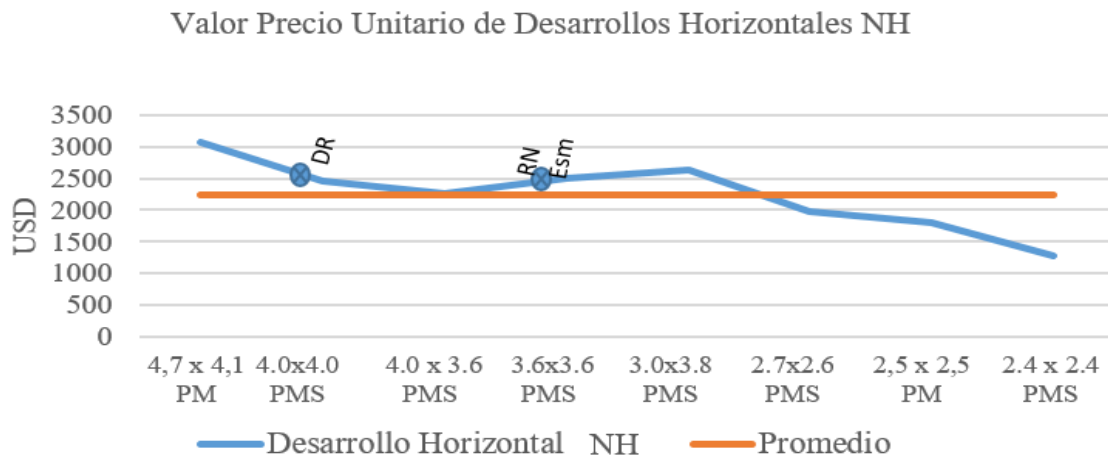


Gráfico 6.2-1 Valor precio unitario de desarrollos horizontales nivel de hundimiento

- En el nivel de producción se desarrolla una mayor cantidad de tipos de secciones, que van desde los 2.0 x 2.0 hasta los 6.0 x 4.0 m². Considerando sólo el precio promedio que más se construye en el nivel, el ponderador estaría sobrevalorando a Reservas Norte y subvalorando el desarrollo de Diablo Regimiento.

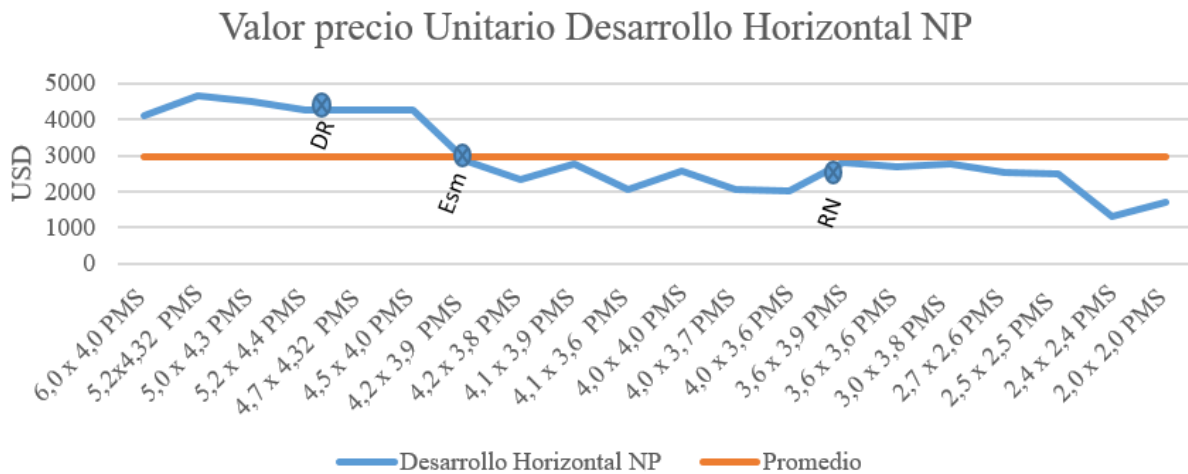


Gráfico 6.2-2 Valor precio unitario de desarrollos horizontales nivel de producción

- En el subnivel de ventilación, los tipos de secciones van desde los 4.2 x 4.1 hasta los 6.2 x 6.1 m^2 . En este caso, los precios unitarios presentan mayor variabilidad y no necesariamente una sección mayor es más cara, sino que está fuertemente influenciado por el precio que impone la empresa contratista, además de las dificultades y diferencias en terreno que debe presentar la construcción. La sección que más se construye en Diablo Regimiento está sobre el promedio, mientras que Reservas Norte y Esmeralda por debajo.

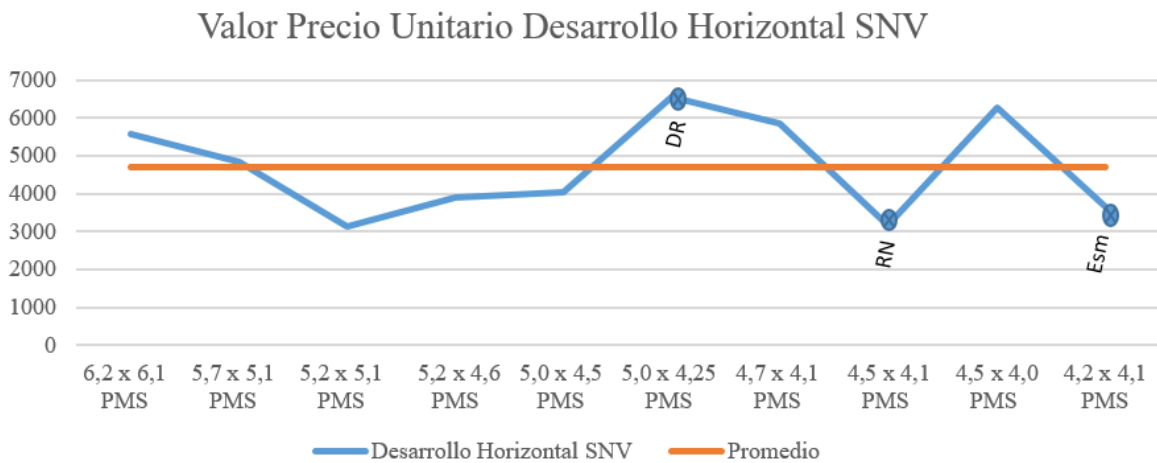


Gráfico 6.2-3 Valor precio unitario de desarrollos horizontales subnivel de ventilación

- Finalmente, para el nivel de acarreo, las secciones que están por sobre los 5.0 x 4.9 m^2 son las que más se desarrollan en Esmeralda y Reservas Norte, y el ponderador utilizado está muy por debajo de estos valores.

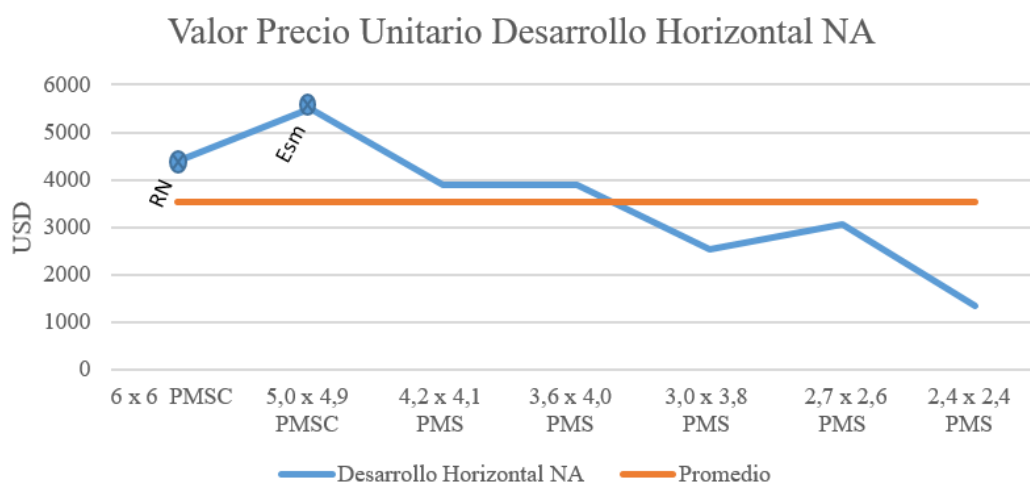


Gráfico 6.2-4 Valor precio unitario de desarrollos horizontales nivel de acarreo

De acuerdo a este estudio, se concluye que es bastante complejo homologar el desarrollo horizontal si se tienen los datos como un ítem por nivel, y no el detalle por sección, ya que ponderar por el mismo peso una sección de 2.4 x 2.4 versus una de 6 x 6 m² para el nivel de acarreo puede traer errores a la hora de cuantificar la Cantidad de Obras.

Una forma de mermar este efecto es cambiar el ponderador para el desarrollo horizontal de cada nivel, como el promedio del precio unitario de las secciones que más se realizan por mina de acuerdo al programa. La Tabla 6.2-1 muestra el efecto porcentual de este cambio, y se observa que los mayores cambios se generaron en Esmeralda debido a la gran cantidad de desarrollo horizontal que se realiza al año en comparación a los otros sectores.

Los cambios que se produjeron no superan el 5% por lo que se podría considerar que no son significativos para el análisis de productividad que se está realizando. Sin embargo, se debe tener presente para estudios posteriores.

Tabla 6.2-1 Variación porcentual de la Cantidad de Obra con respecto al caso base

Variación porcentual de la Cantidad de Obra con respecto al caso base [%]										
Año	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Esmeralda	3.57	2.44	2.58	-1.07	0.22	-0.02	3.49	1.33	4.06	2.93
Reservas Norte	-1.88	-0.85	2.53	1.16	1.38	0.02	1.52	0.30	0.59	1.06
Diablo Regimiento	-2.07	-1.62	-2.82	-2.76	-1.21	-0.26	-0.70	-1.12	-0.79	-0.87

6.2.1.2. Análisis del ponderador para el sistema de traspaso

Para analizar el caso del ponderador para el sistema de traspaso, se presenta en primer lugar la diferencia en los diseños y requerimientos para los sectores de Esmeralda y Reservar Norte a través de la Figura 6.2-1, en donde se puede apreciar que las principales diferencias se encuentran en el nivel de acarreo en la forma en que es

descargado el mineral, uno por medio de ferrocarriles y otro por medio de camiones, por lo que presentan requerimientos distintos, además, el primero es más antiguo y el segundo, al ser implementado después se rediseño incorporando nuevos elementos. El análisis de la evolución del costo que presenta desde el año 2010 hasta el año 2016 se muestra en el Gráfico 6.2-5 y el Gráfico 6.2-6, estos costos son llevados a moneda base del año 2015 con una tasa de cambio (TC) de 585 \$/USD.

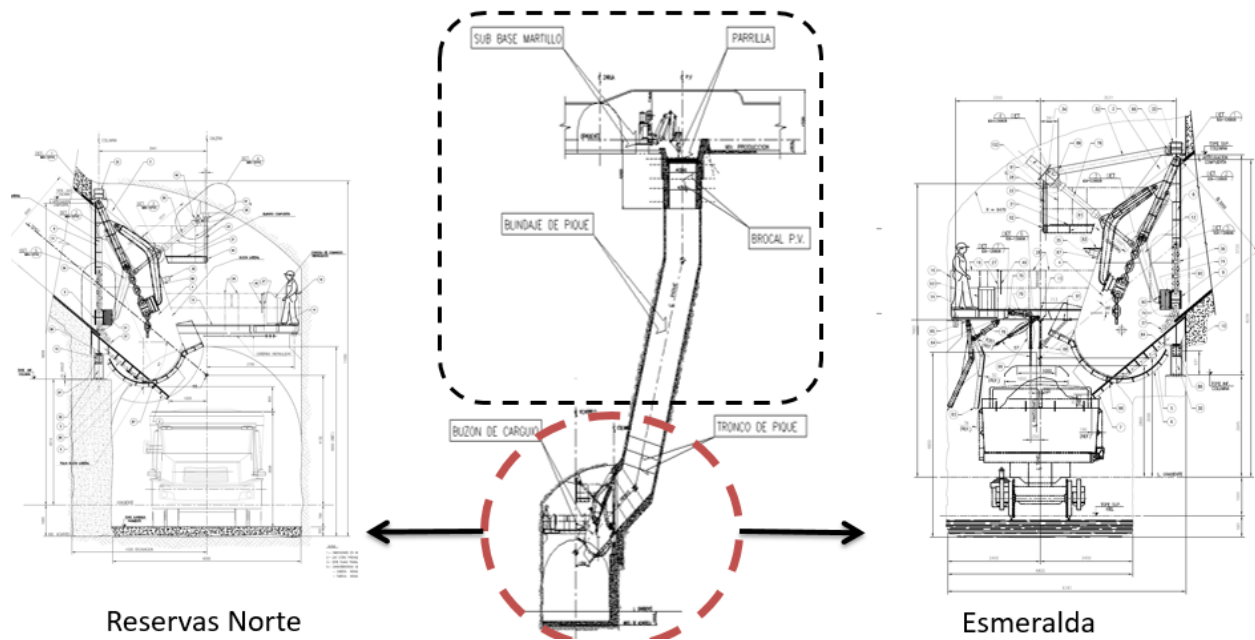


Figura 6.2-1 Diseño de sistema de traspaso para Esmeralda y Reservas Norte
Elaboración: Gerencia de Obras Minas

En Esmeralda se tiene que las obras de construcción están asociadas a dos empresas contratistas, una para las obras de construcción y otra para la instrumentación y control. El costo presenta una evolución desde los 1.29 MUSD hasta los 1.68 MUSD por unidad.

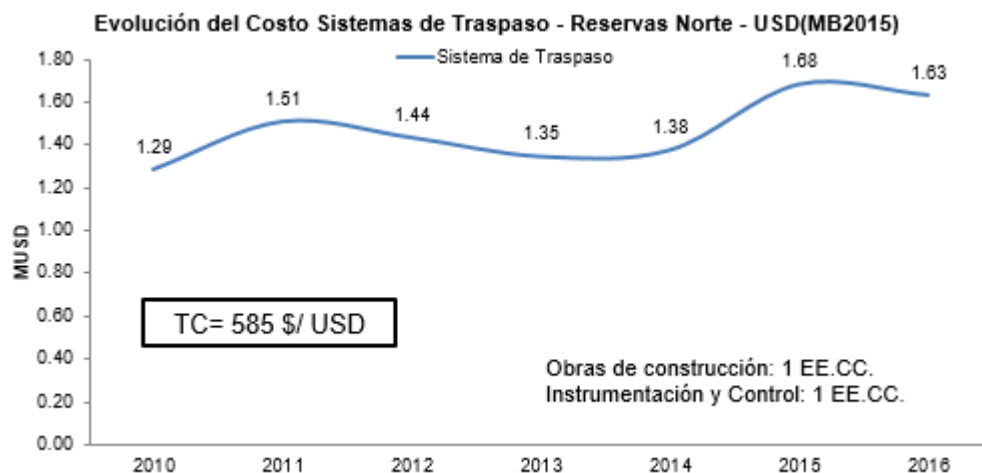


Gráfico 6.2-5 Evolución del costo del sistema de traspaso para Reservas Norte
Elaboración: Gerencia de Obras Minas

En Reservas Norte se tiene que las obras de construcción están asociadas a tres empresas contratistas, dos para las obras de construcción y otra para la instrumentación y el control. El costo presenta una evolución desde los 1.26 MUSD hasta los 1.43 MUSD por unidad, y en promedio presenta un menor costo que el sector anterior.

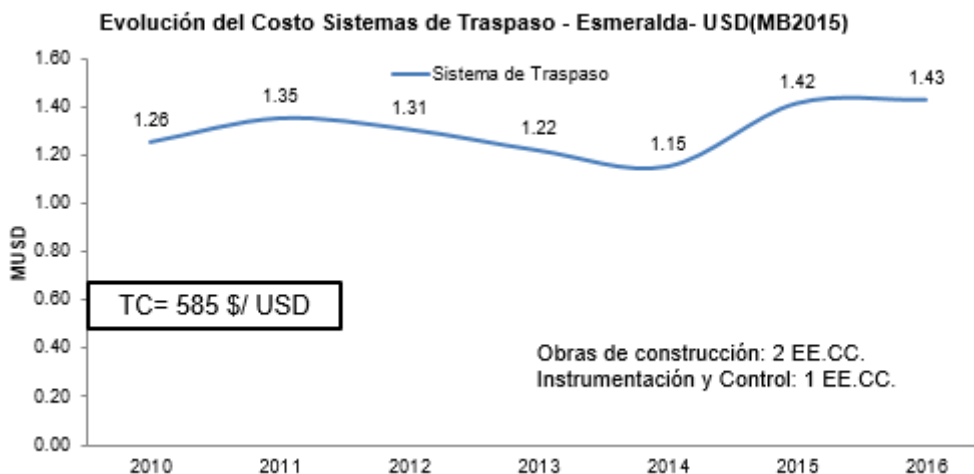


Gráfico 6.2-6 Evolución del costo para el sistema de traspaso de Esmeralda
Elaboración: Gerencia de Obras Minas

Dado estas diferencias en el diseño y costos es que surge la pregunta si el ponderador está bien asignado como un ponderador único para ambos sectores, o debiera ser distinto por las diferencias que presentan.

Una forma de cuantificar el efecto que podría provocar la variación del precio unitario en la construcción del ponderador para homologar el sistema de traspaso con respecto a las demás actividades principales, se realizó a través de un análisis de sensibilidad, similar al caso de los desarrollos horizontales, modificando en un +/-10 y +/-

20% el costo, obteniendo un error máximo en la Cantidad de Obras en el año 2009 de 6.8% de diferencia para Reservas Norte.

Tabla 6.2-2 Porcentaje de error de la variación del precio unitario del sistema de traspaso

% Error c/r al caso base	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Esmeralda	4.3%	5.2%	5.2%	4.8%	5.5%	3.8%	3.6%	5.3%	3.8%	4.1%
Reservas Norte	0.0%	4.8%	5.0%	6.8%	4.4%	6.3%	5.1%	3.4%	2.1%	4.7%

Finalmente, hay que tener en cuenta que en base al criterio que se utilice para cuantificar la magnitud de obras que se está realizando, siempre va a existir variabilidad, sin embargo, la metodología propuesta aporta con el indicador que, si bien puede presentar errores y no ser exacto, estos errores son aceptables para llevar el seguimiento en las obras y comparar la velocidad de construcción de una mina con respecto a otra.

6.2.2. Análisis de resultados del indicador

Los resultados de productividad de acuerdo a la Cantidad de Obra en relación a la mano de obra medido como la dotación mensual promedio al año entrega resultados similares al indicador del costo por área preparada equivalente, en donde se repite la baja productividad que existe en Reservas Norte para el año 2014, sin embargo, a diferencia del anterior, sube considerablemente para el año 2015. Además, Esmeralda presenta la mayor productividad en los últimos 3 años. La evolución en el tiempo de este índice de productividad se representa en el Gráfico 6.2-7, donde se puede ver la comparación entre las minas en estudio.

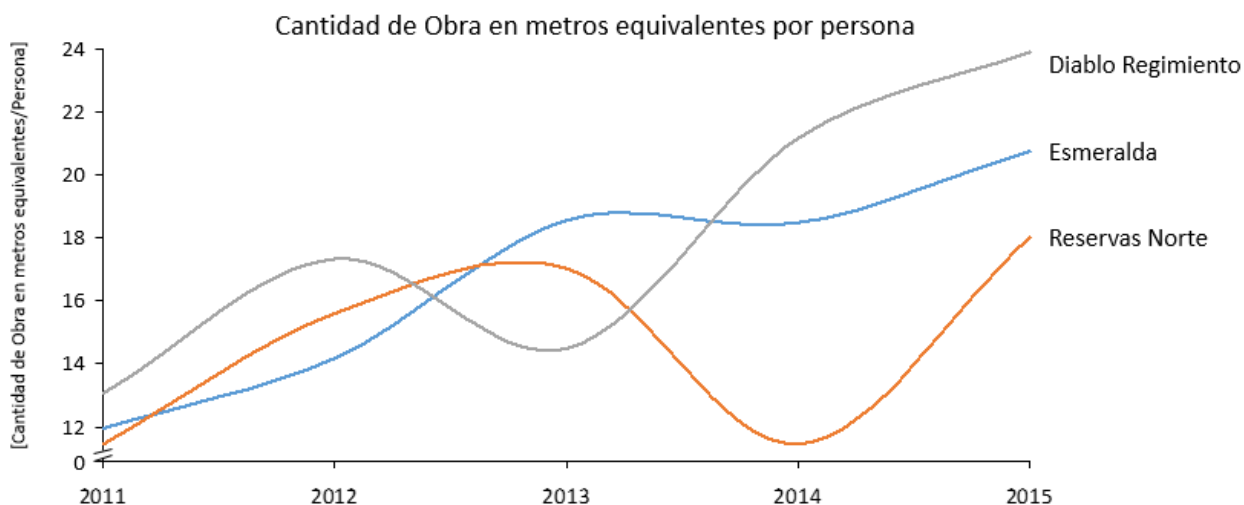


Gráfico 6.2-7 Resultados del indicador de productividad de la Cantidad de Obra por dotación mensual

La mano de obra en el indicador representa un recurso físico comparable entre distintas minas o empresas y puede tornarse una buena métrica para conocer la eficiencia

de un determinado trabajo. Comparable debido a que, a diferencia de los gastos incurridos, la cantidad de dotación presentadas por una mina o empresa contratista para hacer un determinado trabajo serán los requeridos y que si una empresa o sector necesita más personal para realizar el mismo trabajo en el mismo tiempo quiere decir que no se está aprovechando correctamente el recurso físico existiendo ineficiencias con respecto a la otra empresa. Sin embargo, la cantidad de personas en labores distintas es variable y no necesariamente se rige por el mismo ponderador que el de los costos. Por lo tanto, se propone para estudios futuros realizar un ponderador considerando este factor en relación a la cantidad de personas requeridas por labor.

En consecuencia, se sugiere que la medida de eficiencia de la productividad debe estar referenciada a la dotación, debido a que los resultados que se establezcan y calculen, deben servir para tener un adecuado índice de comparación, seguimiento y control.

6.2.3. Análisis de la cantidad de actividades

Para analizar de mejor manera los resultados y valores de los indicadores, es necesario estudiar la medida de producción y recursos utilizada. La Cantidad de Obra y el Área Preparada Equivalente tienen directa relación con la cantidad de actividades realizadas en el tiempo. Por lo que es primordial observar que pasó con cada una de estas actividades en el tiempo.

La tasa de cambio del avance físico de las actividades principales expuesta en el Gráfico 6.2-8, indica que, para Esmeralda existió un aumento considerable en el desarrollo horizontal, vertical y sistemas de traspaso con respecto al año 2012. La cantidad de puntos de extracción se mantuvo sin grandes variaciones, aumentando en un 10% el año 2013 y disminuyendo un 20% el 2014. Por último, la construcción de muros disminuyó un 20% el año 2013 y 2014 y un 30% el 2015. Lo anterior, se puede deber a que Esmeralda es un sector que se encuentra en crecimiento y expansión, por lo que necesita un mayor volumen de obras para incorporar el área necesaria para cumplir los planes de producción.

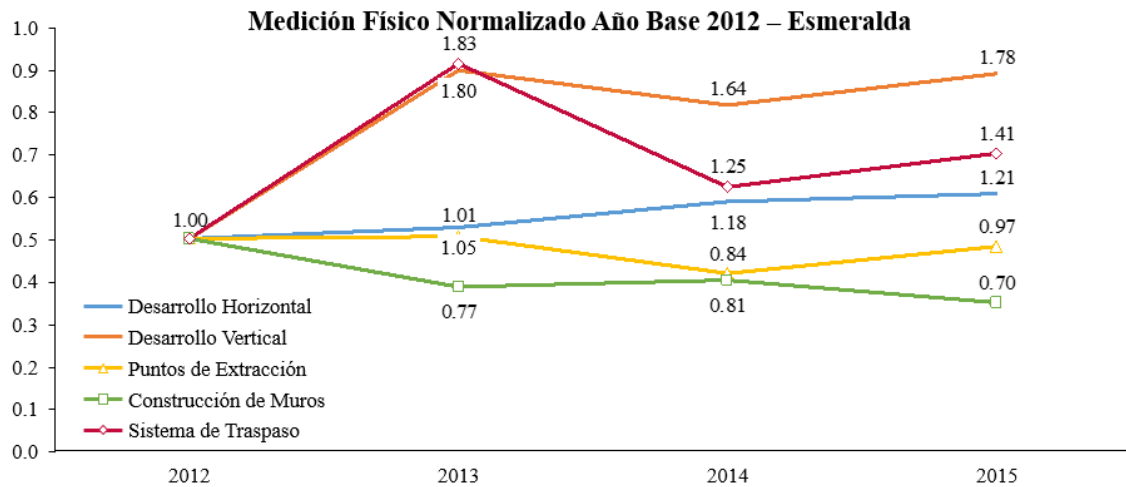


Gráfico 6.2-8 Tasa de cambio de actividades con respecto al año 2012 en el sector de Esmeralda.

Para Reservas Norte las mediciones indican que el año 2013 hubo un aumento en todas las actividades a excepción de los sistemas de traspasos disminuyendo un 10%. Seguido de esto, para los años 2014 y 2015 existió una fuerte disminución llegando en algunos casos a completar el 30% de las actividades en relación al año 2012. Lo anterior indica una clara tendencia a la disminución en la Cantidad de Obras desde el año 2013 hasta el año 2015. Esta disminución se debe a que Reservas Norte es un sector que se encuentra en su etapa terminal de construcción por lo que los requerimientos en volumen de obra han ido disminuyendo paulatinamente, ya que se necesita menos construcciones para incorporar el área comprometida.

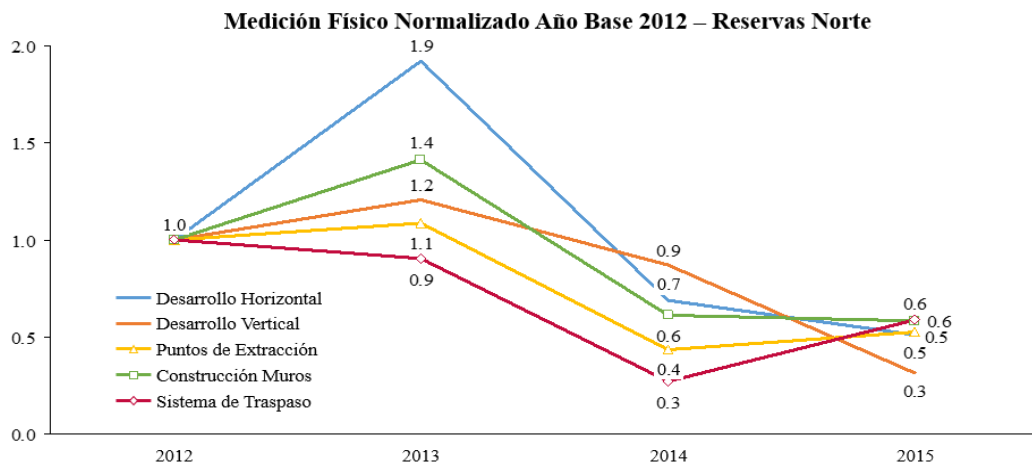


Gráfico 6.2-9 Tasa de cambio de actividades con respecto al año 2012 en el sector de Reservas Norte.

Diablo Regimiento, similar a lo que sucedió en Reservas Norte, aumentó la cantidad de actividades para el año 2013, seguido de una disminución en el desarrollo horizontal y puntos de extracción, llegando al 70% y al 30%, respectivamente, con

respecto a lo realizado el año 2012. Al igual que el sector anterior, este sector se encuentra en su fase terminal, sin embargo, presenta la construcción y expansión de una fase de la mina, por lo que el volumen de obras se ha mantenido.

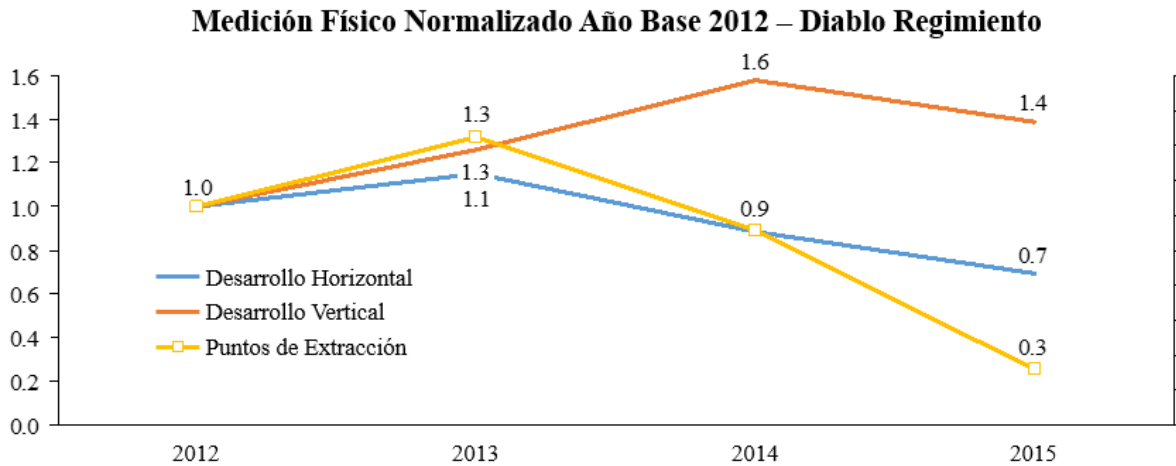


Gráfico 6.2-10 Tasa de cambio de actividades con respecto al año 2012 en el sector de Diablo Regimiento

Si comparamos la Cantidad de Obras obtenida versus la dotación por sector se obtiene el Gráfico 6.2-11, que muestra la correlación que existe entre ambas variables. Positiva en el caso de Reservas Norte y Diablo Regimiento y negativa para Esmeralda, es decir que, para los primeros, mientras se ha realizado mayor Cantidad de Obras se ha requerido mayor personal, en cambio para Esmeralda, mayor Cantidad de Obra se ha realizado con una menor cantidad de personal, por lo que se ha aprovechado de una mejor manera el recurso humano.

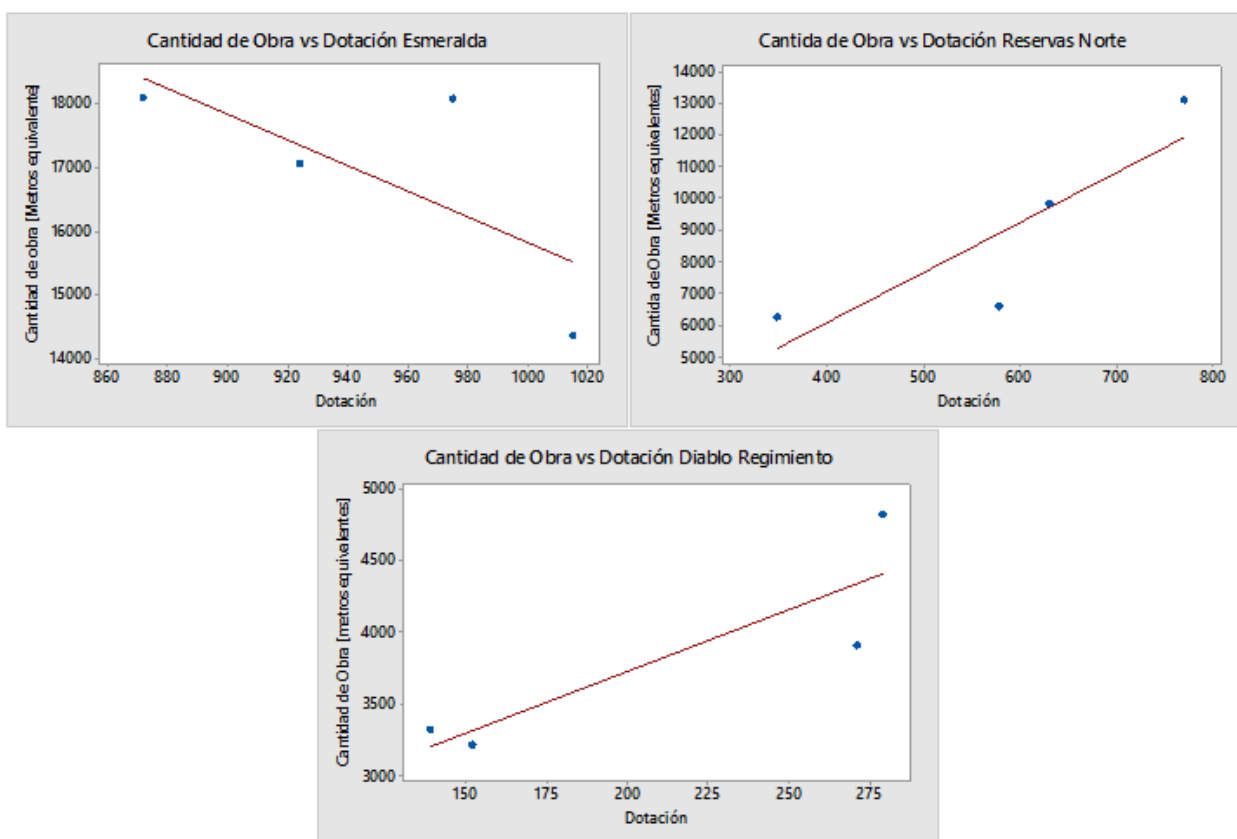


Gráfico 6.2-11 Cantidad de Obras versus Dotación por sector

En base a lo anterior, Esmeralda aumentó considerablemente el indicador de Cantidad de Obras junto con experimentar una leve disminución en la dotación utilizada por lo que presentó un aumento constante en el tiempo de la productividad, generando un incremento desde el año 2011 de 12 metros equivalentes por persona llegando a 21 en el 2015. Además, el porcentaje de cumplimiento físico de las obras ha ido en aumento, de un 87% el año 2011 a un 97% para el 2015. Lo que indica que tanto la eficiencia como la eficacia en las obras han mejorado en el tiempo, logrando así en Esmeralda ubicarse en una zona de alta productividad en comparación a los otros sectores en estudio. El Gráfico 6.2-12 muestra la comparación entre el índice de productividad de la Cantidad de Obra por la dotación utilizada versus el cumplimiento físico de las obras en porcentaje.

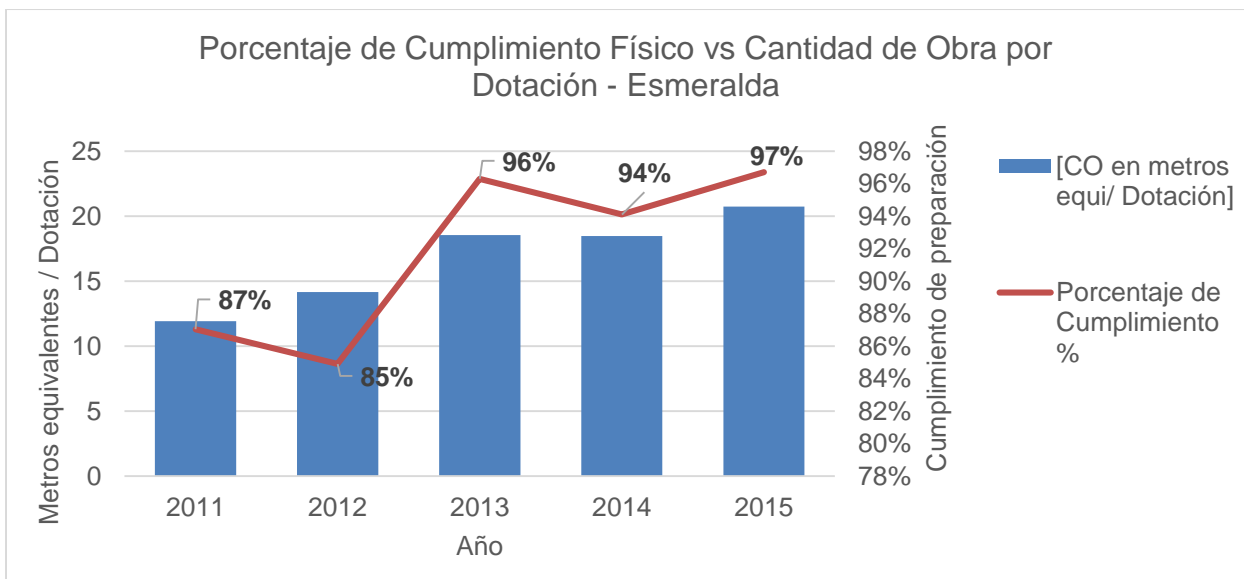


Gráfico 6.2-12 Cantidad de Obra por la dotación utilizada versus el cumplimiento físico de las obras en porcentaje- Esmeralda

En Reservas Norte se puede deducir que existe un aumento en la productividad presentada por el índice de Cantidad de Obra por dotación desde el año 2011 al año 2015, con una fuerte caída en el año 2014, debido básicamente por la considerable disminución en la cantidad de actividades que se realizaron con respecto al año 2013, resumidas en:

- 70% menos de Sistemas de Traspasos.
- 64% menos de Desarrollos Horizontales.
- 50% menos de Desarrollos Verticales.

Esta baja se debe principalmente a la disminución de obras en el programa de dicho año y si observamos la dotación, varió poco en comparación a la Cantidad de Obras desde el año 2013 al año 2014, obteniendo la baja considerable en el indicador en dicho año.

Por otro lado, la eficacia de las obras de este sector, medido como el porcentaje de cumplimiento de las obras según el programa de Revisión B se muestra junto al índice de productividad de la Cantidad de Obras por Dotación en el Gráfico 6.2-13, de éste se observa que el cumplimiento ha ido en aumento desde el año 2011 con un 65% alcanzando un 90% para el año 2014 y bajando considerablemente al año 2015 con un 68%. Las principales causas de esta baja han sido por:

- Desarrollo horizontal: en el nivel de hundimiento, existe atraso debido a la acumulación de marina y cambio de la empresa contratista a cargo, existiendo una lenta llegada, además de problemas de ventilación en el

sector. En el subnivel de ventilación, la EE.CC no destina recursos, priorizando recursos disponibles para desarrollos en el nivel de acarreo.

- Desarrollos verticales: en el nivel de producción existe menor rendimiento, en el subnivel de ventilación no se ejecutan obras debido a los atrasos de los desarrollos horizontales.
- Construcción de muros: Acumulación de marinas interfieren en el desarrollo de obras, menor rendimiento por desmovilización de empresa contratista, desvío de recursos a otro sector de la mina El Teniente.

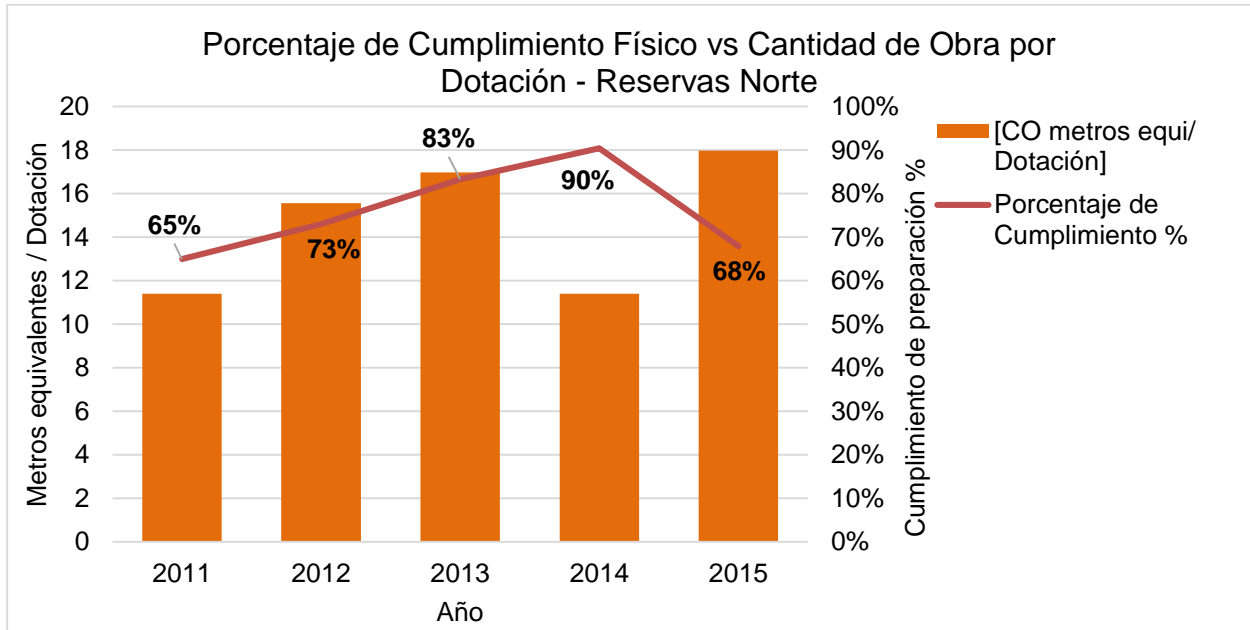


Gráfico 6.2-13 Cantidad de Obra por la dotación utilizada versus el cumplimiento físico de las obras en porcentaje- Reservas Norte

Diablo Regimiento, si bien, existió una baja en la Cantidad de Obras desde el año 2012 al 2015, hubo una baja considerable en la dotación utilizada para los años 2014 y 2015, por lo que la productividad, vista con este índice, se ve afectada positivamente, aumentando notablemente en estos dos últimos años, con un aporte de 14 metros equivalentes por persona el año 2013, llegando hasta 24 metros equivalentes por persona al 2015.

Por otro lado, el porcentaje de cumplimiento del avance físico ha ido a la baja en estos últimos años, desde el año 2011 con un avance de más del 100% con respecto a lo presupuestado llegando al 85% para el año 2015. Estas disminuciones en el cumplimiento se deben principalmente por:

- Interferencias con producción de la División.
- Problemas con acarreos de marina, producto de la acumulación de esta.

- Para el año 2015, retrasos debido al cambio de EE.CC y con la llegada de la instalación de equipo de perforación.

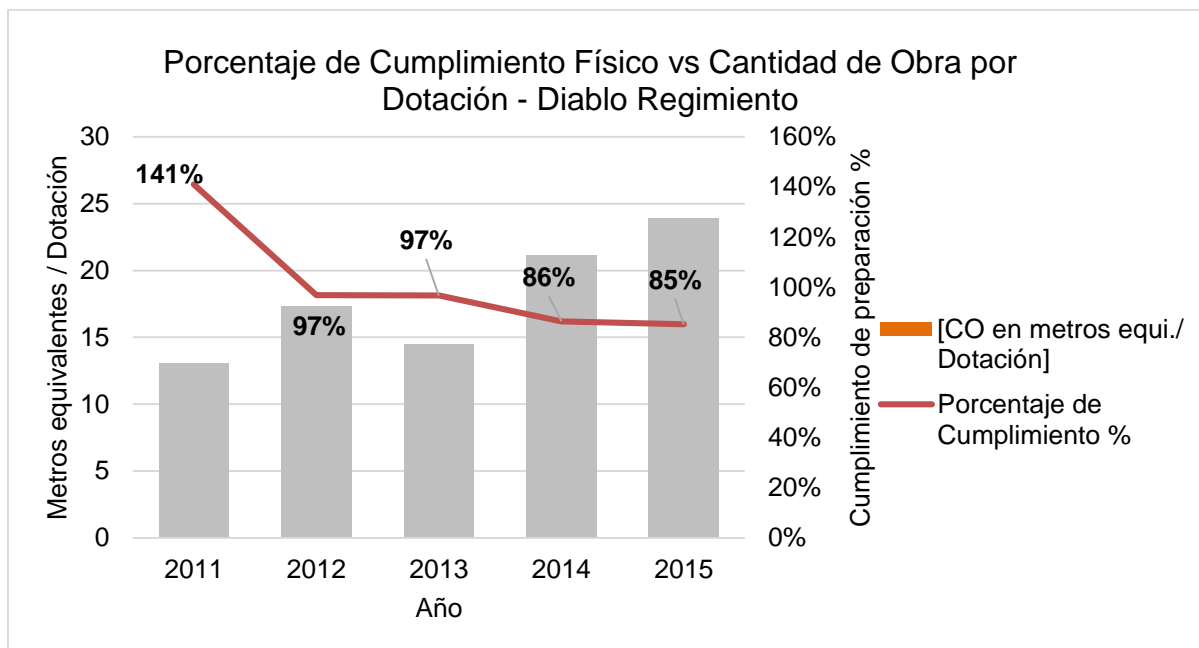


Gráfico 6.2-14 Cantidad de Obra por la dotación utilizada versus el cumplimiento físico de las obras en porcentaje- Diablo Regimiento

6.3. Resultados obtenidos a nivel global en la División El Teniente

En cuanto a los resultados obtenidos a nivel global, la productividad se ha ubicado en una zona de alta productividad en los últimos 4 años, en donde la eficacia ha logrado mantenerse en niveles por sobre el 90% de cumplimiento de las metas, y la eficiencia ha aumentado en un 90% desde el año 2006 hasta el año 2015, medida a través de la Cantidad de Obras por persona.

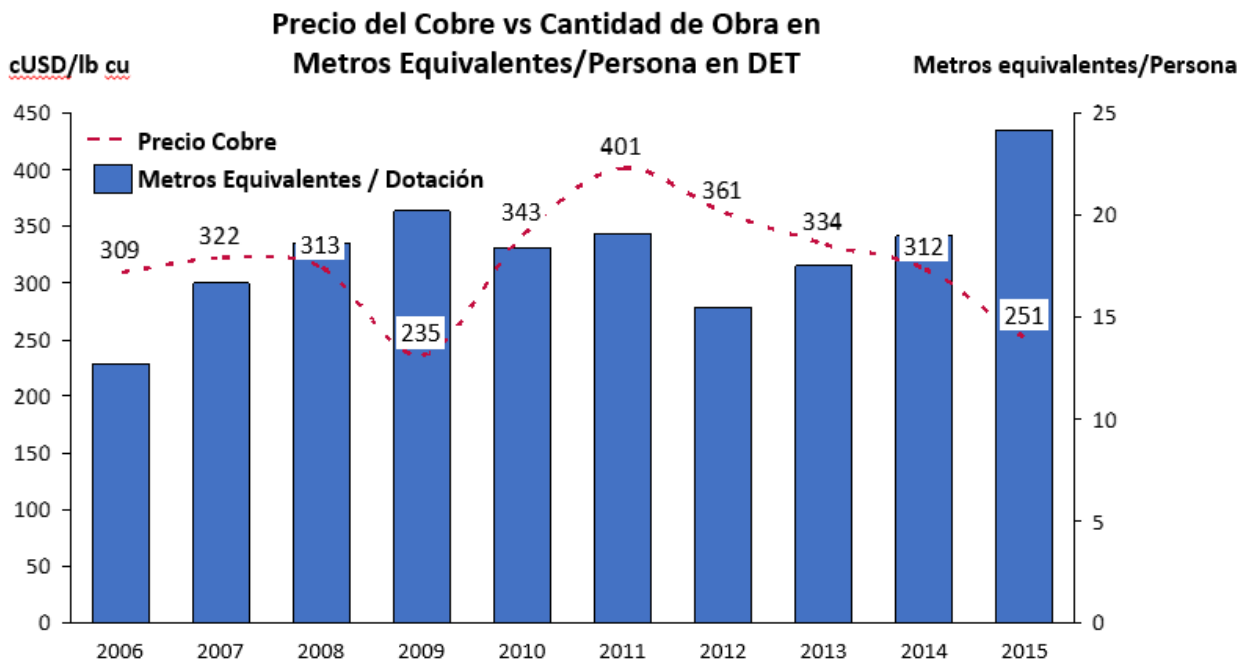


Gráfico 6.3-1 Evolución del precio del cobre vs Cantidad de Obra por persona en la División El Teniente

Además, si se hace una comparación con la evolución de la eficiencia que han tenido las labores de preparación minera en la División con respecto al precio del cobre se tiene que en los momentos en que el mercado del cobre se encuentra más ajustado con precios bajos es cuando hay una mayor eficiencia y cuando existen mayores holguras presupuestarias con altos precios del cobre la eficiencia tiende a la baja. Esto se puede observar en el Gráfico 6.3-1, que en los años 2009 y 2015 el precio del cobre ha experimentado los menores precios en los 10 años de estudio y donde se encuentran las mayores eficiencias obtenidas. Caso contrario en los momentos de precios altos, donde del año 2011 al 2012 se experimenta una caída abrupta del indicador que muestra el aprovechamiento de la mano de obra. Lo anterior, queda más claro en el Gráfico 6.3-2 con un análisis de correlación de ambas variables, donde se observa que existe la tendencia ratifica lo expuesto anteriormente.

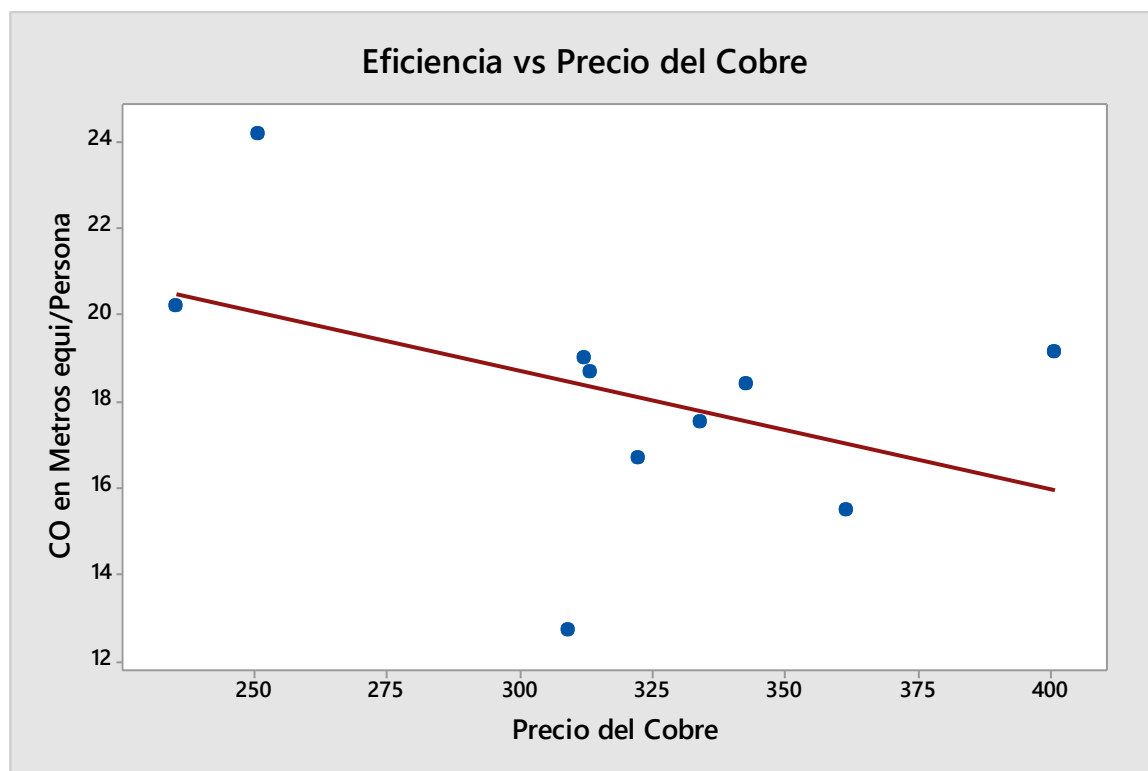


Gráfico 6.3-2 Eficiencia en la Preparación Minera versus Precio del Cobre

Lo anterior se refleja en el contexto actual que vive la industria del cobre donde debido a la baja del precio del metal rojo las empresas mineras han tenido que ajustar sus presupuestos y hacer enormes esfuerzos en reducir los costos y aumentar la productividad para lograr rentas positivas; por medio de reducción de personal e implementando mejoras significativas en la gestión y el control de los recursos, mejorando significativamente cada uno de los procesos del negocio minero en tiempos de crisis.

Los trabajos de preparación minera de la División no se alejan de esta realidad y es por eso que hay que poner especial cuidado y estar conscientes de lo cíclico de los precios ya que los esfuerzos por mantener la competitividad en la industria no sólo se deben realizar cuando los recursos son escasos, sino que tienen que ser constantes en el tiempo.

En síntesis, para llevar a cabo un seguimiento de la productividad es necesario conocer tanto la eficiencia como la eficacia de las obras realizadas en cuanto al aprovechamiento de los recursos y el grado de obtención de las metas. En base a lo anterior la División El Teniente ha logrado una mayor eficiencia de la mano de obra en los últimos cuatro años, con un cumplimiento físico alto en relación a lo planificado, posicionándose en una zona de alta productividad.

6.4. Conclusiones del capítulo

Las conclusiones más relevantes del análisis de los indicadores y resultados de productividad son:

- La métrica construida de Área Preparada Equivalente depende de los ponderadores utilizados. Sin embargo, dado el análisis de sensibilidad para el ponderador del peso económico, una variabilidad en este no presenta grandes cambios en el resultado final, con errores máximos del 2.25%. Por otro lado, el ponderador de la cantidad de actividades requeridas por sector, influye mayormente, por lo que se debe tener un mayor detalle y cuidado a la hora de escoger el volumen de control que represente la mina a estudiar.
- La métrica construida de Cantidad de Obras depende del ponderador utilizado, y existen problemas a la hora de cuantificar cada una de las obras debido a que unas pueden presentar mayores requerimientos que otra, incluso en el personal utilizado, y son tomadas como iguales, con el supuesto de que a mayor valor de las obras mayor es el número de personas y requerimientos. Un ejemplo de lo anterior, es el caso de los desarrollos horizontales y sistemas de traspaso. En consecuencia, es necesario evaluar la métrica formando un catastro del total de las actividades en detalle y cuantificar en base a un criterio único, que no esté necesariamente definida por los precios que imponen las empresas contratistas, con el fin de obviar este efecto.
- El indicador del costo por metro cuadrado se debe comparar con lo presupuestado para conocer la eficiencia en el proceso y ser útil como medio de comparación con otras minas y de seguimiento del desempeño en el tiempo.
- Se debe tener cuidado con la utilización de los gastos incurridos en la relación para medir productividad debido a los efectos contractuales o de mercado, en donde no necesariamente el cobro en dinero de las empresas contratistas va a representar lo que se producido, puesto que está determinado por dicha empresa asociada y el contexto del mercado o competencia que exista.
- El indicador de la Cantidad de Obra por persona, genera una medida del volumen o magnitud de actividades principales, representadas en metros equivalentes, que está aportando cada trabajador en la preparación minera. En base a esta medición, en los últimos cinco años, Esmeralda ha tenido un promedio anual de 17 metros equivalente por persona, Reservas Norte de 15 y Diablo Regimiento de 18. En donde, los tres sectores han aumentado a lo largo del tiempo dicho indicador, lo que habla del mejoramiento de la eficiencia en la utilización de un importantísimo recurso como lo es la mano de obra.
- El porcentaje de cumplimiento de obras presenta un aumento ostensible para el sector Esmeralda llegando al 97% en relación al programa de Revisión B, asimismo en Reservas Norte llegó hasta un 90% del cumplimiento para el año

2014, bajando al año 2015. Finalmente, en Diablo Regimiento el cumplimiento va a la baja y se ha visto mermada desde el año 2011 al 2015, llegando a un 85%, debido principalmente a que cómo es un sector que está terminando su construcción existen gran cantidad de interferencias con producción. En promedio el nivel de cumplimiento es alto a nivel de la División obteniendo en el periodo de 10 años (2006 – 2015) solo 3 años con un cumplimiento por debajo del 90%.

- Un correcto seguimiento de la productividad debe ser en base al cálculo de la eficiencia y eficacia con que se utilizan los recursos para lograr un determinado objetivo. En base a lo anterior, los indicadores de productividad de Cantidad de Obra por la dotación utilizada junto con el indicador del porcentaje de cumplimiento físico de las obras, ayudan y apuntan a mostrar si la preparación minera se está realizando mejor o peor que antes y de acuerdo a los resultados ha existido una mejora constante en el tiempo si se toma como línea base el año 2006.
- Finalmente, la eficiencia de las obras de preparación minera en la División El Teniente medidas a través del indicador de Cantidad de Obras por persona si se relacionan con la evolución del precio del cobre se tiene que en los periodos de precios altos la eficiencia baja, mientras que para los periodos peak de precios bajos el aprovechamiento de la mano de obra es mucho mayor.

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones generales

La productividad en la industria minera está en la agenda del sector y es un desafío recurrente el cómo medir las obras de construcción en los proyectos mineros subterráneos, donde adicionalmente las condiciones inherentes del método dificultan los trabajos. Actualmente las labores de preparación minera se llevan a cabo en El Teniente a través de empresas contratistas y el mandante es quien lidera los requerimientos de obras y estándares mínimos de trabajo, en busca de asegurar el cumplimiento de plazos y costos, con medidas de seguimiento y control de las obras. Medir la productividad en preparación es relevante ya que define el grado de utilización y aprovechamiento de los recursos para la construcción y desarrollo de la mina para generar un área lista para ser explotada de acuerdo al plan de producción, de manera segura y oportuna.

Por otro lado, en todo sistema de gestión, la planeación sirve como marco de referencia a los programas de control. Adoptar buenas metodologías de seguimiento que acompañen a los procesos de planeación, con miras a lograr un buen desempeño y alcanzar las metas deseadas. Además, es muy frecuente encontrar dificultades en los procesos de seguimiento de obra, al no emplearse indicadores adecuados que identifiquen, sistemática y sistemáticamente, situaciones importantes que requieran corrección y/o mitigación. La mayoría de las metodologías modernas de mejoramiento basan su estrategia buscando maximizar valor económico y minimizar pérdidas, razón por la cual, la productividad es uno de los indicadores importantes que mide el desempeño de una buena gestión. Este enfoque, es un planteamiento estratégico orientado hacia los procesos, donde prevalece la verificación y el aseguramiento del procedimiento y el resultado, más allá del viejo esquema de solo verificar resultados.

Cuando en las obras de construcción se subcontrata la mano de obra, necesita definirse explícita y formalmente la productividad a la que se comprometen las empresas constructoras, para hacer un adecuado seguimiento y control en la obra. El inconveniente que se tiene en la mayoría de ellas cuando se emplea un sistema de vinculación laboral, se debe a la falta de indicadores que comprometan el desempeño con la productividad.

La metodología propuesta proporciona una herramienta para el cálculo y seguimiento de la productividad en los trabajos de preparación minera de Block/Panel Caving, que sirve para hacer Benchmarking interno de carácter divisional, y ayuda a canalizar el aprendizaje y la innovación, por medio del registro histórico de los indicadores.

Un correcto seguimiento de la productividad debe ser en base al cálculo de la eficiencia y eficacia con que se utilizan los recursos para lograr un determinado objetivo. En base a lo anterior, los indicadores de productividad de Cantidad de Obra por la dotación utilizada junto con el indicador del porcentaje de cumplimiento físico de las obras, ayudan y apuntan a mostrar si la preparación minera se está realizando de mejor

o peor que antes y de acuerdo a los resultados ha existido una mejora constante en el tiempo.

La medición de la Cantidad de Obra y área preparada en el tiempo, junto con los indicadores de productividad apuntan a analizar la situación de cada mina o sector y detectar las fuentes de ineficiencias. Siendo el primer paso que conduce al control y eventual mejoramiento de los contratos. Debido a que la historia de lo sucedido nos otorga los hechos para prevenir y conocer lo que puede pasar en el futuro.

Las diferentes métricas definidas son de utilidad y ayudan a determinar la velocidad de construcción que presenta un determinado sector en relación al conjunto de obras cuantificadas por la Cantidad de Obras en el tiempo, otorgando un registro histórico del proceso, que servirá como parámetro de evaluación futura.

Dentro del análisis de productividad de una actividad es necesario conocer tanto la eficiencia y eficacia con que se utilizan los recursos en el proceso productivo, ya que no solo se debe hacer más con menos, sino que también se debe cumplir con lo presupuestado en costos y plazos.

Con el índice de productividad del costo por área construida equivalente se conoce el desempeño de los trabajos en el tiempo, teniendo como punto de comparación el costo presupuestado por sector.

Con el índice de productividad de la Cantidad de Obras por la mano de obra, se establece una medida de la magnitud de obras en actividades principales que aporta cada trabajador al año en la preparación minera y a diferencia de medirlo a través del gasto que se incurre por persona al año, como actualmente se mide, no existen los problemas debido a las diferencias de los cobros por el contexto del mercado o la competencia que exista entre las empresas contratistas.

Dada la construcción de los indicadores y la creación de las medidas para cuantificar la producción por medio de una sola unidad, van a existir efectos que originan variabilidad y ciertas repercusiones a la hora de comparar y hacer el seguimiento de la productividad en preparación minera. Debido principalmente al detalle de las actividades que son consideradas en la medición.

De acuerdo a los resultados obtenidos en los últimos cinco años, Esmeralda ha tenido un promedio anual de 17 metros equivalentes por persona, Reservas Norte de 15 y Diablo Regimiento de 18. En donde, los tres sectores han aumentado a lo largo del tiempo dicho indicador, lo que habla del mejoramiento de la eficiencia en la utilización de un importantísimo recurso como lo es la mano de obra. En la División a lo largo del tiempo ha existido un aumento en la eficiencia medida por el indicador del 90% desde el año 2006 al 2015.

El porcentaje de cumplimiento de obras presenta un aumento ostensible para el sector Esmeralda llegando al 97% en relación al programa de Revisión B, asimismo en Reservas Norte llegó hasta un 90% del cumplimiento para el año 2014, bajando al año

2015. Finalmente, en Diablo Regimiento el cumplimiento va a la baja y se ha visto mermada desde el año 2011 al 2015, llegando a un 85%. En promedio el nivel de cumplimiento es alto a nivel de la División obteniendo en el periodo de 10 años (2006 – 2015) solo 3 años con un cumplimiento por debajo del 90%.

Si bien, los indicadores planteados no entregan en detalle los problemas que pueden estar provocando una baja productividad, si se puede observar la existencia de anomalías y diferencias en productividad en el tiempo. Por lo que genera el primer paso para comenzar a analizar y adentrarse en el detalle de las labores para preparar minas.

Gracias a la comparación de la evolución de la eficiencia que han tenido las labores de preparación minera en la División con respecto al precio del cobre se tiene que, en los momentos de precios bajos del cobre, es cuando existe una mayor eficiencia y cuando hay altos precios la eficiencia tiende a la baja. Lo anterior se debe a los ajustes y holguras que se dan en la industria producto de las altas y bajas utilidades que otorga las fluctuaciones del precio.

Por otro lado, para analizar de mejor manera los resultados y conocer en detalle los factores que pueden estar afectando la productividad, es necesario enlazar cada uno de los aspectos que influyen en la preparación minera, por medio de la utilización de indicadores de desempeño y rendimientos de cada una de las actividades que ayuden al seguimiento y control de las obras para conocer la situación de la empresa y detectar las ineficiencias en el proceso, de manera de generar respuestas inmediatas desde la planificación para mejorar a futuro.

Para finalizar, hay que destacar el camino que ha recorrido la preparación minera en la División obteniendo un mejoramiento en los resultados de los indicadores de productividad, gracias a una robusta gestión mediante una serie de herramientas que ha logrado sacar resultados. Por otro lado, aún queda una serie de desafíos a futuro que tienen que ver con la administración de contratos y de ver cómo capturar valor para Codelco de las mejoras en productividad de las empresas contratistas.

7.2. Recomendaciones a futuro

Se recomienda ampliar la metodología planteada para proyectos de preparación minera incluyendo una mayor cantidad de actividades que las consideradas como las principales, con el fin de que haya una menor variabilidad en las métricas expuestas y que considere el total de las obras que se realizan normalmente para preparar minas. Además, se propone que exista una mayor cantidad de ponderadores de acuerdo al detalle de diseño y requerimientos que exija cada actividad, como el número de trabajadores por actividad, en donde, por ejemplo, las diferentes secciones de desarrollo horizontal puedan ser evaluadas y que no sean consideradas por igual dado el nivel.

Para completar el trabajo se propone realizar un estudio de los rendimientos históricos para cada una de las actividades por separado, que junto al indicador general proporcionado puede establecer una medida de control que sirva para analizar de mejor manera los factores que están afectando.

Se propone además correlacionar la productividad de la preparación minera con otros factores propios de las características de la actividad minera, como la geología, en donde, por ejemplo, la dureza de la roca puede provocar peores rendimientos en las excavaciones mineras, lo que conlleva mayores costos en perforación y tronadura, pero también, una roca más resistente puede requerir menor fortificación, reduciendo los costos en este aspecto. Otro factor puede ser en cuanto a la variante del método de Panel Caving y las restricciones geomecánicas que presenta cada sector en relación a la zona de transición.

Para estudios futuros se propone evaluar el impacto o variabilidad en la productividad de acuerdo al cambio de cada factor que pueda estar afectando, junto con conocer el impacto económico de presentar una mayor o peor productividad, tanto en el cumplimiento de la preparación como en la eficiencia de la construcción.

CAPÍTULO VIII

BIBLIOGRAFÍA

Alarcón, L. Serpell, A. Grillo, A. Díaz, D. 1997. Un sistema de medición y evaluación de desempeño para empresas constructoras chilenas. Chile, Pontificia Universidad Católica. Departamento de Ingeniería y Gestión de la Construcción. Cámara Chilena de la Construcción.

Alvarado, I. 2016. Diseño y evaluación de una alternativa para la extracción de marina en División El Teniente. Memoria para Optar al Título de Ingeniero Civil de Minas. Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.

Cámara de Comercio de Medellín para Antioquia. Medición de Productividad del Valor Agregado: El primer paso hacia la competitividad. Medellín, Colombia.

Camhi, J. 2012. Optimización de los Procesos de Desarrollo y Construcción en Minería de Block Caving Caso Estudio Mina El Teniente Codelco Chile. Tesis para Optar al Grado de Magíster en Minería. Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.

Campero, M. Alarcón, L. 2008. Administración de Proyectos Civiles. Chile, Pontificia Universidad Católica. Facultad de Ingeniería.

Centro de Excelencia en Gestión de la Producción. 2012. Pontificia Universidad Católica de Chile. Programa de Mejoramiento de Productividad mediante Implementación de Filosofía LEAN.

Consejo Minero, Cámara Chilena de la Construcción. 2015. Buenas prácticas en la construcción minera, Chile.

Contreras, C. 2015. Simulación como herramienta para la planificación de la preparación minera en minería tipo Block/Panel Caving. Memoria para Optar al Título de Ingeniero Civil de Minas. Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.

Indhira M. Jiménez P. y Jorge M. Molina E. 2006. Propuesta de medición de la productividad en minería de oro vetiforme y reconocimiento de estándares productivos sostenibles. Parque Tecnológico de la Minería y los Materiales – PTEM, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Colombia.

León, J. García, A. López, A. 2014. Bases para el Estudio de Factores que afectan la Productividad en la Construcción Minera. Santiago, Chile. Corporación de Desarrollo Tecnológico.

Mozón, R. 2009. Estimación de pérdidas de productividad laboral en compensación de costos en un proyecto de construcción de la provincia de Llanquihue. Valdivia, Chile.

Tesis para optar al Título de Ingeniero Constructor, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Escuela de Ingeniería en Construcción.

Panas, A. and Pantouvakis, J. P. 2010. Evaluating Research Methodology in Construction Productivity Studies. Centre for Construction Innovation, Department of construction Engineering and Management, Faculty of Civil Engineering, National Technical University of Athens, Greece.

Salgado, J. 2009. Secuenciamiento genérico de obras para la Planificación de preparación minera mina El Teniente. Memoria para Optar al Título de Ingeniero Civil de Minas. Santiago, Chile. Universidad de Santiago de Chile, Facultad de Ingeniería.

Serpell, A. Alarcón, L. 2001. Planificación y Control de Proyectos. Chile, Pontificia Universidad Católica. Facultad de Ingeniería.

Sigismondi, M. 2004. Diseño de un modelo para gerenciar la productividad de construcción en obras de ingeniería. Universidad Católica Andrés Bello, Ingeniería Gerencia de Proyectos, Caracas, Venezuela.

Tello, P. 2016. Análisis de productividad laboral en obras de construcción en proyectos subterráneos de la División El Teniente. Memoria para Optar al Título de Ingeniero Civil de Minas. Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.

Topp, V. Soames, L. Parham, D. Bloch, H. 2008. Productivity in the Mining Industry: Measurement and Interpretation. Australian Government. Productivity Commission. Australia.

ANEXOS

ANEXO A: Detalle de indicadores utilizados en la preparación minera de El Teniente

Tabla A-0-1 Cuadro resumen con el detalle de las observaciones de cada métrica.

Indicadores	Métricas	Observaciones
Polinomio de riesgos profesionales	Índice de Frecuencia Global	Corresponde al número de lesionados ocurridos (en accidentes con tiempo perdido) por cada millón de horas trabajadas. Su forma de cálculo se encuentra normada en el D.S. N° 40/69, de acuerdo a lo siguiente: $IFG = N^{\circ} \text{ Lesionados} * 1.000.000 / \text{Horas Trabajadas}$.
	Índice de Frecuencia Global	Este índice mide la relación existente entre accidentes con y sin tiempo perdido y el total de horas-hombres trabajadas de la dotación global, con base 1.000.000 de horas-hombre. $IFTG = N^{\circ} \text{ Lesionados (CTP + STP)} * 1.000.000 / \text{Horas Trabajadas}$.
	Índice de Gravedad Global	Corresponde al número de días perdidos ocurridos por cada millón de horas trabajadas. Su forma de cálculo se encuentra normada en el D.S. N° 40/69, el cual considera que al tiempo de ausencia al trabajo deberá agregarse el N° de días necesarios de acuerdo con las tablas internacionales para valorar las incapacidades permanentes y muertes. $IGG = N^{\circ} \text{ Días Perdidos} * 1.000.000 / \text{Horas Trabajadas}$.
Polinomio calidad	Índice de Calidad de Obra	Corresponde al cálculo del índice de calidad de la obra realizada: $IC = (N^{\circ} \text{ de muestras} - \text{no conformidades}) * 100 / N^{\circ} \text{ de muestras}$.
	Índice de Hallazgos	Corresponde a la evaluación de acuerdo a la cantidad de hallazgos encontrados mensualmente en los ámbitos de seguridad, calidad o medio ambiente.
Avance Físico y Financiero del Contrato	% Desviación financiera	Este indicador mide la desviación del avance financiero efectivo en el periodo correspondiente; respecto del presupuesto proyectado durante el periodo anterior.
	Medición de la eficiencia de la programación % Avance físico	Este indicador mide la eficiencia en la programación mensual de las obras, y se contrastará con el mes cumplido versus el mes que se programa. Este indicador medirá el cumplimiento del avance físico respecto del último programa de obras acordado entre el mandante y la empresa contratista que debe estar formalizado en el LOD. El programa se puede actualizar durante el año con las órdenes de cambio que correspondan según lo indique el LOD.
Cumplimiento de Hitos Equipo personal del Contratista	Cumplimiento de Hitos	Los hitos del contrato deberán quedar en el LOD y según esto se medirá su cumplimiento.
	Puestos de personal superior ocupados	Nivel de ocupación de los puestos de trabajo claves, medidos como los de ocupación de cada uno de los puestos de Personal Superior, durante el periodo (suma de días con puesto ocupado con nombre pre-aprobado por Codelco, para todos los puestos sobre días del periodo por número de puestos).
Capacitación del Personal del Contratista	Capacitación realizada	Actividades de capacitación efectivamente realizadas y completadas/certificadas, sobre capacitación programada.
Productividad del Personal del Contratista	Valor facturado mensual sobre número de persona total	Facturación efectiva sobre número de personal, medido como equivalentes de tiempo completo.

ANEXO B: Cálculo para pasar a una moneda de un año con respecto a otro

Para realizar el cálculo y pasar de una Moneda Nacional (MN) o Moneda Extranjera (ME) de un año a otro se debe realizar lo siguiente:

- Si la Moneda Base considerada es por ejemplo MB2008 y se quiere llevar a MB2009, entonces van a existir dos factores calculados en base al IPC si es Moneda Nacional o al IPM si es Moneda Extranjera de un año con respecto al que se quiere llevar.
 - Factor MN 0.901237
 - Factor ME 1.100057
- Por lo tanto, las cifras en MN se multiplican por el factor indicado, y de igual forma el ME.
- Los gastos mensuales que se imputan siempre están en moneda corriente para lo cual, mes a mes el Banco Central publica los datos a través del INE. Los datos que se publican son Tasa de Cambio (Tc): promedio del mes, IPC del mes y el IPM USA, y se realiza el mismo ajuste para llevarlo a la moneda presupuestaria del año.

El factor MN calculado de MB2008 a MB2009 se calcula en base a IPC 2008: 133.58, IPC 2009: 148.9 con Tc 2008: 532 \$/USD y Tc 2009: 658 \$/USD, de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$Factor\ MN: \frac{IPC\ 2008}{IPC\ 2009} * \frac{Tc\ 2009}{Tc\ 2008}$$

Ecuación B 0-1 Cálculo de factor para cambio de moneda base

Lo mismo se realiza para calcular el factor ME cambiando el IPC por el IPM.

Finalmente, este factor es el que se multiplica por el monto que se quiere cambiar a otro año.

ANEXO C: Datos y ponderadores utilizados para las métricas propuestas

Tabla C-0-1 Ponderador de cantidad de actividad y de peso económico en porcentaje.

Actividades	Nivel	Diablo Regimiento		Esmeralda		Reservas Norte	
		Peso Económico	Pond. cantidad	Peso Económico	Pond. Cantidad	Peso Económico	Pond. Cantidad
Desarrollo Horizontal	NH	24.34%	13.51	17.59%	10.75	18.09%	10.70
	NP	31.48%	12.42	19.03%	11.79	16.96%	11.52
	NA	0.00%	0.00	7.15%	100.00	5.00%	100.00
	SNV	7.22%	86.21	4.08%	75.19	3.78%	86.21
Desarrollo Vertical	NP	8.10%	47.91	6.18%	40.57	6.52%	39.68
	NA	0.00%	0.00	1.91%	133.33	1.94%	133.33
	SNV	2.61%	156.25	3.05%	83.33	4.14%	62.50
Puntos de Extracción	NP	12.58%	333.33	9.90%	294.12	10.39%	277.78
Construcción Muros	NP	1.08%	333.33	8.26%	294.12	8.56%	277.78
Sistema de Traspaso	NA	0.00%	0.00	10.67%	3333.33	11.03%	3333.33
Perforación NH	NH	3.23%	1.11	3.53%	0.67	3.49%	0.78
Perforación NP	NP	9.36%	0.38	8.66%	0.27	10.11%	0.27
TOTAL		100%		100%		100%	

Tabla C-0-2 Costos por actividades principales en el área de 100 x 100 m² en USD MB2015.

Actividades	Nivel	Costo por actividad en el área de 100 x 100 [USD]		
		Diablo Regimiento	Esmeralda	Reservas Norte
Desarrollo Horizontal	NH	1,830,111	2,126,730	1,901,790
	NP	2,366,670	2,301,115	1,782,958
	NA	0	864,373	525,529
	SNV	542,658	492,971	397,836
Desarrollo Vertical	NP	609,136	747,319	684,952
	NA	0	230,314	203,855
	SNV	196,216	368,503	434,890
Puntos de Extracción	NP	945,683	1,197,400	1,091,849
Construcción Muros	NP	81,545	998,705	899,899
Sistema de Traspaso	NA	0	1,289,533	1,159,427
Perforación NH	NH	243,081	426,385	366,464
Perforación NP	NP	703,793	1,046,441	1,062,253
TOTAL		7,518,895	12,089,788	10,511,703

Tabla C-0-3 Cantidad de actividades principales requeridas por sector para un área de 100 x 100 m²

Actividades	Nivel	Unidad	Cantidad requerida por sector		
			Diablo	Esmeralda	Reservas Norte
Desarrollo Horizontal	NH	m	740	930	934
	NP	m	805	848	868
	NA	m	0	100	100
	SNV	m	116	133	116
Desarrollo Vertical	NP	m	209	247	252
	NA	m	0	75	75
Puntos de Extracción	SNV	m	64	120	160
Construcción Muros	NP	U	30	34	36
Sistema de Traspaso	NP	U	30	34	36
Perforación Radial	NA	U	0	3	3
Perforación Radial	NH	mb	9,000	15,000	12,892
Perforación Radial	NP	mb	26,489	37,060	37,620

Tabla C-0-4 Detalle de las actividades principales y el ponderador para la Cantidad de Obra.

Actividades principales	Nivel	Detalle / Especificaciones (PM: Perno Malla; PMS: Perno Malla Shotcrete)	UNID.	Precio Unitario promedio act. [USD]	Precio Promedio Total [USD]
Desarrollos Horizontales	NH	Desarrollo 4,7 x 4,1 PM	m	3,075	2,655
		Desarrollo 4.0x4.0 PMS	m	2,450	
		Desarrollo 4,3x3,6 PM	m	5,948	
		Desarrollo 4.0 x 3.6 PMS	m	2,251	
		Desarrollo 3.6x3.6 PMS	m	2,490	
		Desarrollo 3.0x3.8 PMS	m	2,626	
		Desarrollo 2.7x2.6 PMS	m	1,984	
		Desarrollo 2,5 x 2,5 PM	m	1,799	
	Desarrollo 2.4 x 2.4 PMS	m	1,272		
	NP	Desarrollo 6,0 x 4,0 PMS	m	4,112	2,945
		Desarrollo 5,2x4,32 PMS	m	4,657	
		Desarrollo 5,0 x 4,3 PMS	m	4,513	
		Desarrollo 5,2 x 4,4 PMS	m	4,262	
		Desarrollo 4,7 x 4,32 PMS	m	4,255	
		Desarrollo 4,5 x 4,0 PMS	m	4,273	
Desarrollo 4,2 x 3,9 PMS		m	2,829		
Desarrollo 4,2 x 3,8 PMS	m	2,320			
Desarrollo 4,1 x 3,9 PMS	m	2,764			

			Desarrollo 4,1 x 3,6 PMS	m	2,068	
			Desarrollo 4,0 x 4,0 PMS	m	2,562	
			Desarrollo 4,0 x 3,7 PMS	m	2,046	
			Desarrollo 4,0 x 3,6 PMS	m	2,002	
			Desarrollo 3,6 x 3,9 PMS	m	2,787	
			Desarrollo 3,6 x 3,6 PMS	m	2,685	
			Desarrollo 3,0 x 3,8 PMS	m	2,751	
			Desarrollo 2,7 x 2,6 PMS	m	2,517	
			Desarrollo 2,5 x 2,5 PMS	m	2,504	
			Desarrollo 2,4 x 2,4 PMS	m	1,292	
			Desarrollo 2,0 x 2,0 PMS	m	1,698	
			Desarrollo 6,2 x 6,1 PMS	m	5,559	
			Desarrollo 5,7 x 5,1 PMS	m	4,834	
			Desarrollo 5,2 x 5,1 PMS	m	3,115	
			Desarrollo 5,2 x 4,6 PMS	m	3,892	
			Desarrollo 5,0 x 4,5 PMS	m	4,052	
	SNV		Desarrollo 5,0 x 4,25 PMS	m	6,541	4,693
			Desarrollo 4,7 x 4,1 PMS	m	5,842	
			Desarrollo 4,5 x 4,1 PMS	m	3,172	
			Desarrollo 4,5 x 4,0 PMS	m	6,260	
			Desarrollo 4,2 x 4,1 PMS	m	3,662	
			Desarrollo 6 x 6 PMSC	m	4,386	
			Desarrollo 5,0 x 4,9 PMSC	m	5,500	
			Desarrollo 4,2 x 4,1 PMS	m	3,896	
	NA		Desarrollo 3,6 x 4,0 PMS	m	3,894	3,516
			Desarrollo 3,0 x 3,8 PMS	m	2,536	
			Desarrollo 2,7 x 2,6 PMS	m	3,060	
			Desarrollo 2,4 x 2,4 PMS	m	1,343	
			Desarrollo Vertical D 1,5 m	m	3,425	3,425
Puntos de Extracción	de	NP	Construcción Punto de Extracción	U	23,379	25,624
		NP	Fortificación Visera Punto Extracción	U	2,244	
Construcción Muros		NP	Construcción Especial Muros 2 kg/cm ²	U	30,594	30,594
Perforación NH		NH	Perforación Radial	m	31	31
Perforación NP		NP	Perforación Zanjas	m	31	31
		NP	Excavación y fortificación de Brocal del Punto de Vaciado	U	19,346	
Sistema Traspaso	de	NP	Desquinche Pique de Producción Buzón D 1,5 a 3,4	U	29,483	1,311,515
		NP	Fortificación Definitiva de Pique	U	24,186	
		NP	Blindaje Pique (hormigon-planchas)	U	50,003	

NP	Punto de Vaciado (OCC, brocal, pavimento)	U	50,517
NP	Desquinche y fortificación Punto de Vaciado	U	39,366
NA	Exca y forti (P-C-M-S) Estación de Carguío Buzones y tronco	U	146,669
NA	Construcción Tronco Pique (OCC-hormigón -blindaje)	U	96,100
NA	Construcción y OCC Estación de Carguío Buzón	U	41,235
NA	Montaje Buzón de Carguío	U	48,392
NA	Sumin.y monta. compo. hidráulicos, centrales, interconexión, cilindros, compuerta, puesta en marcha Buzón	U	141,086
NA	Puesta en marcha Buzón	U	8,174
NA	Construcción y obras civiles unidad hidráulica	GL	481,405
NA	Obras civiles y habilitación sala hidráulica	gl	46,593
NA	Obras eléctricas en buzones de carguío	UN	6,093
NA	Pruebas y puesta en marcha estación de Carguío Buzón	U	37,359
NA	Puesta en servicio Buzones	UN	19,150
NP	Puesta en servicio Martillos	UN	26,356

ANEXO D: Gastos incurridos y mediciones físicas de obras

Tabla D-0-1 Gastos incurridos por Esmeralda

Gastos Incurridos Esmeralda				
USD x 1,000	2012	2013	2014	2015
Ingeniería	2,402	2,472	2,433	2,905
Adquisiciones	5,914	3,898	2,861	7,448
Construcciones	62,637	70,162	74,297	71,042
Reparaciones	S/I	1,101	2,419	3,024
Gastos Secundarios	S/I	8,546	10,067	8,599

Tabla D-0-2 Gastos incurridos Reservas Norte

Gastos Incurridos Reservas Norte				
USD x 1,000	2012	2013	2014	2015
Ingeniería	1,751	1,959	1,693	1,197
Adquisiciones	2,425	2,525	6,617	2,390
Construcciones	42,960	45,219	39,788	32,561
Reparaciones	S/I	503	-	498
Gastos Secundarios	S/I	7,863	6,506	4,035

Tabla D-0-3 Gastos incurridos Diablo Regimiento

Gastos Incurridos Diablo Regimiento				
USD x 1,000	2012	2013	2014	2015
Ingeniería	1,017	1,060	832	716
Adquisiciones	909	807	505	454
Construcciones	27,996	24,897	20,165	19,799
Reparaciones	S/I	735	-	456
Gastos Secundarios	S/I	4,059	3,213	2,996

Tabla D-0-4 Medición física de obras a modo general de la División El Teniente de las actividades principales

Actividades principales		2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Desarrollos Horizontales	m	15,629	14,832	18,718	19,727	18,063	14,679	11,904	13,274	14,012	21,535
Desarrollos Verticales	m	3,784	3,724	2,973	3,916	3,914	3,593	3,853	4,409	3,791	5,386
Construcción Puntos de Extracción	u	249	201	234	307	330	268	311	258	190	305
Construcción Muros	u	-	-	-	197	201	190	206	195	166	223
Sistema de Traspaso	u	17	23	22	30	23	28	22	20	12	12
Perforación de Socavación	mb	90,121	57,503	45,842	109,825	115,179	164,048	158,065	212,083	240,252	289,792
Perforación de Zanjas	mb	82,593	189,653	220,220	178,709	159,415	185,206	178,429	186,401	210,675	224,590

Tabla D-0-5 Medición física de obras de las actividades principales del sector Esmeralda

		Actividades principales - Esmeralda									
		2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
	Total	7,419	6,886	5,754	6,724	6,342	4,556	5,724	6,038	6,752	6,943
Desarrollo Horizontal	NH	1,198	875	728	2,029	1,569	1,294	1,625	2,059	1,564	1,670
	NP	3,011	2,674	2,869	2,914	3,432	2,877	2,480	2,968	2,747	3,314
	NA	1,642	1,284	1,010	64	327	112	1,224	703	1,670	1,441
	SNV	1,569	2,053	1,147	1,717	1,015	273	395	307	772	518
Desarrollo Vertical	Total	2,356	1,868	1,394	1,359	1,481	1,152	998	1,793	1,632	1,778
	NH	-	66	-	49	-	128	17	54	74	25
	NP	512	537	299	241	390	512	436	595	479	564
	NA	495	461	551	438	483	-	21	416	255	345
	SNV	1,349	804	544	630	609	511	524	728	824	844
Puntos de Extracción	Real	84	72	83	101	96	54	89	90	75	86
Construcción Muros	Real	-	-	-	107	49	98	125	97	101	87
Sistema de Traspaso	Real	11	13	11	12	12	6	7	13	9	10
Perforación NH	Real	12,693	10,753	24,053	29,948	261	62,734	96,617	113,869	110,829	136,550
Perforación NP	Real	43,541	73,640	91,543	76,120	13,875	16,711	31,973	30,008	26,990	35,219

Tabla D-0-6 Medición física de obras de las actividades principales para el sector Reservas Norte

		Actividades principales - Reservas Norte									
		2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
	Total	3,037	2,339	4,594	4,249	3,159	2,478	2,531	4,873	1,749	1,302
Desarrollo Horizontal	NH	281	877	1,550	1,087	225	890	689	1,240	617	231
	NP	1,558	1,194	2,398	2,246	2,487	1,387	1,411	3,010	764	927
	NA	-	13	646	487	292	91	356	207	166	134
	SNV	1,199	254	-	429	155	110	75	416	202	10
Desarrollo Vertical	Total	419	919	722	908	1,094	1,150	1,229	1,483	1,070	390
	NH	-	15	-	14	-	-	71	83	30	15
	NP	90	190	246	238	589	610	780	814	546	375
	NA	26	107	476	174	313	129	166	36	26	-
	SNV	303	608	-	482	192	411	212	551	468	-
Puntos de Extracción	Real	60	24	62	104	93	54	87	95	38	46
Construcción Muros	Real	-	-	-	91	129	57	69	98	43	40
Sistema de Traspaso	Real	-	4	7	14	7	9	7	6	2	4
Perforación NH	Real	1,086	4,453	7,982	24,293	40,491	16,117	27,973	57,598	88,871	129,400
Perforación NP	Real	2,457	36,351	59,775	57,454	77,472	92,751	58,264	58,154	67,302	25,180

**Tabla D-0-7 Medición física de obras de las actividades principales para el sector
Diablo Regimiento**

		Actividades principales - Diablo Regimiento									
		2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
	Total	3,344	3,267	4,315	4,144	1,814	2,118	2,434	1,874	1,465	1,568
Desarrollo Horizontal	NH	1,373	1,327	2,341	1,653	609	487	671	821	606	611
	NP	1,630	1,671	1,661	1,545	926	1,585	1,571	980	859	910
	NA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	SNV	340	269	313	947	280	47	193	74	-	48
Desarrollo Vertical	Total	315	694	330	522	681	394	497	621	547	502
	NH	-	-	20	20	-	-	18	28	26	-
	NP	64	251	216	383	455	298	300	370	481	397
	NA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	SNV	251	443	94	119	227	96	180	223	40	104
Puntos de Extracción	Real	28	33	23	31	63	55	73	49	14	33
Construcción Muros	Real	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sistema de Traspaso	Real	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Perforación NH	Real	9,700	14,133	13,807	11,519	12,325	9,392	25,525	18,154	19,931	19,206
Perforación NP	Real	16,824	31,847	27,272	19,690	41,094	24,824	62,939	54,449	67,309	54,457

ANEXO E: Detalle de las principales actividades consideradas

Sistemas de traspaso

Los sistemas de traspaso en general presentan las siguientes actividades que se deben realizar:

- Punto de vaciado
 - i. Excavación y fortificación del punto de vaciado
 - ii. Construcción del punto de vaciado
- Piloto de traspaso: perforación vertical para dar inicio a la construcción del pique de traspaso.
- Desquinche del pique: Una vez realizado la perforación piloto se procede a desquinchar para aumentar el diámetro del pique.
- Blindaje interior del pique: A través de anillos de acero que van montados unos sobre otros para fortificar el interior del pique.
- Desquinche de la estación: corresponde al desquinche por medio de P&T para la instalación de la estación.
- Construcción de la estación: corresponde a la instalación de la estación eléctrica para que pueda operar el buzón
- Montaje buzón (8,3%): corresponde a toda la colocación del sistema del buzón en el nivel de acarreo.
- Habilitación del martillo y buzón (24%)
 - i. Instalación del sistema hidráulico (40%)
 - ii. Telecomando de martillo y buzón (50%)
 - iii. Puesta en marcha (10%)

A continuación, se detalla el diseño de los sistemas de traspaso representativos de Esmeralda y Reservas Norte. Las principales diferencias se encuentran en el nivel de acarreo, donde el mineral es transportado por camiones (Reservas Norte) o por ferrocarril (Esmeralda) por otro lado se diferencian en menor medida en el largo del pique donde Reservas Norte presenta largos de 3 a 5 metros más que Esmeralda, puesto que la distancia del nivel de producción con el de acarreo es mayor. Por otro lado, el diámetro del pique es igual para ambos. Cabe destacar que estos diseños son representativos y que existen pequeñas diferencias entre cada sistema de traspaso, además existe la variante de piques en 90° o 60°.

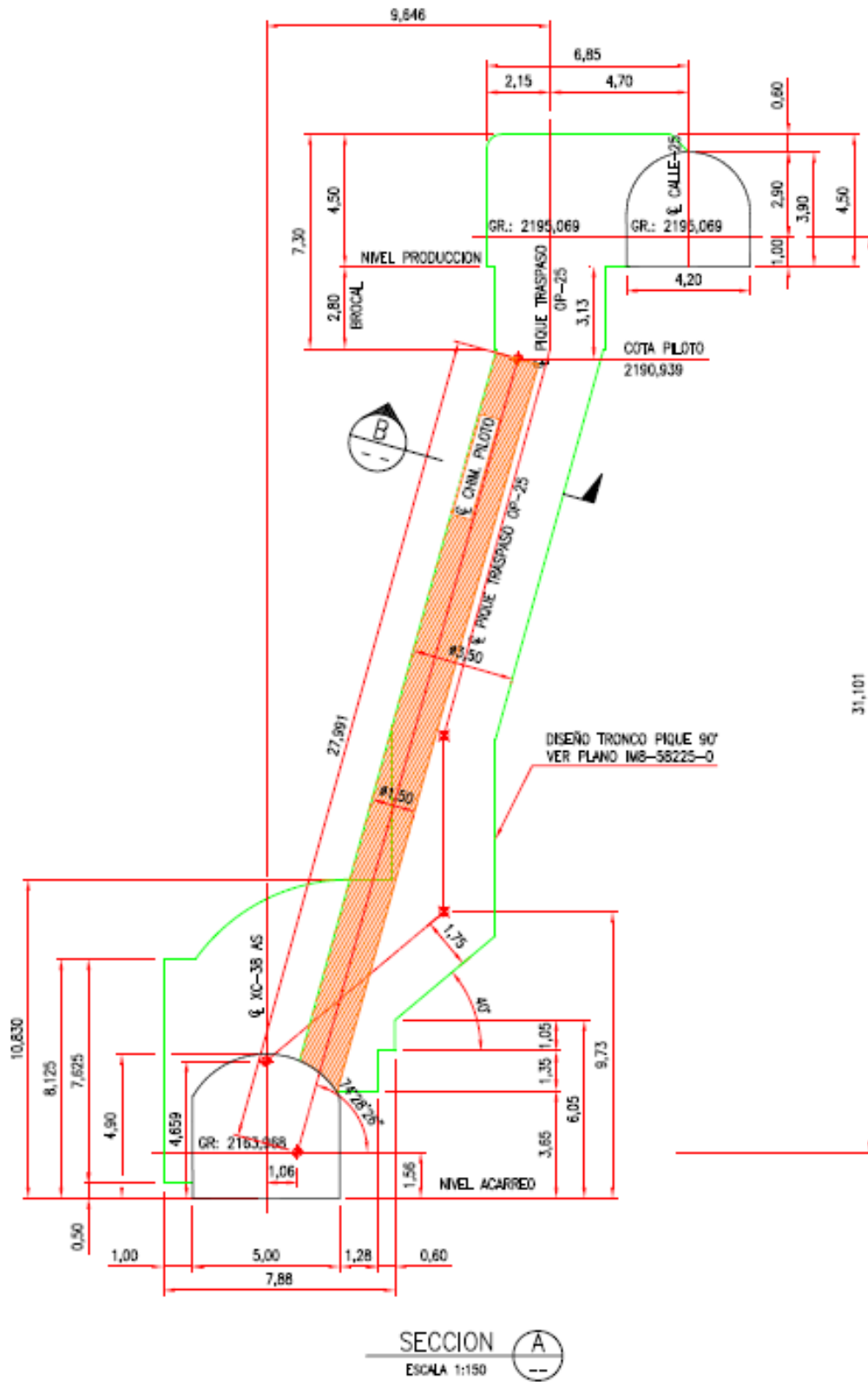


Figura E 0-1 Diseño de sistema de traspaso para Esmeralda

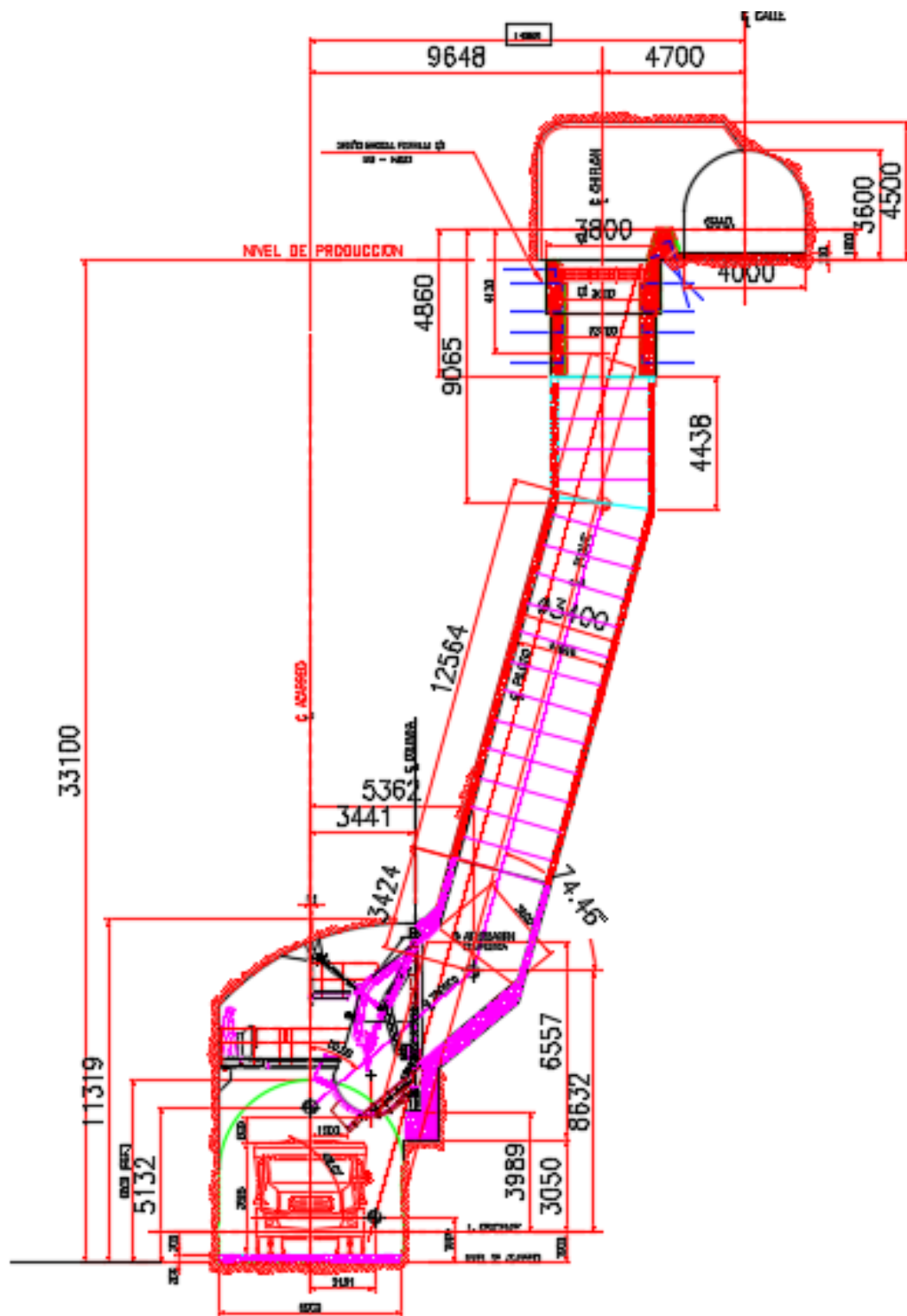


Figura E 0-2 Diseño sistema traspaso para Reservas Norte

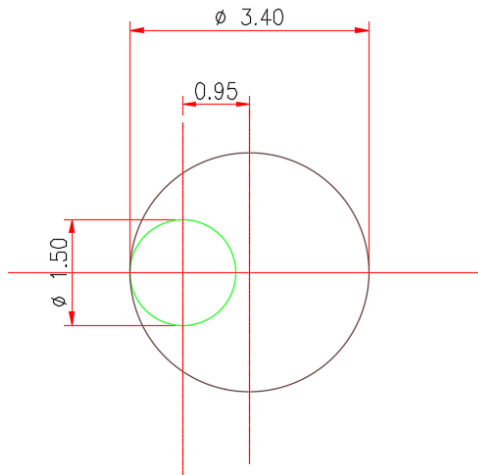


Figura E 0-3 Corte sección del pique de traspaso con piloto- Reservas Norte

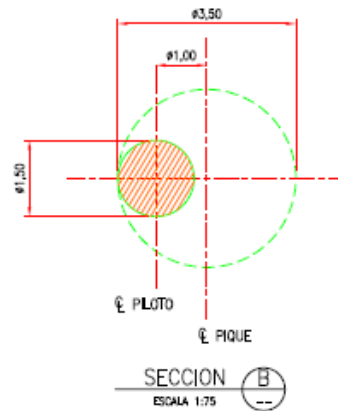


Figura E 0-4 Corte sección del pique de traspaso con piloto- Esmeralda

Muros de fortificación de pilares

La construcción de muros en los tres sectores no presenta mayores diferencias. Siendo prácticamente iguales en los sectores de Reservas Norte y Esmeralda, existiendo diferencias con respecto a Diablo Regimiento debido a que existe un Perno Rosca con lechada de más en cada parada además de los cables corchetes, el detalle se ve en las Figura E 0-1, Figura E 0-2 y Figura E 0-3.

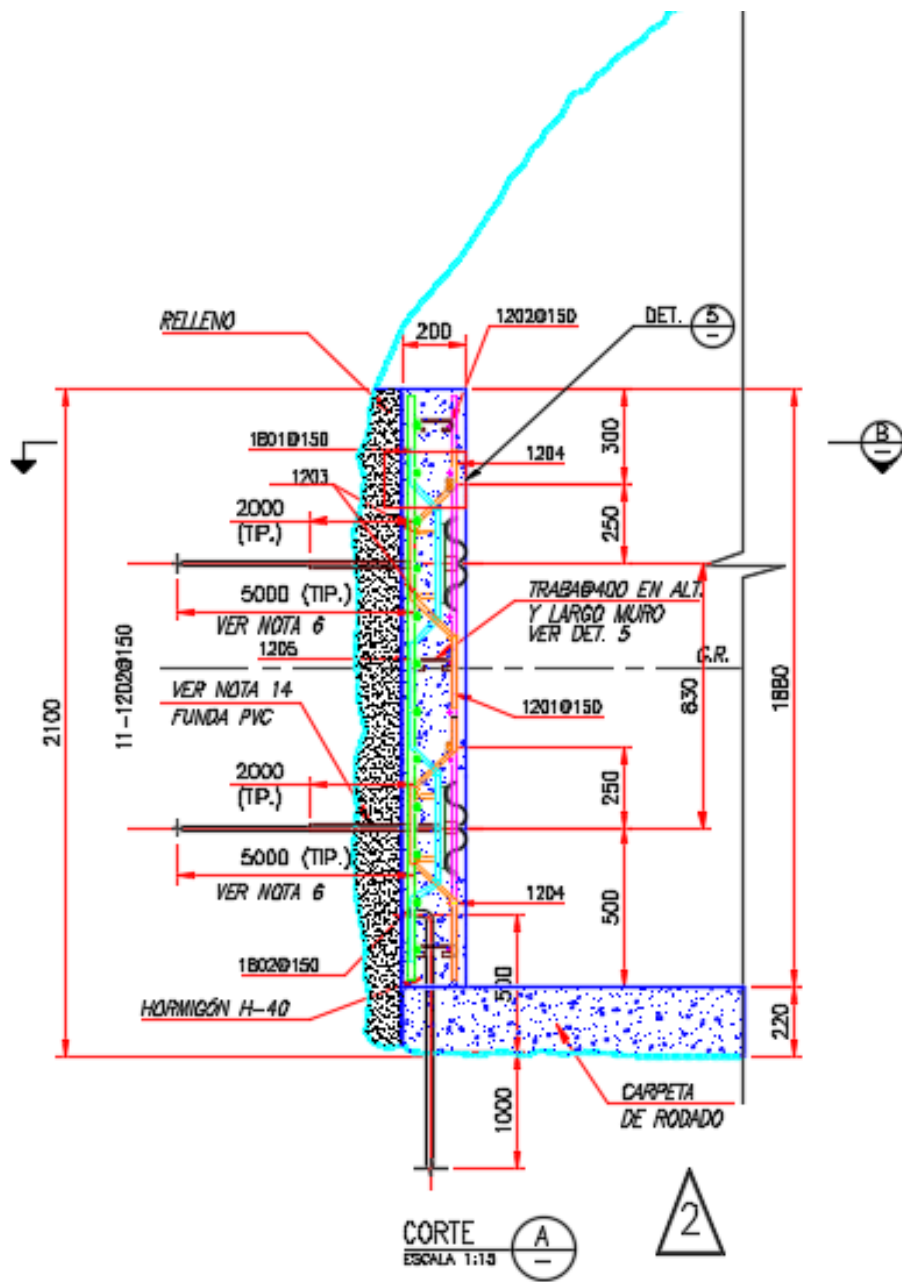


Figura E 0-1 Diseño Muros de fortificación pilares para Esmeralda y Reservas Norte

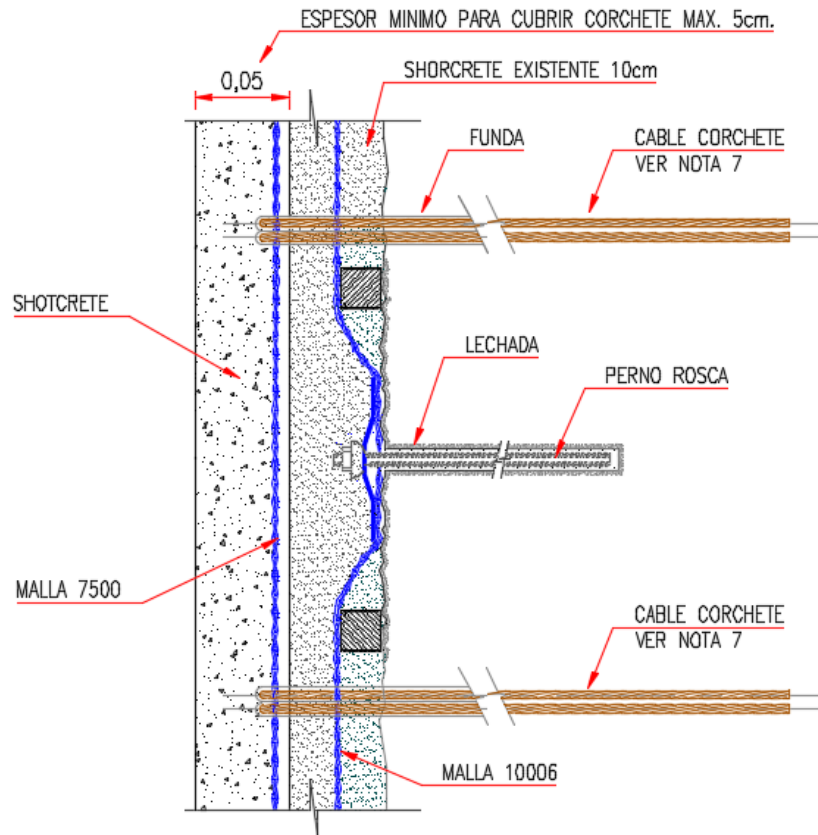


Figura E 0-2 Diseño muros de fortificación pilares para Diablo Regimiento

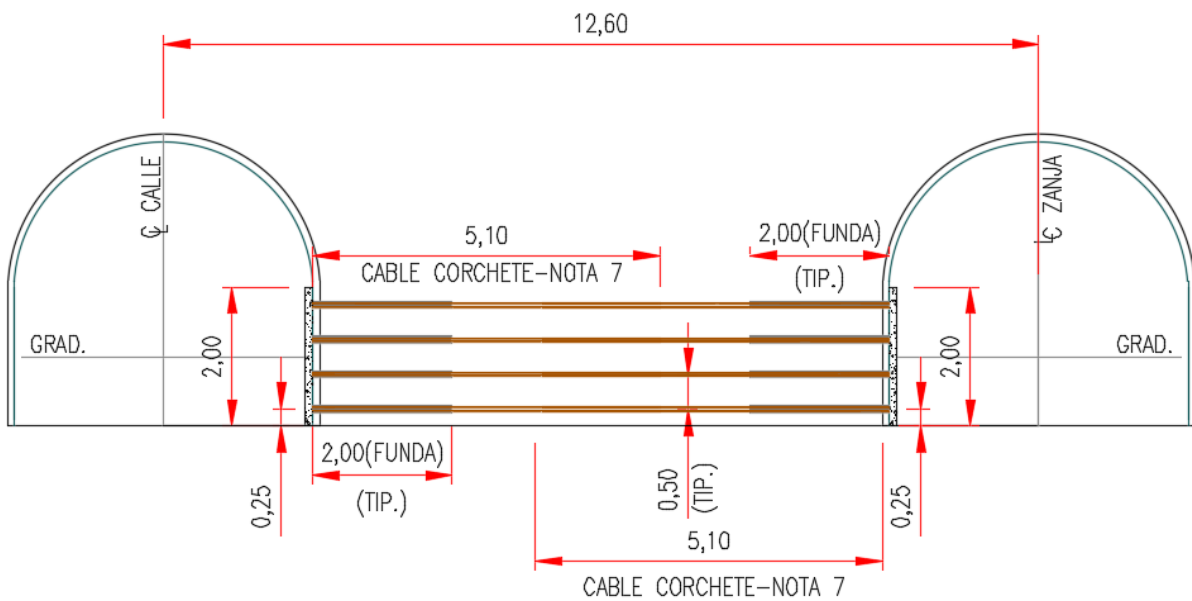


Figura E 0-3 Diseño Muros de fortificación pilares, vista entre calles, para Diablo Regimiento

Puntos de extracción

Las especificaciones en los diseños de los puntos de extracción se presentan en las Figura E 0-1, Figura E 0-2, Figura E 0-3, Figura E 0-4 y Figura E 0-5. Donde no existen grandes diferencias entre los tres sectores.

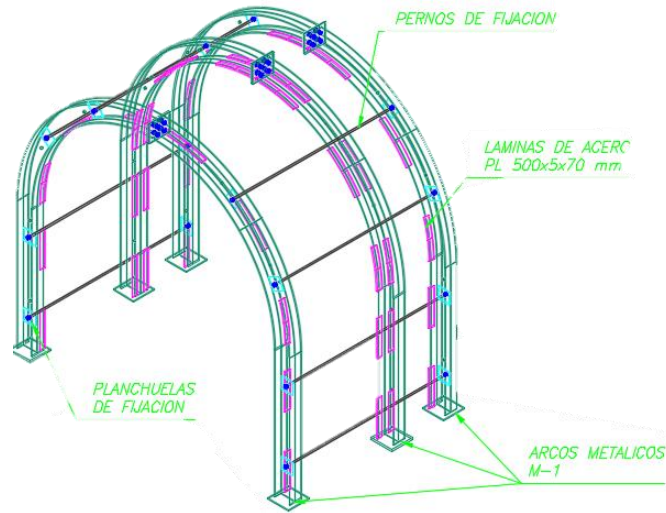


Figura E 0-1 Arcos metálicos para puntos de extracción Esmeralda y Reservas Norte

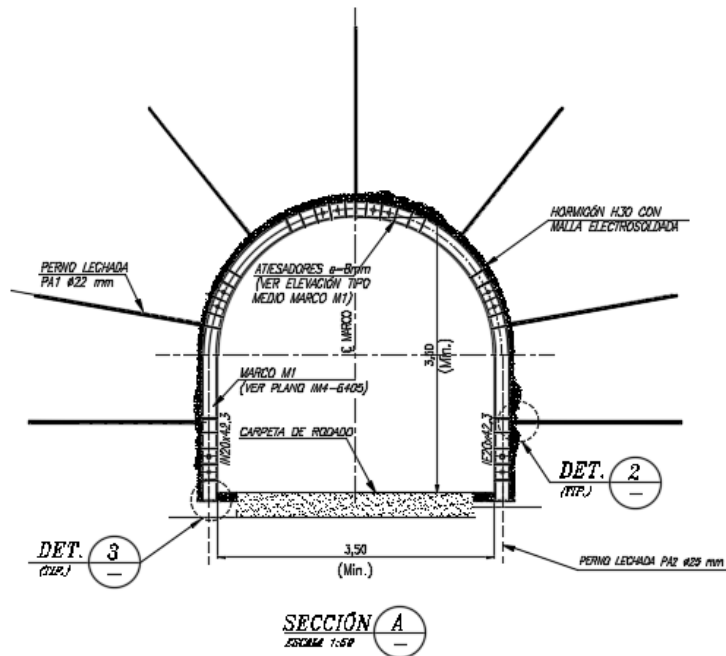


Figura E 0-2 Vista sección zanja en diseño de puntos de extracción para Esmeralda y Reservas Norte

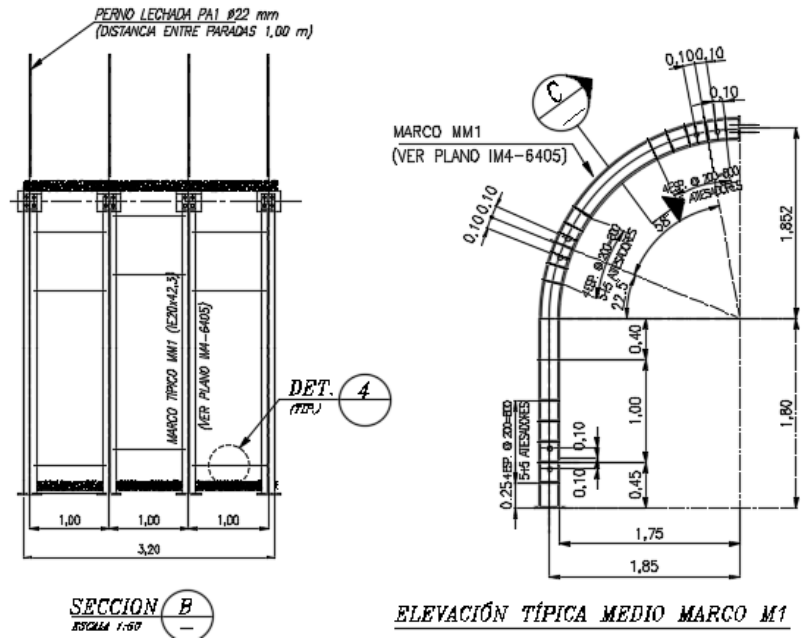


Figura E 0-3 Diseño de puntos de extracción de marcos de acero. Esmeralda y Reservas Norte

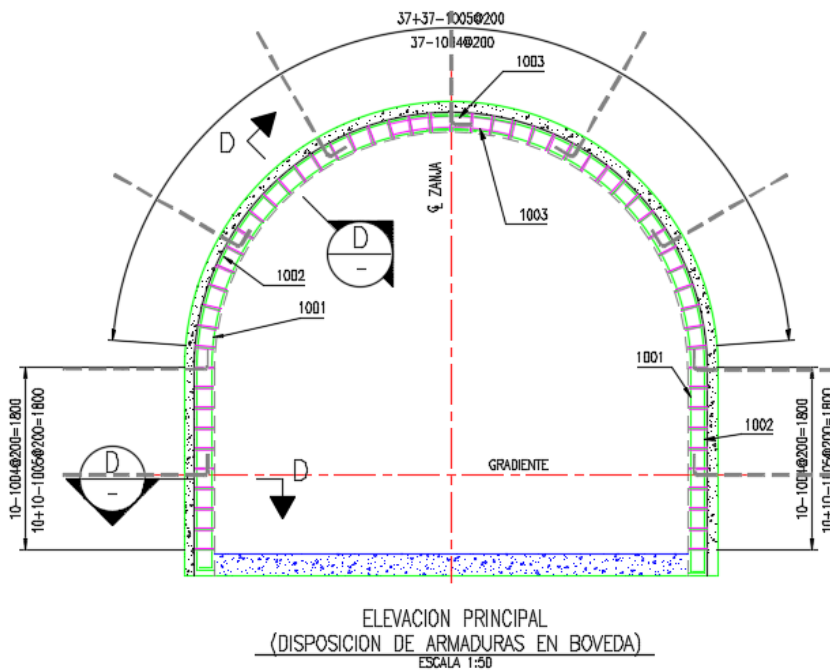


Figura E 0-4 Vista sección zanja en diseño de puntos de extracción Diabolo Regimiento

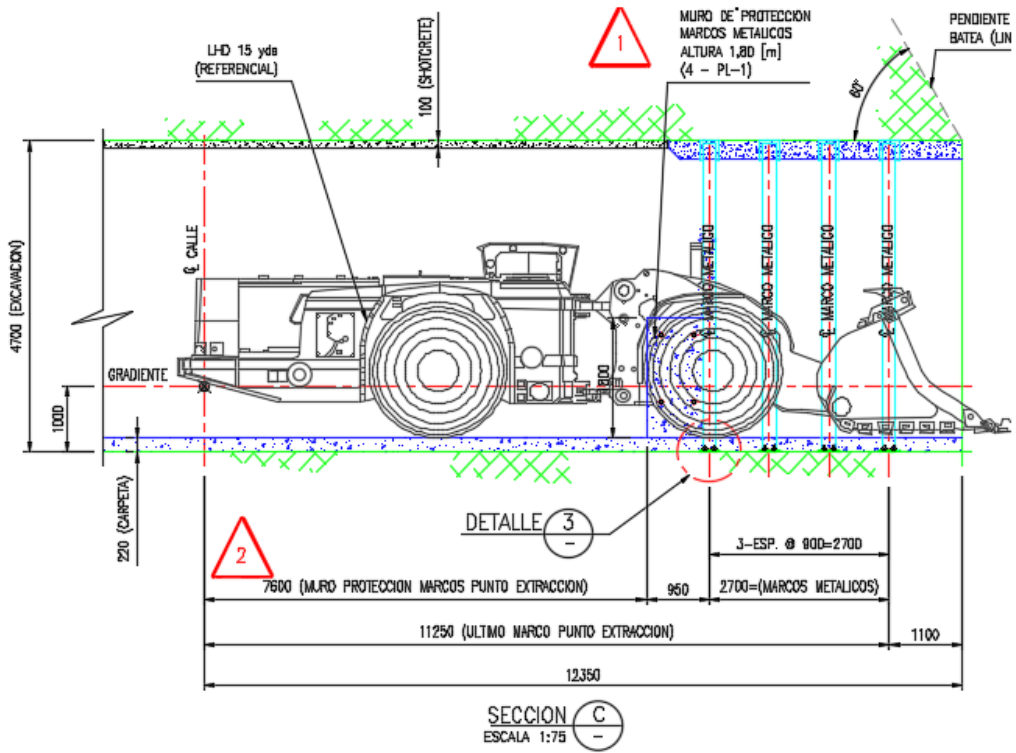


Figura E 0-5 Vista perfil zanja en diseño de puntos de extracción de marcos de acero Diablos Regimiento