Proyecto de Titulación para Optar al Título de Ingeniero Civil Industrial

"Impacto en la productividad por la incorporación de nueva tecnología en la maquinaria para la construcción de túneles en minería."

Rut:
18.495.217-3

Alumno:
Joaquín Rodrigo González Rivas

Mail:
joaquin.gonzalezr@mayor.cl

Profesor Guía Propuesto:
Oscar A. Inostroza Aliaga

Mail:
oscar_inostroza@yahoo.cl
oscar.inostroza@mayor.cl

Teléfono:
+56999478525

No. Revisión:
00

Santiago de Chile

Mayo 2019

Dedicatoria

Esta tesis está dedicada a mis abuelas María Pérez de Arce y Susana Miranda, que, si bien hoy no están conmigo, siempre sentí su apoyo y cariño incondicional.

Además de agradecer la educación y los valores que ellas, junto a mis abuelos, lograron entregar e inculcar a mis padres.

Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer la oportunidad que me dio la empresa Constructora Gardilcic Ltda. de desarrollar mi proyecto de tesis dentro de su organización. Además de agradecer los conocimientos entregados a partir de esta experiencia.

Quiero agradecer también a mis padres, María Rivas y Rodrigo González por la educación que me brindaron día a día, por el cariño, los consejos y por su apoyo incondicional dentro de este proceso. Siendo ellos los principales promotores de este logro.

A mis abuelos, tíos y hermanos, por ser un pilar importante en este proceso, apoyando, ayudándome con todo lo que necesité y dándome la confianza necesaria para poder lograr mis objetivos que en algún momento vi tan lejanos.

A mis amigos que aportaron con el apoyo y distracción necesaria para lograr terminar esta etapa académica de forma exitosa.

A mi profesor guía Oscar Inostroza, por la buena disposición, consejos y tiempo necesarios para guiarme en este trabajo.

Además de agradecer al equipo de Control de Gestión y Productividad de la Constructora Gardilcic y a su personal en general, que, gracias a su compañerismo y la buena disposición, generan un ambiente laboral grato, que me facilitó lograr los objetivos que me propuse.

Finalmente, a la Universidad Mayor y a sus profesores por las herramientas aprendidas, amistades y oportunidades que se han dado tras mi paso por la Institución.

Resumen Ejecutivo

La finalidad de esta investigación se basó en la necesidad de medir y cuantificar los beneficios que significó para la empresa “Constructora Gardilcic Ltda.” la incorporación de nuevos equipos con tecnología más avanzada en conceptos de precisión y automatización. Lo anterior, dado que no se tenía certeza cuantificable de cómo ha variado la productividad, ni cuanto es el resultado en términos económicos que entrega al proceso de construcción de túneles con la incorporación de los nuevos equipos.

Tomando como base factores como la sobre excavación, operaciones relacionadas con la excavación y los materiales de fortificación utilizados, se consideraron estas variables, debido a que estos datos son los que tienen una mayor incidencia en términos económicos para el proceso.

La maquinaria objeto de estudio, son los denominados jumbo. Es en esta categoría de equipos donde se procederá a realizar la comparación entre dos grupos de equipos, los equipos existentes previamente en la empresa, contra los equipos incorporados recientemente, teniendo estos últimos, tecnologías de automatización y navegación que los ya existentes en la empresa no poseen.

A partir de los datos recolectados y analizados dentro de este estudio, se puede afirmar que la navegación y automatización de los nuevos equipos incorporados a la flota significó un revelador incremento en la productividad. Logrando resultados importantes de mejora, lo que se refleja en un ahorro económico anual significativo, equivalente a $508.490.313. Logrando así que el retorno de la inversión se logre en 3,3 años, considerando sólo la obra estudiada (obra 200), pero es sabido que la constructora tiene 4 obras operativas a la vez, lo que generará una disminución importante de este tiempo de retorno de inversión calculado.

El ahorro anual obtenido puede ser aún mayor, si se toman medidas correctivas que signifiquen un mayor porcentaje en la utilización de la navegación de los equipos recientemente adquiridos, ya que no están siendo utilizados en su totalidad.

1 Tabla de contenido

2 Nombre del Proyecto 7
3 Resumen 7
4 Introducción 9
5 Objetivos 10
5.1 Objetivo general 10
5.2 Objetivos específicos 10
6 Alcance del Proyecto 10
7 Antecedentes 11
7.1 Justificación y origen del proyecto 11
7.2 Historia Minería [1] 12
7.3 Historia de los túneles 13
7.4 Historia de la minería en Chile [3][4] 14
7.5 Historia Mina “El Teniente” [5] 15
7.5.1 Esquema organizacional Obra-200 Mina el Teniente 19
8 Servicios básicos dentro de la mina 20
8.1 Aire y ventilación 20
8.1.1 Ventilación Natural 20
8.1.2 Ventilación Forzada 20
8.2 Agua y drenaje 21
8.3 Electricidad, Comunicación y Transporte 21
8.4 Seguridad 22
8.4.1 ART (Análisis de Riesgos de Trabajo) 22
8.4.2 Riesgos 23
8.4.3 Riesgos transversales de minería 23
8.5 Historia Empresa 24
9 Minas y Excavación 25
9.1 Tipos de mina 25
9.1.1 Minería a Cielo Abierto 25
9.1.2 Minería subterránea 25
9.2 Tipos de Excavación 26
9.2.1 Excavación con máquinas de perforación frontal 26
9.2.2 Excavación mecánica a sección completa 27
10 Producción de cobre en Minería 28

10.1 Producción Mundial 28
10.2 Producción de Chile 30
10.3 Producción de CODELCO en Chile 33
11 Tecnologías 36
11.1 Maquinarias 36
11.1.1 Jumbo de Perforación: 36
11.1.2 Maquinaria TBM: 37
11.1.3 Pala cargadora Scoop: 38
11.1.4 Grúa de Levante o Manipuladoras Telescópicas: 38
11.1.5 Robot de proyección de Hormigón (Roboshot): 39
11.1.6 Rozadora: 40
11.2 Componentes Jumbo 41
11.3 Comparación entre Jumbos estudiados 43
11.4 Equipos estudiados 44
11.4.1 Sandvik DD321-40C (Código interno M662, M663, M669) 44
11.4.2 Troidon 55D: 47
11.4.3 Atlas Copco Boomer 282: 48
12 Marco teórico 49
12.1 Proceso de Construcción de Túnel en Gardilcic [8] 49
12.2 Método de extracción Block Caving: 51
12.3 Características tronadura subterránea 54
12.4 Detalles y riesgos asociados: 56
12.4.1 Acuñadura: 56
12.4.2 Perforación 57
12.4.3 Fortificación: 59
12.4.4 Carguío y tronadura: 60
13 Problema que se abordará 61
13.1 Problema 61
13.2 Tiempo 64
13.3 Aspectos Económicos 64
13.4 Personal 66
14 Metodología 67
14.1 Hipótesis 67
14.2 Desarrollo 67

14.3 Factores para medir proceso 68
15 Cuerpo (Datos) 69
15.1 Archivos Base 69
16 Análisis de datos 74
16.1 Costos asociados a construcción de túneles 74
16.1.1 Costos de Capacitación 74
16.1.2 Utilización de Sistemas de Navegación 74
16.1.3 Costos por Fortificación 77
16.1.4 Otros costos asociados 78
16.1.5 Máquinas y Equipos: 78
16.1.6 Materiales de fortificación 78
16.1.7 Otros Materiales: 79
16.1.8 Mano de Obra: 79
16.2 Resultados 79
17 Conclusión 81
18 Sugerencias de mejora 83
19 Bibliografía 84
20 Índice de Figuras 85
21 Índice de Tablas 86
22 Índice de Gráficos 86
23 Índice de Diagramas 86
24 Anexo N.º 1 Brochure Empresa 87
25 Anexo N.º 2 Fichas Técnicas Equipos 88
25.1 Sandvik DD321 88
25.2 Epiroc Boomer 282 92
25.3 Troidon 55D 97
26 Anexo N.º 3 Archivos base 101
27 Anexo N.º 4 Metodología para calcular costos de material 102
28 Anexo N.º 5 Relación Sección-Sobre excavación 104
29 Anexo N.º 6 Caso Operación solo con jumbos nuevos 106
30 Anexo N.º 7 Planilla base de Datos 107

2 Nombre del Proyecto

- Impacto en la productividad por la incorporación de nueva tecnología en la maquinaria para la construcción de túneles en minería.

3 Resumen

La finalidad de esta investigación se basó en la necesidad de medir y cuantificar los beneficios que significó para la empresa "Constructora Gardilcic Ltda." la incorporación de nuevos equipos con tecnología más avanzada en conceptos de precisión y automatización. Lo anterior, dado que no se tenía certeza cuantificable de cómo ha variado la productividad, ni cuanto es el resultado en términos económicos que entrega al proceso de construcción de túneles con la incorporación de los nuevos equipos.

Tomando como base factores como la sobre excavación[1], operaciones relacionadas con la excavación y los materiales de fortificación utilizados, se consideraron estas variables, debido a que estos datos son los que tienen una mayor incidencia en términos económicos para el proceso.

La maquinaria objeto de estudio, son los denominados jumbo[2]. Es en esta categoría de equipos donde se procederá a realizar la comparación entre dos grupos de equipos, los cuales se diferenciarán por los años de fabricación e incorporación a la empresa. Así, tenemos:

- El primer grupo, donde se encuentran los equipos que existían previamente en la empresa; correspondiente a los equipos: M-681, M-687 y MA-454.
- En el segundo grupo, se encuentran los equipos adquiridos en el año 2018, todos del modelo DDR321-44c de Sandvik, cuyos códigos internos son: M-662, M-663 y M-669.

Se realizará en primera instancia una investigación de los aspectos técnicos y de equipamiento de cada equipo, para luego dar paso a una comparación a nivel productivo, de utilización, de rendimiento y de desempeño dentro de las labores que se le asignen.

Para la realización de esta investigación, se llevarán a cabo visitas a la mina "El Teniente" de Rancagua, con el objetivo de comprender y observar el ciclo minero.

Junto a lo anterior, se procederá a realizar una recolección de datos significativos para los fines a estudiar, incluyendo datos de rendimiento, circunstancias donde operan los equipos, características de los equipos, resultados obtenidos, entre otros. Para luego dar paso a la siguiente etapa de la investigación que es el análisis de los datos, transformando así, los datos obtenidos en información utilizable y traducible a términos económicos dentro de la empresa.

[1] Sobre excavación: consiste básicamente en la quebradura de la roca por sobre el limite requerido por el diseño de la ingeniería de la empresa contratante. *Véase en la sección 13.1 Problema.*

[2] Jumbo: Maquinaria pesada utilizada para la perforación frontal de roca por medio de taladros electrohidráulicos. *Más información en sección 11.1.1.*

La labor realizada en Gardilcic Ltda. es de gran utilidad, ya que la información obtenida, será representativa del diferencial de productividad entre los equipos comparados; es decir, la cuantificación del beneficio obtenido por la utilización de un equipo por sobre el otro, basado principalmente en la sobre excavación y sus costos asociados. Al mismo tiempo se buscará identificar otros factores potencialmente influyentes en la productividad del proceso.

De esta forma se logrará comprender que factores son críticos en el proceso de construcción de túneles, y determinar qué tan significativo es el problema de la sobre excavación en este tipo de construcción.

4 Introducción

Tal como se mencionó anteriormente, la tecnología en la maquinaria es de suma importancia en términos de productividad y producción de la empresa. Ya que las tecnologías asociadas a cada máquina determinarán en gran parte la precisión y cercanía a los avances teóricos establecidos según la propuesta. Por este motivo se procederá a establecer una comparativa entre trabajos realizados con la maquinaria con tecnología relativamente "antigua", correspondientes a equipos que ya llevan años en la empresa, versus trabajos realizados por la maquinaria con tecnología actual correspondientes a equipos del año 2018, estableciendo de esta manera parámetros e indicadores relacionados con la sobre excavación, datos que posteriormente se traducirán en costos para la empresa, para luego evaluar y cuantificar el impacto económico del proyecto de adquisición de la maquinaria nueva.

Para evaluar estos factores, se harán visitas a terreno, con el fin de conocer la realidad en la que trabajan los equipos, conocer los problemas que tienen los operadores al momento de llevar a cabo las perforaciones, para entender y aprender además el proceso de forma presencial.

En este caso, las visitas se llevarán a cabo en las instalaciones de la división "El Teniente", en la obra 200 "Recursos Norte", de las tronaduras hechas por los equipos mencionados anteriormente. Se realizará un levantamiento de información y análisis de los factores que afectan en materia de tasas de avances por tronadura, utilización de equipos, eficiencia, eficacia, costos de material y costos operacionales.

Además de hacer esta comparación, se estudiarán los factores más significantes que influyen en la productividad del proceso productivo, para lograr comprender y determinar factores críticos en la operación.

La recolección de datos se llevará a cabo durante las visitas en la mina, en la oficina central de Santiago, en la oficina técnica ubicada en Rancagua y con visitas a la unidad de maquinarias (UMA) ubicada en La Cisterna, Santiago. Los datos recopilados serán referentes a factores de avance antes, durante y después de la perforación. La información luego será traducida a distintos indicadores y a términos de costos para la empresa, con el fin de lograr la realización de una comparación entre los equipos y sus ventajas y/o desventajas operativas.

5 Objetivos

5.1 Objetivo general

Cuantificar y establecer diferencias en concepto de productividad y costos entre nueva maquinaria adquirida en el año 2018 y maquinaria ya existente en la empresa.

5.2 Objetivos específicos

- Realizar un levantamiento de proceso en la operación, con el fin de identificar, y en lo posible disminuir los factores de falla.
- Identificación de factores influyentes en fallas o pérdida de productividad en la operación.
- Identificación de factores que obligan a incurrir en costos más elevados que el pronosticado.
- Realizar evaluación económica de ambos casos para hacer una comparación y conclusión.

6 Alcance del Proyecto

Este estudio se realizará dentro de las dependencias de la empresa “Constructora Gardilcic”, con su oficina central ubicada en la comuna de Conchalí, Santiago de Chile y con un proyecto vigente llamado “Recursos Norte El Teniente” (obra 200) en la mina El Teniente, Rancagua.

El proyecto de estudio comenzó el 17 de octubre de 2018, con inducciones y conocimiento teórico del proceso en la oficina central ubicada en Santiago. A continuación, se prosiguió con el conocimiento del proceso en terreno, para luego iniciar con el levantamiento de información relacionada directamente con la productividad en la operación.

El levantamiento de información se llevó a cabo durante los meses de noviembre, diciembre, enero, febrero y parte de marzo. En este tiempo se logró obtener datos relacionado con la productividad de los equipos, y de esta forma, se logró tener un margen de comparación entre los datos para analizar el verdadero impacto que tuvo la adquisición de nuevos equipos. De este modo, se buscó comparar los rendimientos de jumbos ya utilizados en la empresa con los jumbos recientemente adquiridos.

Luego se realizaron:

- Un estudio económico de costos asociados,
- Un análisis de los factores influyentes en la productividad, y la
- Identificación de los factores que aumentan los costos en la operación.

Posteriormente, se determinará y cuantificará el impacto que tiene este cambio de maquinaria en la empresa, estableciendo cuantitativamente los beneficios o desventajas que significó la incorporación de los equipos nuevos, logrando así dar un juicio sobre lo perjudicial o beneficiosa que fue la adquisición para la empresa.

7 Antecedentes

7.1 Justificación y origen del proyecto

Las excavaciones subterráneas aplicadas a la minería y obras de infraestructura han estado en la historia de Chile desde siempre. La extracción de mineral muchas veces obliga a la excavación de túneles para acceder a los distintos puntos dentro de las minas. Es decir, una mina subterránea se constituye a partir de una gran cantidad de túneles en su interior. La excavación y construcción de túneles en Chile data aproximadamente del año 1840, siendo los métodos de construcción de estos, en sus inicios, muy distintos a como hoy en día se construyen.

La excavación de túneles actualmente sigue dos corrientes principales, las que se profundizarán en la sección 9.2 de este documento, estas son:

- La excavación mecánica a sección completa[3]
- El empleo de máquinas de perforación frontal[4].

Una de las problemáticas que surge en el proceso de construcción de túneles se denomina “Sobre Excavación”, problema que será la base de este estudio. Básicamente se define como la quebradura de la roca por sobre el límite requerido por el diseño establecido. Por lo tanto, la existencia de sobre excavación en la construcción de túneles, tiene como resultado un incremento en los costos, los cuales son potencialmente evitables para la empresa si se controla esta variable.

En la obra 200 de Recursos Norte en El Teniente, coexisten dos grupos de equipos, por un lado, están los equipos que llevan algunos años operando y siendo utilizados por la empresa, y por otro lado están los equipos recientemente adquiridos, comenzando su operación en minas a mediados de julio 2018. Estos últimos equipos tienen mayores avances tecnológicos, de navegabilidad y de automatización, lo que en la teoría se debería reflejar como un aumento en la productividad de los equipos; es decir, lograr una mayor tasa de avance con menos tronaduras las que también se conocen como “disparos”[5], y a la vez evitar o disminuir la sobre excavación. Es precisamente esta cifra, la diferencia en productividad del proceso con equipos existentes y equipos adquiridos recientemente, la que se desconoce hoy en día, por lo tanto, ahí surge la necesidad de cuantificar los beneficios que tiene un equipo sobre otro y cuáles son los factores que afectan a la productividad de dicho proceso.

[3] Excavación mecánica a sección completa, véase en sección 9.2.2.
[4] Maquinaria perforación frontal, véase en sección 9.2.1.
[5] Disparo: también conocido como tronadura, es la operación que tiene como finalidad el arranque de un macizo rocoso, mediante la utilización de explosivos para abrir paso a través de la roca.

7.2 Historia Minería [1]

Hoy en día, se ha llegado a concluir que la minería en sí nace y progresa gracias a la permanente necesidad del ser humano para el desarrollo de sus civilizaciones. Dado esto, los primeros vestigios de la minería se sitúan temporalmente en el paleolítico (desde 12,8 millones de años hasta 12.000 años atrás).

Sin duda lo que diferencia al hombre del resto de los seres vivos, es la capacidad de construir y emplear herramientas para facilitar su trabajo. Unas de las primeras materias base para la construcción de herramientas fueron las piedras, las cuales se recolectaban fácilmente desde el suelo. Estas labores de recolección constituyen solo la primera parte de la relación del hombre con los recursos líticos. Ya que será en el Neolítico (periodo que empezó hace 11.000 años), donde las necesidades tecnológicas aumentaron y se necesitó un mayor nivel de extracción distinto al superficial. Es así como nace la extracción de material lítico de forma subterránea, canteras y minas. Luego hubo cabida a la edad de los metales, donde la evolución tecnológica permitió al ser humano la producción de objetos útiles para actividades del día a día, perfeccionándose las técnicas de:

- Arados
- Caza
- Ataque y
- Defensa.

Es precisamente en esta época que se logra un crecimiento económico importante para los poblados en desarrollo.

El cobre fue el primer metal utilizado por el hombre, el cual era principalmente usado en la elaboración de armas, adornos y monumentos. Luego este metal fue reemplazado por el bronce, debido al agotamiento de los yacimientos del material anteriormente mencionado. El bronce es una aleación entre cobre y estaño, en donde esta aleación tiene como característica una mayor dureza y resistencia a la corrosión.

El siguiente paso, fue el descubrimiento del hierro, que requirió de mayor tecnología para su procesamiento, debido a la alta temperatura que necesitaba para ser fundido y trabajado. Ofreciendo este metal una mayor dureza, mayor duración y además que los yacimientos tenían características que permitían la extracción del mineral más sencilla en comparación con otros metales.

Así poco a poco se siguieron trabajando los metales, mientras más pasaba el tiempo, mayor era el requerimiento de metales para el progreso de la civilización. Por lo tanto, la extracción del mineral tuvo que crecer rápidamente acorde a esta necesidad.

Es así como se llega a la minería tal como se conoce hoy en día. Una minería más industrializada, donde se utilizan grandes maquinarias y los avances tecnológicos para la extracción son cada vez mayores, con tal de lograr resultados más productivos y eficientes.

7.3 Historia de los túneles

El túnel, es definido por la RAE[6] como *"Paso subterráneo abierto artificialmente para establecer una comunicación a través del monte, por debajo de un río u otro obstáculo" [2].*

La construcción de un túnel comienza de la necesidad de sortear un obstáculo natural, llámese montaña, cursos de agua (fluviales o marinos) o zonas urbanizadas.

La excavación de túneles fue el primer ejercicio de ingeniería llevada a cabo por el hombre, ya que muchas veces los túneles eran utilizados por el hombre antiguo para refugiarse, almacenar comida o fabricarse un hogar. Es precisamente en estos puntos donde accidentalmente se descubrían depósitos de agua o de minerales, lo que provocó que cada vez la acción de excavar dejara de tener motivos de refugio o conservación, convirtiéndose así en una actividad netamente destinada a la extracción de material.

Es un hecho que la excavación de túneles en primera instancia fue realizada con las propias manos del hombre junto a su fuerza bruta, y poco a poco comenzó a evolucionar, confeccionando herramientas como, martillos rudimentarios, picos y cinceles. Esto iba ligado a una alta probabilidad de accidentes, ya que se carecía de sistemas de seguridad y ventilación.

A lo largo de los años el proceso de excavación de túneles ha presentado una constante evolución, llegando incluso a la utilización de maquinaria de gran envergadura que con ayuda de explosivos realizan la labor de extracción de una manera más eficiente y controlada. Este es el método el que se utiliza hoy en día en la construcción de túneles de minería subterránea, como lo es el caso de la mina "El Teniente".

[6] RAE: Real academia española.

7.4 Historia de la minería en Chile [3][4]

La historia de Chile está muy ligada con la minería, de hecho, los primeros que tuvieron relación con los minerales fueron los Atacameños, en los valles de las cordilleras de las regiones de Tarapacá y Antofagasta. Ellos, extraían mineral de oro, en lo que hoy en día se conoce como Chuquicamata, utilizando dicho material como objeto decorativo, y lo extraían con herramientas de madera y piedras, los que servían como rústicos barrenos y cinceles.

En la época de la conquista, las principales ciudades fundadas por los españoles fueron ubicadas cerca de terrenos auríferos; como lo son las ciudades de La Serena, Concepción, Valdivia, Imperial y Villarrica. La actividad aurífera entró en decadencia debido al agotamiento de lavaderos y disminución de mano de obra indígena.

Entre los años 1880 y 1930, fueron el salitre y el nitrato los protagonistas de la economía de Chile, debido a los grandes yacimientos ubicados en las provincias de Tarapacá y Antofagasta. Ambos estaban en auge y eran principalmente exportados hacia Europa.

Ya hacia el año 1920 hasta 1971, comienza el auge del cobre en el país, esto ocurre gracias al aumento en la demanda mundial del cobre, el cual en esa época era utilizado en la reciente y creciente industria eléctrica.

En los años 90, la industria del cobre creció rápidamente y fue notoria la cantidad de inversión extranjera que había en esta industria. La minería se establece como protagonista en la historia del crecimiento de la economía del país.

Es importante mencionar que CODELCO[7] comienza tras la promulgación de la reforma constitucional que nacionalizó el cobre el 11 de julio de 1971. Fue constituida como una empresa del estado, que agrupaba los yacimientos existentes en una corporación.

La misión de CODELCO fue darle mayor continuidad a la explotación de yacimientos nacionalizados, establecimientos, faena y servicios externos.

Su negocio principal, es la producción y comercialización de cobre refinado, mediante la explotación, exploración y desarrollo de recursos mineros de cobre.

Hoy en día es la principal empresa productora de cobre de mina de chile, logrando posicionarse como líder en lo que se refiere a reservas de cobre a nivel mundial, transformando a este mineral en un importante pilar para el desarrollo del país.

Chile es el mayor productor de cobre en el mundo, con aproximadamente 5,4 millones de toneladas métricas de producción en el año 2017. Seguido por Perú, el cual tuvo una producción de 2,4 millones de toneladas métricas en ese mismo año.

[7] *CODELCO: Corporación Nacional del Cobre de Chile.*

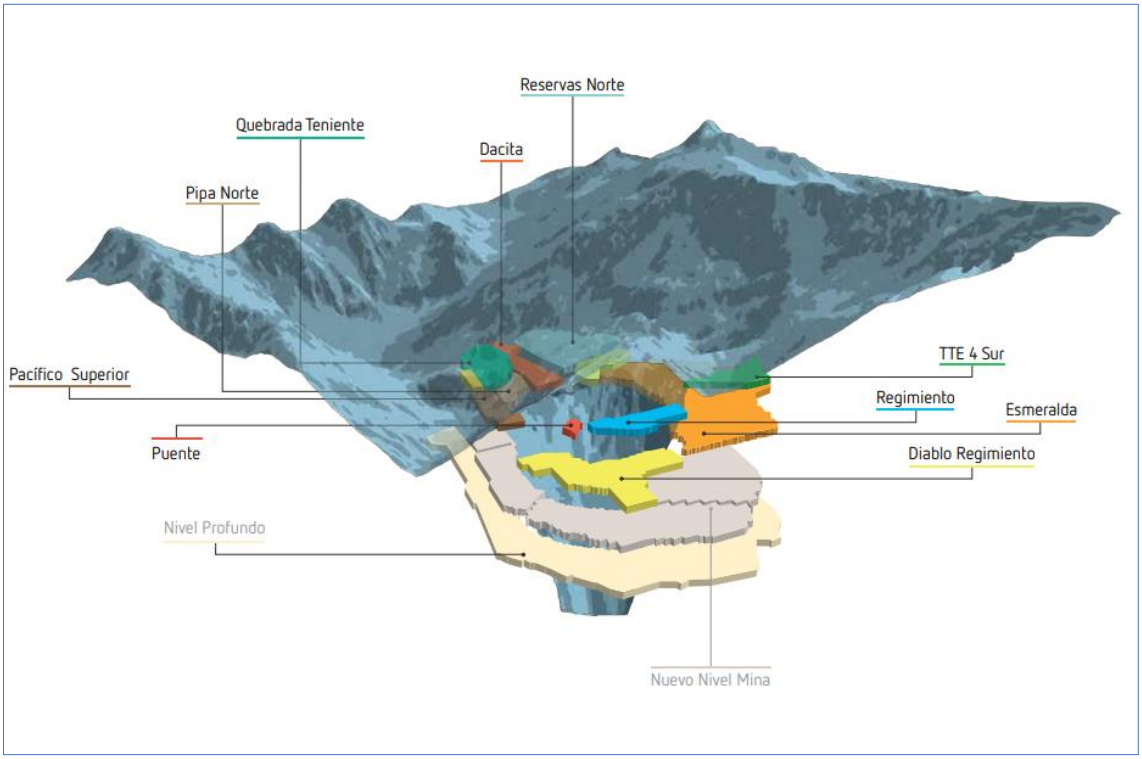
7.5 Historia Mina "El Teniente" [5]

La mina El Teniente está ubicada en la cordillera de Los Andes, en la provincia de O'Higgins, a 50 kilómetros de la ciudad de Rancagua, y a una altura entre los 2000 y 3200 msnm. Es la mina subterránea de cobre más grande del mundo con 4500 km de túneles. Su explotación comenzó en el año 1905 y hasta el día de hoy sigue vigente.

Durante el 2017 El Teniente, logró una producción de 464.328 toneladas métricas de cobre fino, 6.199 toneladas métricas finas de molibdeno y 1.214.942 toneladas de ácido sulfúrico.

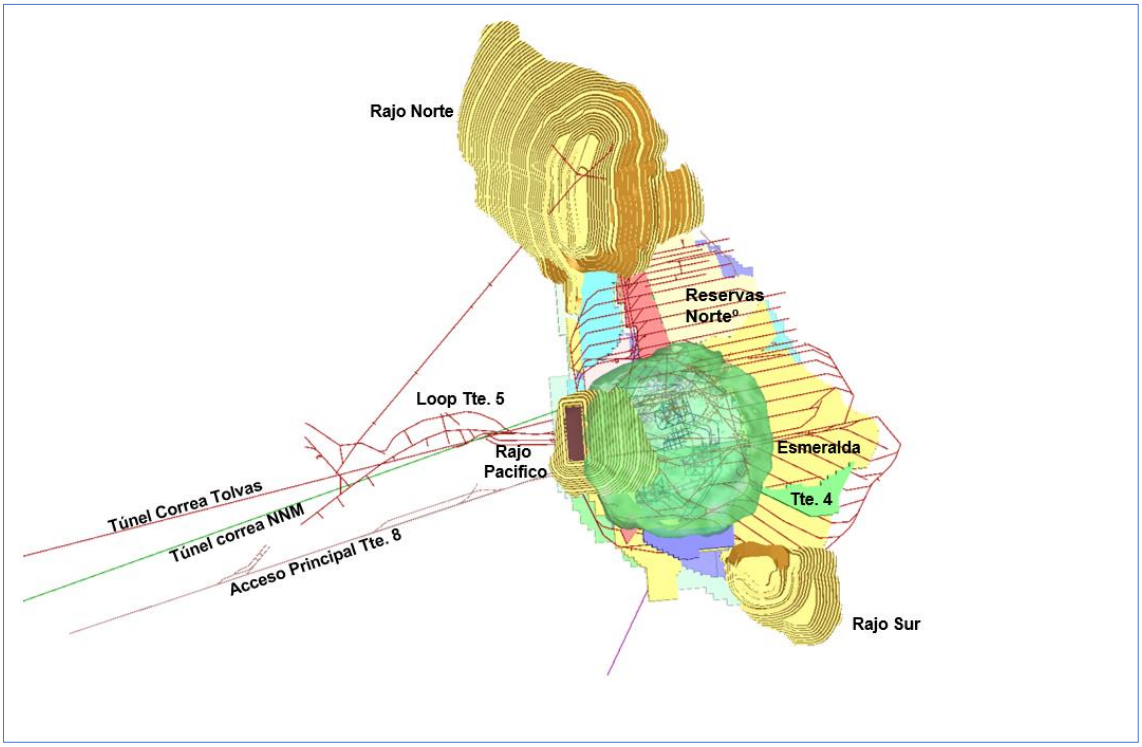
A continuación, se presentan las Figuras N.ºs 1, 2, 3 y 4, que explican la distribución y forma de la mina El Teniente por medio de un modelo 3D, observado de distintos ángulos.

Figura N.º 1: Mina El Teniente



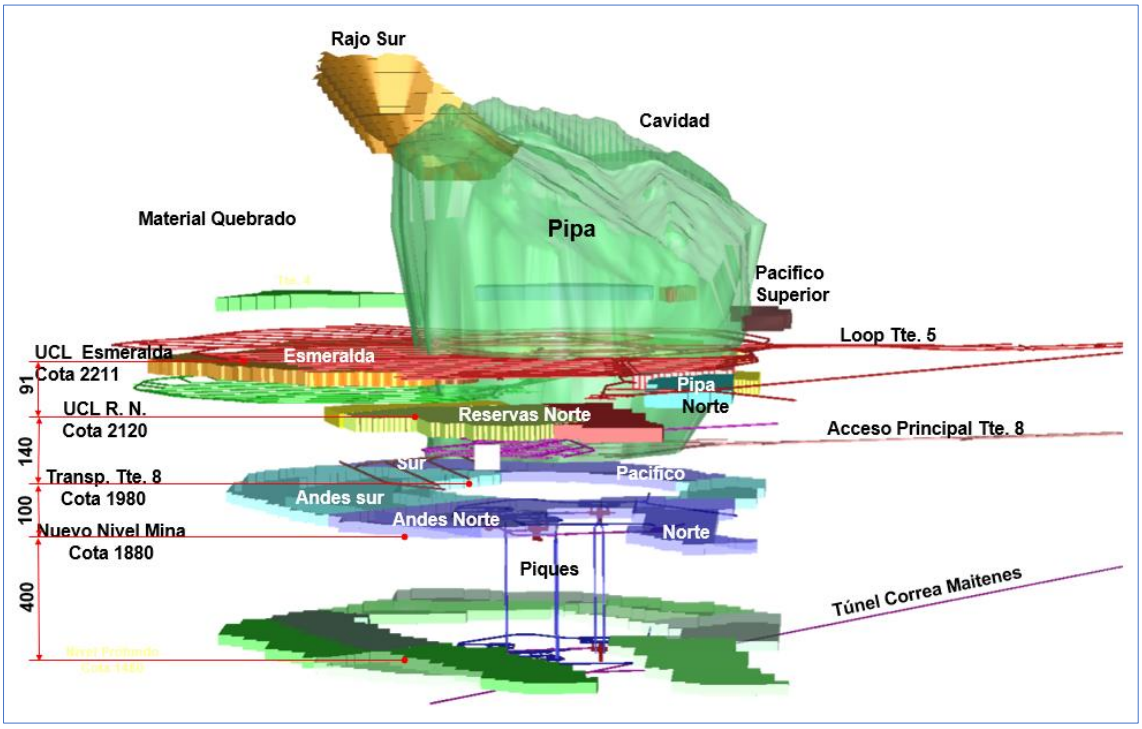
Fuente: www.codelco.com, 2018

Figura N.º 2: Plano de planta, modelo 3D Mina El Teniente



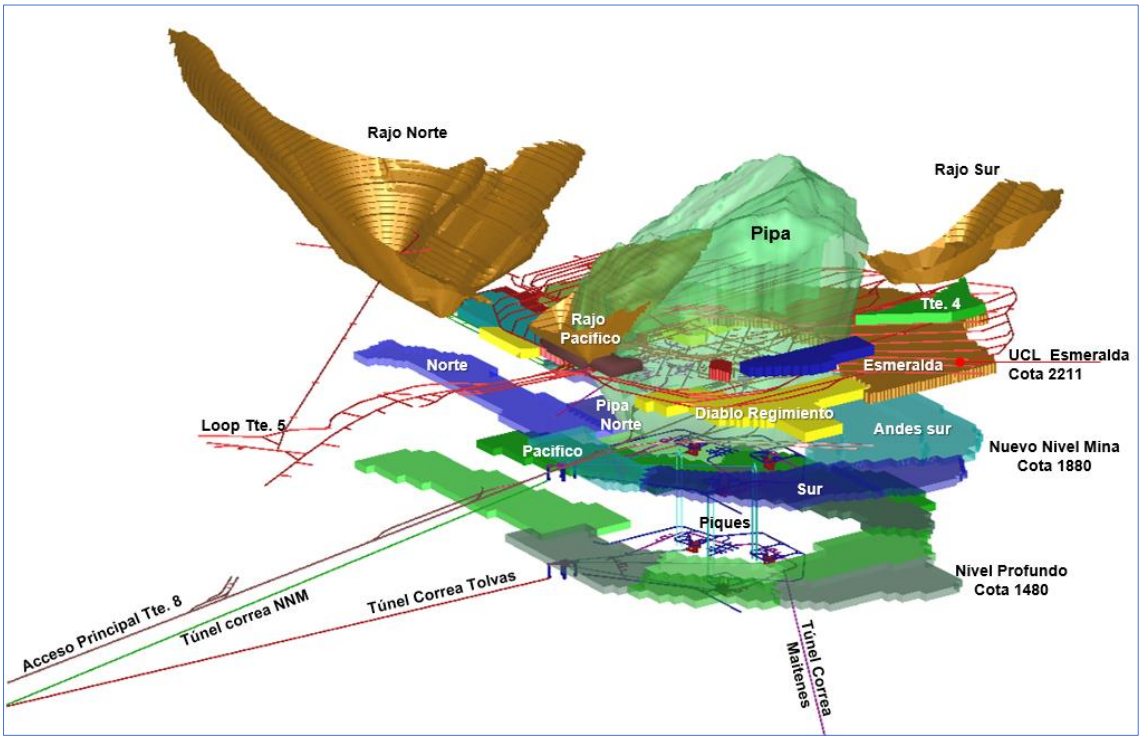
Fuente: www.codelco.com, 2018

Figura N.º 3: Modelo 3D Mina El Teniente



Fuente: www.codelco.com, 2018

Figura N.º 4: Modelo 3D Mina El Teniente



Fuente: www.codelco.com, 2018

7.5.1 Esquema organizacional Obra-200 Mina el Teniente

Diagrama N.º 1: Diagrama organizacional Obra 200

Fuente: Elaboración propia

En el Diagrama N.º 1, se puede observar la distribución organizacional de los trabajadores que se encuentran en el interior de la mina. Siendo los operadores de equipos y mineros la base de estos, y que son supervisados directamente por los jefes de nivel.

Los jefes de turno son los encargados de administrar los recursos que se disponen en la obra para lograr una correcta ejecución del proceso, estos a la vez se encargan de cumplimientos de plazos y tienen la responsabilidad de lo que ocurra en el turno en términos de producción, etc.

El jefe de terreno es el encargado de administrar y planificar las operaciones que se llevarán a cabo en el turno, fijando objetivos y logrando así que la producción sea la óptima.

El administrador de contrato es el encargado de la dirección, planificación y control financiero del contrato. Se encarga de la negociación con subcontratistas y proveedores, además de ser un nexo directo entre la empresa y el mandante.

8 Servicios básicos dentro de la mina

8.1 Aire y ventilación

La ventilación es un tema sumamente importante para el bienestar del personal, equipos y del buen funcionamiento de la mina subterránea. Algunos de los objetivos que tiene este punto, son:

- Suministrar oxígeno para que los trabajadores respiren
- Proporcionar cantidad de aire suficiente para funcionamiento de equipos e instalaciones
- Evitar formación de mezclas de gases explosivos
- Diluir y extraer gases tóxicos
- Extraer polvo en suspensión
- Reducir la temperatura.

Con las medidas necesarias de ventilación, se logra disminuir los riesgos de contraer enfermedades como la silicosis; esto mientras se cumpla con la utilización de los elementos de protección personal.

La ventilación dentro de la mina se puede realizar por medio de 2 métodos:

8.1.1 Ventilación Natural

Se emplea en las minas subterráneas, ubicadas en montañas, ya que utiliza la diferencia de cota[8] para la circulación de aire dentro de la mina. Donde se generan corrientes de aire por los túneles naturalmente por la diferencia de temperatura que posee el aire a distintas cotas.

8.1.2 Ventilación Forzada

Se emplea en minas subterráneas de grandes dimensiones, o donde no es suficiente la ventilación natural. En este método se implementan grandes ventiladores, que facilitan el desplazamiento de grandes masas de aire a través de los túneles, creando así un flujo que permite reunir las condiciones anteriormente mencionadas dentro de la mina.

[8] Cota: número utilizado en la cartografía, indicador de altura sobre el nivel del mar o bien, tomando como referencia otro plano de nivel.

8.2 Agua y drenaje

Este punto es de gran importancia con respecto a la seguridad de los trabajadores que están realizando el trabajo en la frente[9], ya que por excesos de agua se pueden producir diversos accidentes, desde caídas hasta electrocución.

Al interior de la mina, existe presencia de agua, ya sea proveniente de napas subterráneas o bien, la acumulación de aguas utilizada por los jumbos para las tareas de perforación, entre otras actividades que requieren del agua, para poder ser llevadas a cabo. Para este tipo de aguas, se dispone un sistema de drenaje que sirve para desviar y apartar las aguas del sector de trabajo, lo que consiste en una motobomba, o bomba de drenaje, que sustrae el agua y la conecta a una manguera ubicada en las "cajas"[10] del túnel ya construido, sistema por el cual se eliminará esta agua de la ubicación de la labor.

En algunos casos, se realizan sistemas de drenaje hechos por jumbo, que consisten en realizar una serie de perforaciones en el suelo de la zona inundada. De esta manera, se logra que el agua fluya por las perforaciones, desocupando así la superficie de esta zona, pero el método utilizado comúnmente, es la utilización de bombas de drenaje.

El suministro de agua para los equipos jumbo es de vital importancia para la operación, ya que sin agua no se puede perforar. Muchas veces no hay suministro de agua por problemas de instalaciones o problemas de presión, lo que produce retrasos en la operación, donde el operador no puede hacer nada.

8.3 Electricidad, Comunicación y Transporte

El suministro de energía eléctrica dentro de la mina no es un problema, ya que se pueden instalar subestaciones eléctricas. Debido a lo cual, gran parte de las instalaciones de la mina cuenta con suministro eléctrico; energía que es utilizada para luminarias, carga de aparatos electrónicos, aparatos de ventilación, e incluso sirve de alimentación para equipos de maquinaria pesada como los jumbos o los Roboshot.

Es en este punto donde a veces se producen problemas de conexión, ya que los puntos de energía no siempre están a la distancia establecidas por el estándar, y se tienen que realizar extensiones.

Al interior de la mina, existen zonas con conexión Wi-Fi[11] y con señal de celular. Esto se logra a través de una red de cables de fibra óptica. Próximamente se buscará implementar la utilización de sistemas de radio, para que todo el equipo que se encuentre dentro de la mina logre estar comunicado.

El transporte, se realiza por medio de túneles por los cuales circulan vehículos pequeños, buses y maquinaria pesada. Los medios de transporte se utilizan para ingresar y salir de las dependencias de la mina. Los buses salen todos los días a las 6:50 am desde Rancagua hacia Sewell, para dejar a los trabajadores en la mina.

[9] "La Frente": Frente superficie expuesta por la extracción de material rocoso, lugar donde se realizan las labores de avance en la construcción de un túnel.
[10] Cajas: sector equivalente a las paredes del túnel.
[11] Wi-Fi: Red de internet inalámbrica.

8.4 Seguridad

El tema de la seguridad en la construcción de túneles en la minería está fuertemente ligado con el tema principal de este documento, ya que los factores de sobre excavación, van directamente relacionado con la fortificación de los túneles.

Lo anterior debido a que, una vez realizados los disparos, esta etapa de fortificación tiene fines tanto estructurales, como de seguridad. Ya que, por este medio, se evitan posibles desprendimientos de planchones de roca que podrían ocasionar accidentes a trabajadores que se encuentren en el área, manteniendo así un entorno controlado y estructuralmente estable, para trabajar reduciendo los riesgos.

Para asegurar el conocimiento de las conductas y protocolos básicos de seguridad, se realizan cursos para permitir el acceso a la mina El Teniente, donde se deben presentar y rendir evaluaciones de dos cursos relacionados con la seguridad en el puesto de trabajo, con énfasis en la conducta y comportamiento de los trabajadores. Estos cursos son, el CISSO[12] con duración de 3 días en las dependencias de CODELCO y el ODI[13] por cuenta de Constructora Gardilcic, con duración de 2 días.

Ambos con temática de prevención de riesgos, conceptos y protocolos que se deben seguir para las distintas situaciones de emergencia que pueden ocurrir dentro de una mina, entregando herramientas acerca de cómo se deben enfrentar estas situaciones y como aplicarlas.

8.4.1 ART (Análisis de Riesgos de Trabajo)

Es una herramienta relacionada con la seguridad del trabajador en su puesto de trabajo, también conocida como AST, que tiene como principal objetivo la prevención de accidentes laborales.

Es un documento que sirve como último recordatorio para los trabajadores de los riesgos asociados a la actividad que se está pronto a realizar, además de las medidas de control que se deben aplicar en esta. Dentro de este documento, se detalla claramente información acerca del proceso, que no siempre está bien detallada en el procedimiento llevado a cabo por los trabajadores.

Ya que, el ART se desarrolla cada vez que se realizará una actividad, es decir, es el primer paso de la actividad misma, sin el ART realizado no se puede comenzar a trabajar en la tarea.

El ART debe incluir, el paso a paso de la actividad, se debe detallar todo paso que se deba seguir y que esté relacionado directamente con el cumplimiento de la actividad. Luego se deben identificar todos los riesgos que lleva asociada la actividad a realizar, para posteriormente indicar cuales son las medidas de control o medidas preventivas que se utilizaran para evitar un potencial accidente laboral. La realización del ART, se lleva a cabo por todos los miembros del equipo a trabajar en la actividad, logrando así concientizar e informar a todos acerca de los riesgos a los cuales se están exponiendo, para que estos sigan las medidas preventivas necesarias para la actividad.

[12] CISSO: Curso de introducción a la seguridad y salud ocupacional.
[13] ODI: Obligación de informar.

8.4.2 Riesgos

Algunos de los riesgos asociados a la minería subterránea, son colisiones, volcamiento, atropellos, caídas desde altura, enfermedades, daño auditivo, entre muchos otros.

Se busca disminuir los riesgos mediante el uso de EPP[14], siendo el uso de estos de uso obligatorio, la implementación de esta medida tiene como mayor enfoque la disminución tanto de accidentes, como del riesgo de hipoacusia, mediante protección auditiva. Además de la disminución del riesgo de silicosis, mediante el uso de protección respiratoria.

Con respecto a las medidas de seguridad tomadas al realizar una tronadura, debido a que se libera gran energía mecano-acústica generando onda expansiva, se establece que, es obligación respetar las distancias y conocer el procedimiento de evacuación. Esto implica que nadie puede estar ni permanecer en el radio de seguridad. Así se evitan riesgos de proyección de rocas, ondas expansivas, planchones, inhalación de gases o cualquier otra consecuencia provocada por la detonación o tronadura de la roca.

8.4.3 Riesgos transversales de minería

Para los riesgos de incendio, se tienen como medidas conocer las vías de evacuación y conocer salidas de emergencia de la zona de trabajo y de la mina en general. Además de lo anterior, se debe estar instruido en el uso de los sistemas de protección contra incendios, y del auto rescatador[15].

En caso de incendio, se debe avisar a todo personal dentro de la mina, el medio que se utiliza para esta alerta, son las luces, las que se encienden y apagan secuencialmente. La secuencia de los apagones de luz, indican si la situación se trata de un incendio y además se indica la ubicación del foco de incendio.

[14] EPP: Elementos de protección personal.

[15] Auto rescatador: aparato de protección personal, utilizado para respirar mientras se atraviesan cortinas de humo.

8.5 Historia Empresa

La Constructora Gardilcic Ltda., es una empresa creada en el año 1984, que se ha posicionado como una de las empresas líderes en el ámbito de la construcción subterránea y explotación minera, así como en el desarrollo de superficie. Durante 34 años ha ejecutado con éxito alrededor de 150 obras de diversos tipos, entre ellas importantes obras de superficie y subterráneas.

Como especialista en obras de índole subterránea, Gardilcic ha construido más de 610 kilómetros de túneles, además de cavernas subterráneas, chimeneas, rampas, piques subterráneos, preparación de minas, montajes eléctricos, pavimentaciones, montajes mecánicos y desarrollo de obras civiles. También ha desarrollado obras de superficie, como lo son embalses, caminos para centrales hidroeléctricas y de ciclo combinado.

Sus áreas de negocio son: Minería subterránea, Obras de Superficie y Explotación minera.

Figura N.º 5: Minería Subterránea

Fuente: www.gardilcic.cl, 2019

Figura N.º 6: Obras de Superficie

Fuente: www.gardilcic.cl, 2019

Figura N.º 7: Explotación de Minas

Fuente: www.gardilcic.cl, 2019

Más información sobre la empresa en Anexo N.º 1.

9 Minas y Excavación

9.1 Tipos de mina

Según las características de los yacimientos[16], y tomando en cuenta los costos de llevar a cabo cada proyecto, se diferencian dos tipos de minas, estas son: la minería a cielo abierto y la minería subterránea. En Chile la minería más común hoy en día es la minería a cielo abierto, situación que se estima cambiará en un futuro, ya que muchas minas a cielo abierto están considerando el convertirse a minería subterránea [5].

9.1.1 Minería a Cielo Abierto

También conocida como a rajo abierto, es la minería que se realiza en la superficie de la tierra, sin necesidad de construir túneles. Este método se utiliza cuando los yacimientos se encuentran a una distancia relativa cercana a la superficie, y es factible realizar la extracción de esta forma. Este método consiste en la remoción de grandes cantidades de suelo y subsuelo en una determinada ubicación, i.e.: se inicia la excavación a nivel de suelo, para luego ir avanzando verticalmente hacia abajo. En Chile se encuentra la mayor mina de cobre a cielo abierto, Chuquicamata, la que hoy en día cambió su método original, y se ha comenzado a explotar con el método de minería subterránea.

9.1.2 Minería subterránea

Es la minería que depende de túneles y obras subterráneas para lograr extraer el mineral. Dentro de esta se distinguen dos grupos, donde se califican según la dureza de la piedra (para ver clasificación referirse a sección 9.2.2). Las minas que tienen rocas blandas no necesitan la utilización de explosivos para su explotación, por lo tanto, con la maquinaria correcta, como rozadoras o martillos es suficiente para su extracción. En cambio, cuando la roca posee características duras, es necesario la utilización de explosivos, por lo que se utiliza el método de “Drill & Blast”[17]. Esto se hace a través de maquinaria perforadora hidráulicas combinadas con el empleo de explosivos, para así fracturar la roca y lograr extraerla.

[16] Yacimiento: Lugar donde se encuentran minerales de forma natural, y que es potencialmente objeto de explotación.

[17] Drill & Blast: Método de perforación y tronadura para excavación de avance en minería.

9.2 Tipos de Excavación

La excavación de túneles actualmente sigue dos corrientes principales:

- La excavación con perforación y voladura,
- Excavación mecánica.

9.2.1 Excavación con máquinas de perforación frontal

Realizada por maquinaria equipada con elementos de perforación en su zona frontal. Dentro de esta categoría sobresalen las maquinas rozadoras (para terrenos blandos), y las de perforación con Jumbo que requieren la utilización de explosivos (se aplica para terrenos de mayor dureza).

En Chile la construcción de túneles se realiza por el método Perforación y tronadura (Drill & Blast), en el cual la perforación es realizada por maquinas denominadas Jumbos Electrohidráulicos, donde básicamente una vez que se hace la perforación de la frente, por medio de barrenos, se rellenan con explosivos, y es con la detonación de estos que la roca es fracturada.

Este método es utilizado cuando la composición del terreno es medianamente dura, dura, muy dura y resistente[18], situación que es la que predomina en Chile dada esta condición por la presencia de las cordilleras de Los Andes y de La Costa.

[18] Clasificación expuesta en la sección 9.2.2.

9.2.2 Excavación mecánica a sección completa

Este método trabaja con la base de contacto entre la maquinaria y la roca, así se va abriendo paso y generando un túnel mientras la máquina atraviesa la roca con la zona perforante de la máquina.

En este método de excavación son utilizadas las máquinas tuneladoras, también conocidas como TBM[19].

A continuación, en la Tabla N.º 1, se dará cuenta de las durezas de las rocas, punto fundamental en el ámbito de la minería, ya que de este factor dependen muchas decisiones al momento de perforar la roca. Como, por ejemplo, el tipo de excavación.

Si bien existe una clasificación técnica de los tipos de roca, en la mina no se apegan a esta clasificación, ya que la experiencia de los trabajadores y operadores le permiten diferenciarlas visualmente, basándose en su experiencia muchas veces para la toma de decisiones al momento de perforar o trabajar en la frente.

Siendo este un punto de gran interés para posibles estudios en un futuro, ya que no se aborda en su cabalidad.

Tabla N.º 1: Clasificación de durezas de roca

Grado	Clasificación	Identificación	Resistencia a Compresión Uniaxial (Mpa)
D 0	Extremadamente débil	Objeto puede ser rayado por la uña del dedo pulgar.	0.25 – 1.0
D 1	Muy débil	Se desmorona con golpes firmes, con la punta del martillo de geólogo.	1.0 – 5.0
D 2	Débil	Se descascará con dificultad. Rayado poco profundo por golpes de martillo de geólogo.	5.0 – 25.0
D 3	Moderadamente Resistente	No se descascará con un cuchillo. Se fractura solo con un golpe firme de martillo.	25.0 – 50.0
D 4	Resistente	Requiere más de un golpe de martillo para ser fracturado (2 a 4).	50.0 – 100.0
D 5	Muy Resistente	Fracturado con muchos golpes de martillo.	100.0 – 250.0
D 6	Extremadamente Resistente	Martillo solo produce descascarado de la muestra. Sonido metálico al golpear.	> 250

Fuente: Estudio mecánica de suelos www.sedapal.com.pe

[19] TBM: Tunel Boring Machine, tuneladora de sección completa.

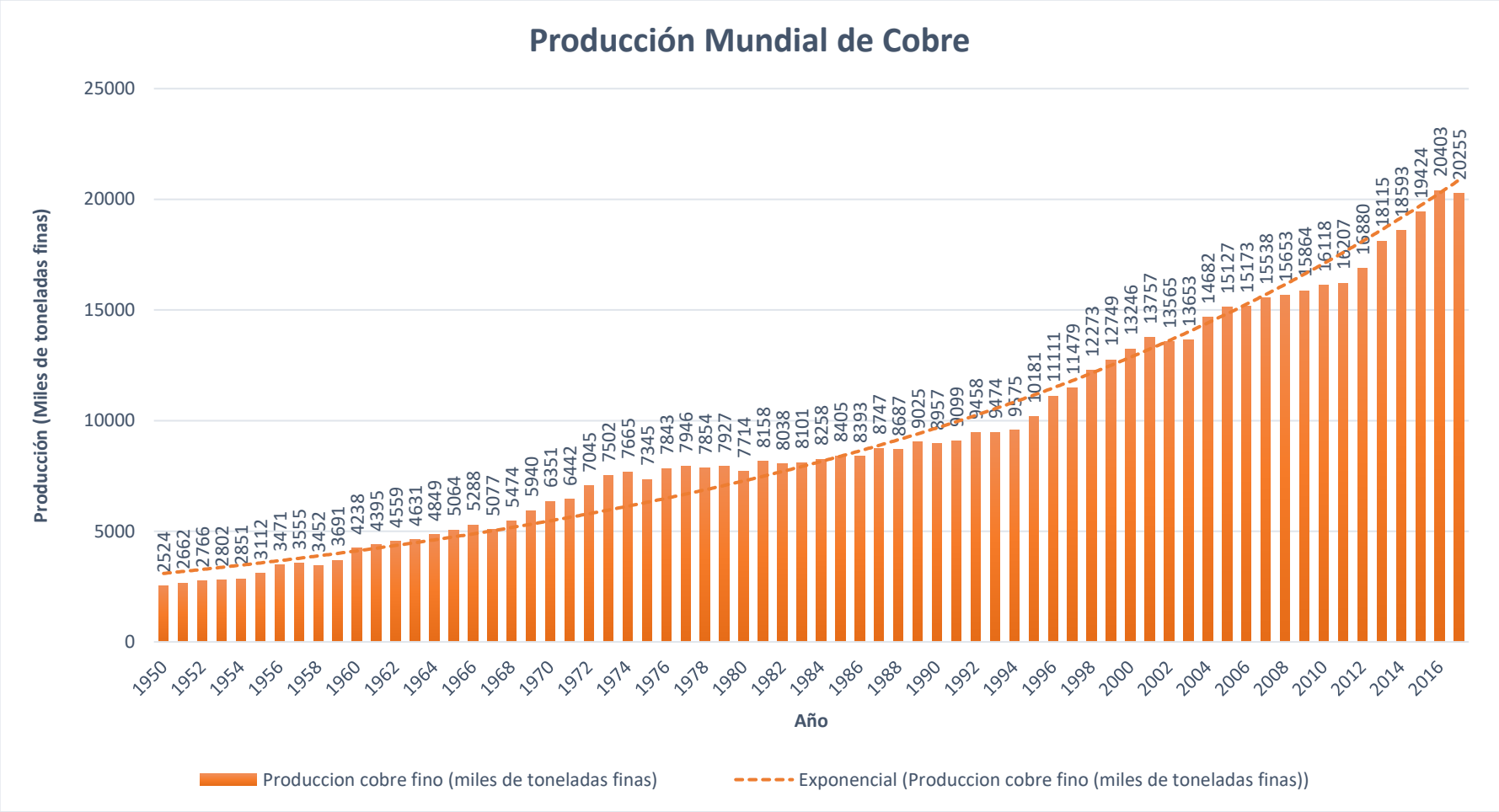
10 Producción de cobre en Minería

10.1 Producción Mundial

La producción mundial de cobre se ha visto en una constante alza, y se observa un aumento en la producción de cobre año a año, siendo este estado cada vez mayor.

Hoy en día se producen alrededor de 20.255.000 de toneladas de cobre fino anualmente a nivel mundial. En los últimos 67 años la producción ha aumentado en 17.730.000 toneladas anuales, y en los últimos 30 años se ha aumentado la producción en 11.500.000 toneladas anuales, lo que refleja que el mayor progreso en cuanto a producción ha ocurrido estos últimos años, con la adaptación de nuevas tecnologías y métodos de excavación. En el Gráfico N.º 1 siguiente, se puede observar la producción anual mundial de cobre [6].

Gráfico N.º 1: Producción Mundial de Cobre



Fuente: Elaboración Propia

10.2 Producción de Chile

Como se puede observar en el Gráfico N.º 2, desde el año 1950 al año 2017, la producción de cobre fino en Chile se ha incrementado notablemente, desde producir 363.000 toneladas de cobre fino anual en 1950 hasta lograr producciones de 5.504.000 toneladas de cobre fino en el año 2017.

Esto se logró por la implementación de políticas de producción a nivel país, además de tecnologías cada vez más avanzadas que permiten un mayor nivel de extracción de mineral.

Así mismo, con los años la participación de mercado de Chile a nivel mundial ha ido en incremento, en el año 1950 se tenía una participación del 14% y hoy en día se tiene 27% pasando por periodos pick de hasta 36.9% del mercado mundial. Situación que se observa en el Gráfico N.º 3 [6].

Hoy en día, los principales productores de cobre a nivel mundial son los que muestra la Tabla N.º 2:

Tabla N.º 2: Producción de Cobre por País

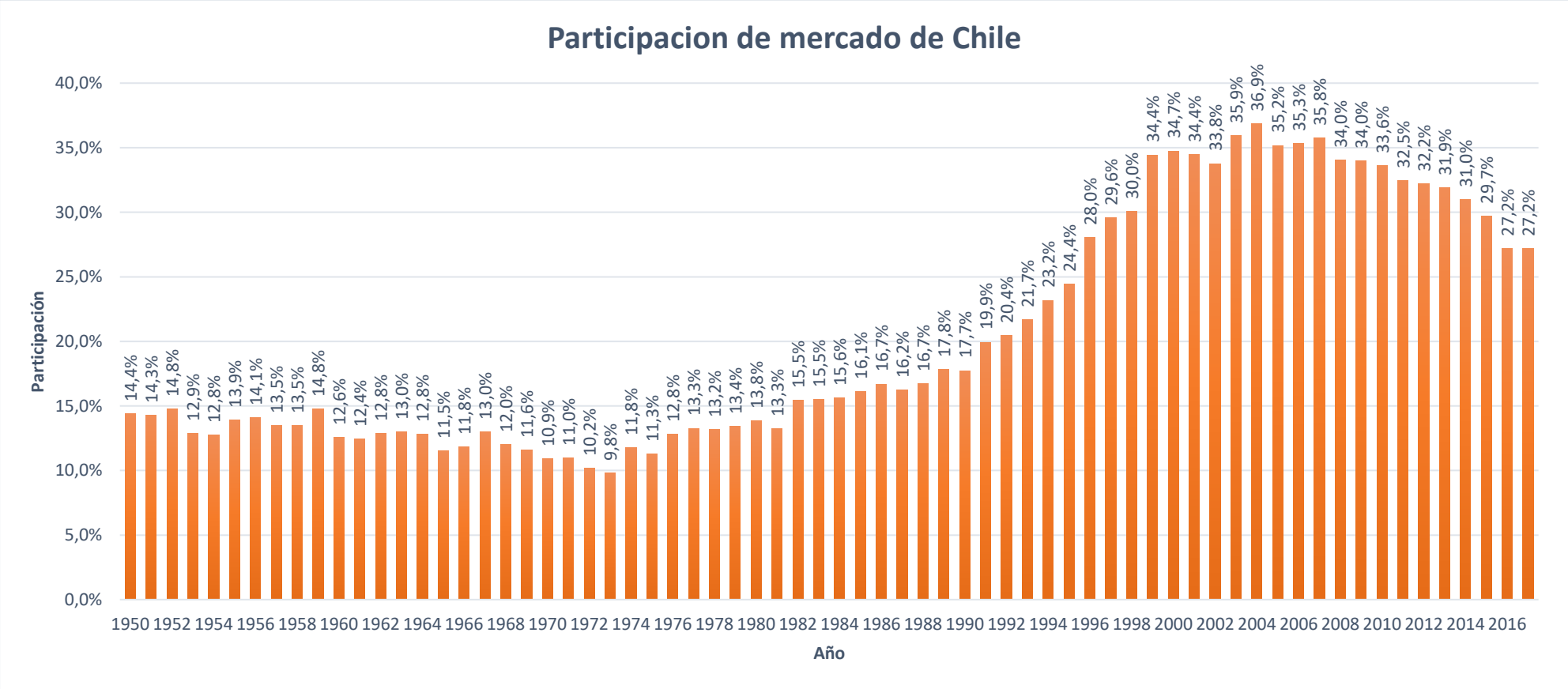
País	Producción (Miles de Toneladas Tm)
Chile	5.504
Perú	2.390
China	1.860
Estados Unidos	1.270
Australia	920
República democrática del Congo	850
México	755
Zambia	755
Indonesia	650
Canadá	620

Fuente: Elaboración propia

Gráfico N.º 2: Producción de cobre en Chile

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N.º 3: Participación de mercado Chile



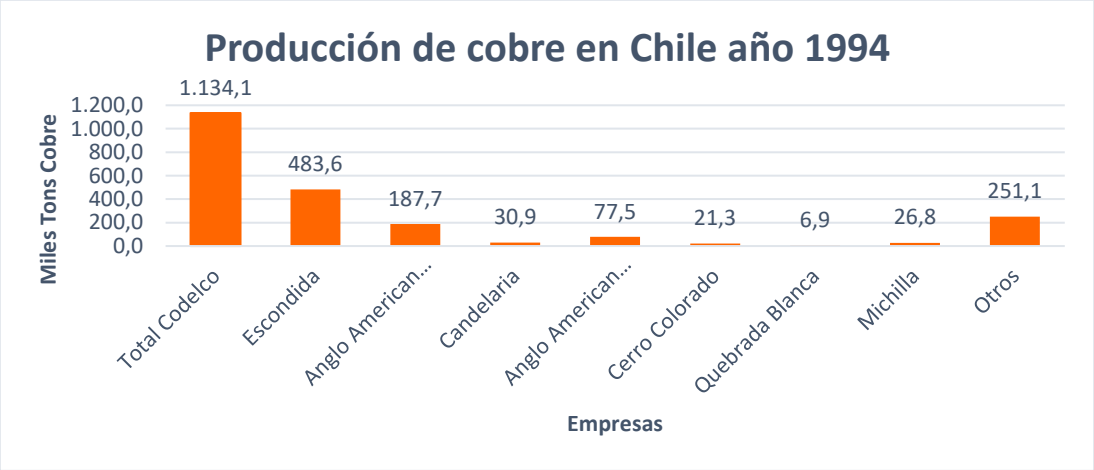
Fuente: Elaboración Propia

10.3 Producción de CODELCO en Chile

CODELCO siempre ha destacado por la participación de mercado que tiene en el mercado nacional, pero es notorio observar que en los últimos 23 años ha tenido una baja considerable, desde tener el 51% del mercado nacional, hasta abarcar hoy en día el 33% del mercado, esto debido a que durante este periodo se han incrementado considerablemente en número de empresas participantes en el mercado nacional.

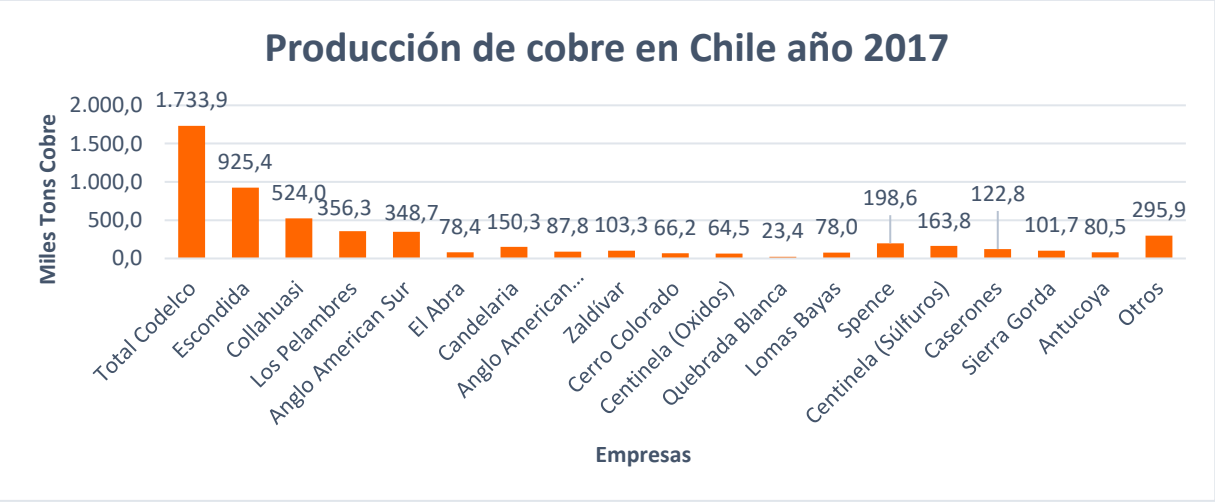
En CODELCO también se ha visto un aumento en la producción de cobre, en los últimos 23 años se ha aumentado en 708.000 toneladas la producción anual de la empresa. Ya que el año 1994 se produjo 1.134.000 toneladas de cobre y el año 2017 se lograron producir 1.842.000 toneladas de cobre fino. Observar Gráficos N.º 4, 5, 6 y 7 [7].

Gráfico N.º 4: Producción cobre por empresa en Chile 1994



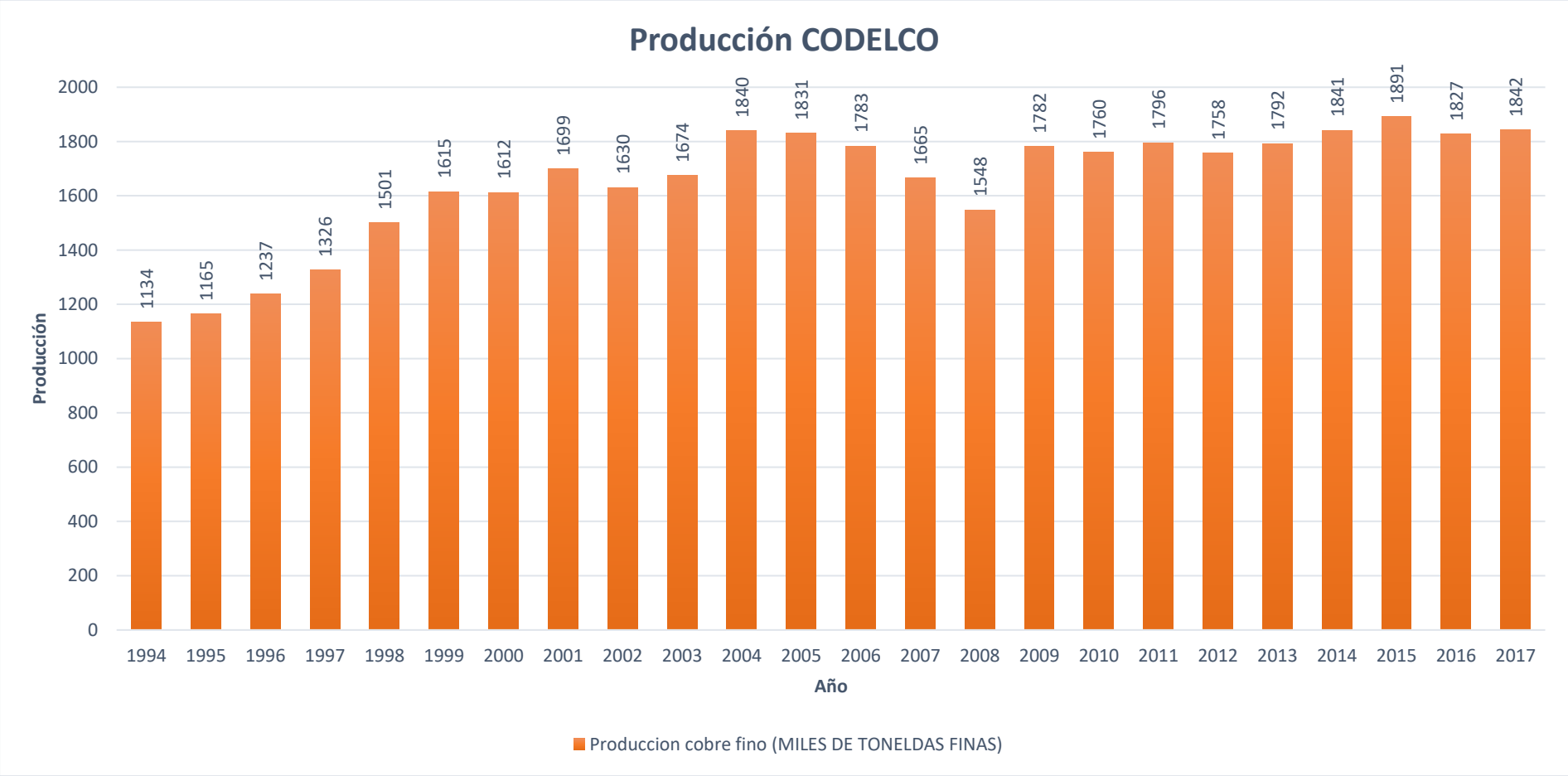
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N.º 5: Producción de cobre por empresa en Chile 2017



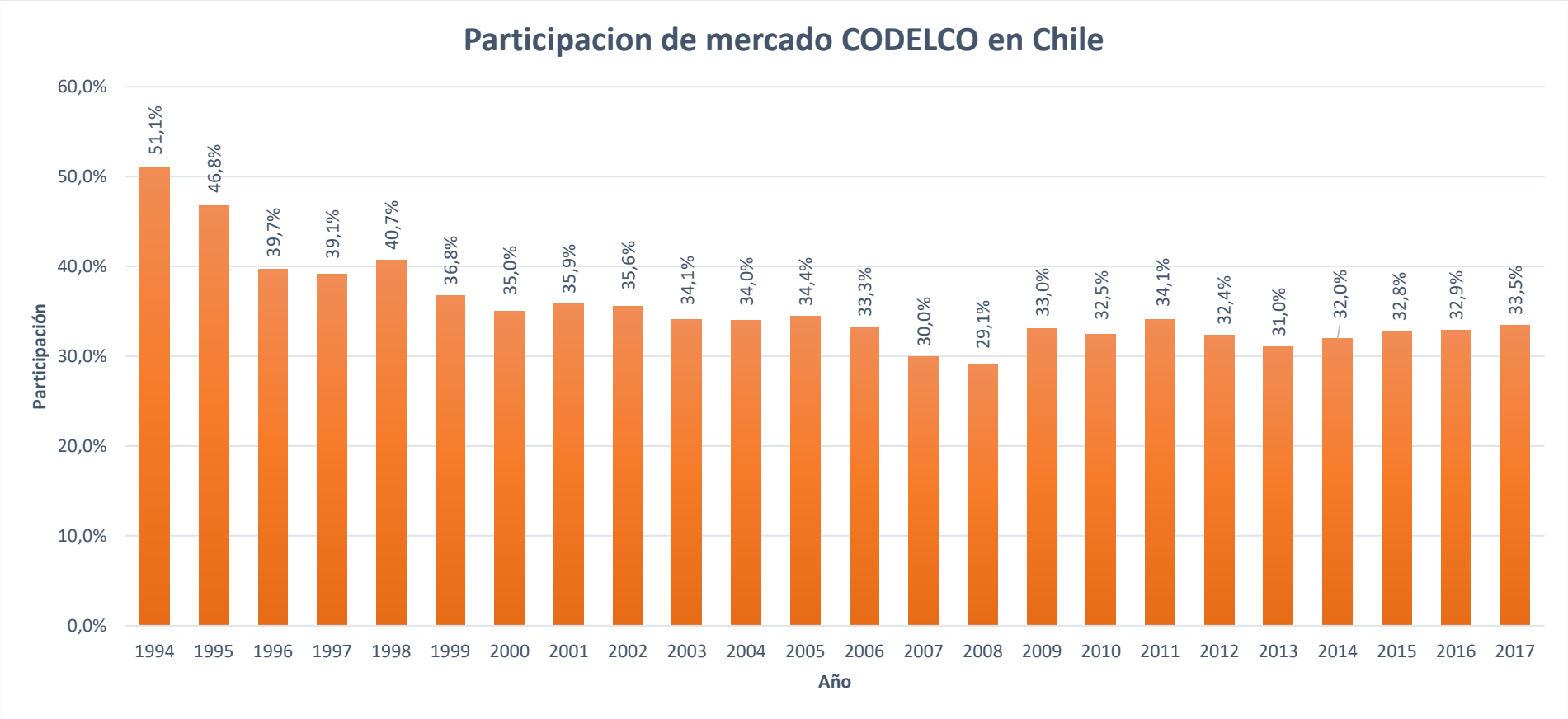
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N.º 6: Producción de cobre de CODELCO



Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N.º 7: Participación de mercado CODELCO en Chile



Fuente: Elaboración Propia

11 Tecnologías

11.1 Maquinarias

Las maquinarias son la base para las labores de construcción de túneles en minería, por lo que son de suma importancia ya que gracias a estas se tienen rendimientos y avances que hace unas décadas atrás eran impensados. Se ha solucionado y automatizado en parte el proceso de construcción, alivianando la carga a los operadores, y al mismo tiempo entregando resultados notoriamente más eficientes, lo que ayuda a aumentar la productividad en el proceso de construcción. A continuación, se procederá a nombrar y definir la maquinaria que es empleada en la construcción de túneles.

11.1.1 Jumbo de Perforación:

El jumbo es una maquinaria pesada que es utilizada para los procesos de construcción de túneles. Posee un conjunto de martillos (drills), los cuales están ubicados sobre una serie de brazos articulados, que pueden realizar sus movimientos gracias a un sistema hidráulico, para así lograr mover los martillos de forma que se logre realizar los trabajos de perforación por el frente de este. En cuanto a su traslado, pueden moverse siendo remolcados, o bien, pueden ser autopropulsados por un motor Diesel. Hoy en día, gracias a la automatización de estos, ofrecen un trabajo eficaz y confiable, permitiendo obtener una productividad mayor a la alcanzada en los inicios de esta actividad.

A continuación, se presenta un jumbo de dos brazos desempeñando labores de perforación (Figura N.º 8) y se puede observar un jumbo de cuatro brazos, donde tres de estos son drills y uno trabaja como grúa de levante (Figura N.º 9)

Función: Perforación de frentes.

Tipo de Roca: Muy dura, dura[20].

Figura N.º 8: Jumbo Electrohidráulico

Fuente: http://www.directindustry.es/prod/sandvik-mining-and-rock-technology/product-40142-642810.html, 2019

Figura N.º 9: Jumbo Electrohidráulico

Fuente: https://victoryepes.blogs.upv.es/2014/07/27/perforación-mediante-jumbos/, 2019

[20] Tabla de durezas de roca en sección 9.2.2.

11.1.2 Maquinaria TBM:

Es una máquina de grandes dimensiones que tiene como objetivo perforar el terreno, generando así un túnel. Donde la excavación se realiza mediante una cabeza giratoria (Figuras N.os 10 y 11), que está equipada con distintos elementos de corte y desgaste, los cuales son accionados por motores hidráulicos, y que tienen como base de funcionamiento la energía eléctrica. Como desventaja tiene que los túneles que realiza no pueden tener radios de giro muy cerrados y en el caso de las que tienen cabeza giratoria, se pueden hacer solo túneles de sección circular.

Función: Perforación de terreno a sección circular
Tipo de roca: Blanda

Figura N.º10: Tuneladora TBM

Fuente: http://agjv.no/news/82-third-tbm-completed

Figura N.º11: Tuneladora TBM

Fuente: http://agjv.no/news/82-third-tbm-completed

11.1.3 Pala cargadora Scoop:

La pala cargadora scoop, tiene como función principal el retiro de la marina[21] una vez realizado el disparo en el frente, la marina es transportada desde el frente a un punto de acopio de marina o a piqués de vaciado[22]. Es un vehículo motorizado, dotado de una pala, y que cumple la función de transporte de material. A continuación, en las Figuras N.os 12 y 13, se presentan dos equipos scoop para transporte de marina.

Figura N.º12: Pala cargadora Scoop

Fuente:http://s7d2.scene7.com/is/image/Caterpillar/C10647610?$cc-g$

Figura N.º13: Pala cargadora Scoop

Fuente: http://www.madisa.com, 2019

11.1.4 Grúa de Levante o Manipuladoras Telescópicas:

Este equipo es utilizado en los frentes, tanto para labores de posicionamiento y carga de explosivos (Figura N.º 14), como para labores de fortificación posterior a la detonación de los explosivos.

Es de suma importancia, ya que con estos equipos se pueden alcanzar lugares en altura, donde el acceso es muy difícil sin maquinaria de este tipo. En la Figura N.º 15 se muestra la elevación de un trabajador en una plataforma.

Figura N.º14: Grúa Telescópica

Fuente: http://mineriaconfuturo.com.pe, 2019

Figura N.º15: Grúa Telescópica

Fuente: http://www.construccionminera.cl/, 2019

[21] Marina: Roca quebrada que resulta de la acción de los disparos. Este material puede ser mineralizado o no mineralizado.

[22] Piques de vaciado: Túneles verticales que comunican los niveles de hundimiento de la mina con los niveles de producción y transporte al interior de una mina subterránea.

11.1.5 Robot de proyección de Hormigón (Roboshot):

Equipo utilizado para la proyección de shotcrete[23] en la etapa de fortificación de una frente donde se realizó un trabajo de tronadura y saneamiento.

Consiste en la proyección a alta velocidad de hormigón, desde una boquilla, como se puede observar en las Figuras N.os 16 y 17, en el primer caso es un proceso manual, y en el segundo caso es un proceso automatizado. Cumple con funciones de soporte y revestimiento interno de túneles, donde la base es la composición del material proyectado, que va definido según las características de la superficie a cubrir. Esta máquina, permite que en el frente exista menos personal expuesto, una mejor visibilidad, además de ser una medida para aumentar la seguridad estructural dentro de la mina.

Figura N.º16: Roboshot

Fuente: www.construccionminera.cl, 2019

Figura N.º17: Roboshot

Fuente: http://bestsupportunderground.com/costes-, 2019

[23] Shotcrete: Hormigón proyectado a gran velocidad, utilizado para labores de fortificación.

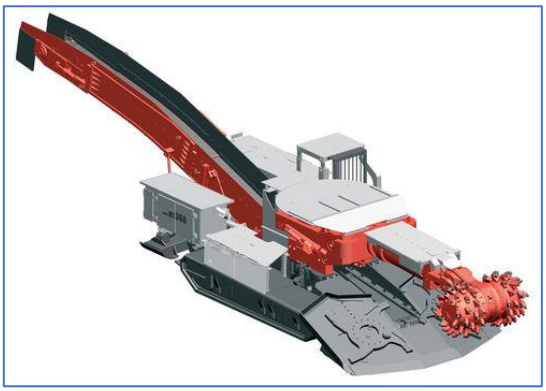
11.1.6 Rozadora:

Esta máquina es utilizada para hacer galerías[24] subterráneas.

Está compuesta por un cabezal rotatorio montado sobre un brazo articulado, y provisto de una herramienta de corte hecha de metal que es la que quiebra la roca. Puede tener un receptor y una cinta transportadora para el material desprendido de la roca, o bien una defensa para evitar daños a la maquinaria.

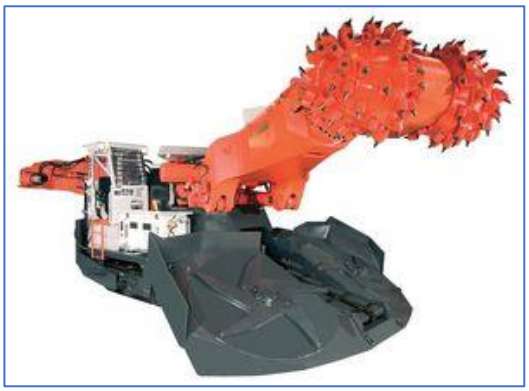
Las Figuras N.ºs 18 y 19, corresponden a dos modelos diferentes de rozadoras, ambas cumplen la misma función.

Figura N.º18: Rozadora



Fuente: http://www.directindustry.es/prod/sandvik-mining-and-rock-technology/product-40142-644511.html

Figura N.º19: Rozadora



Fuente: http://www.directindustry.es/prod/sandvik-mining-and-rock-technology/product-40142-644511.html

[24] Galería subterránea: Túneles realizados dentro de la mina.

11.2 Componentes Jumbo

El Jumbo es el equipo utilizado para la perforación frontal de los túneles, por el método "Drill & Blast" y son una herramienta fundamental para el avance de túneles para la minería.

En la Figura N.º 20, se presentan los principales componentes de un equipo jumbo, donde se pueden observar la máquina perforadora, que está sostenida por el Boom[25], a la máquina perforadora se le acoplan los rock drills [26] que son los equivalentes a la broca de un taladro. La estructura que sostiene los rock drills tiene centralizadores para que las perforaciones se hagan con la angulación indicada, para así maximizar el avance y a la vez minimizando la existencia del fenómeno de la sobre excavación.

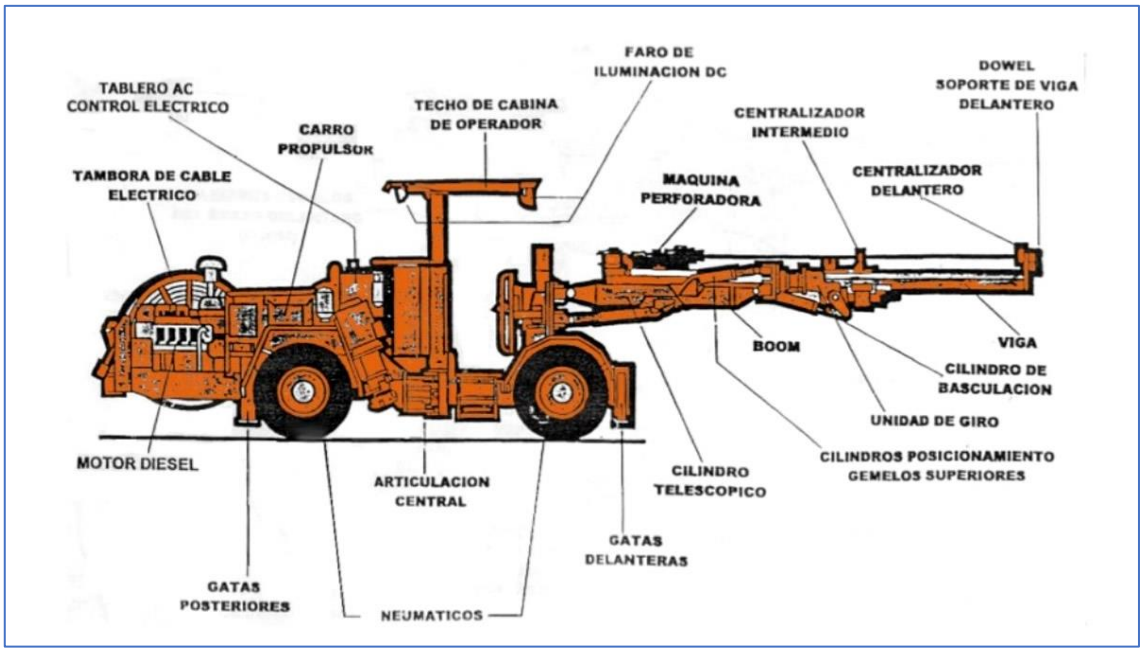
Es precisamente la parte frontal del equipo la que determina la productividad de este, ya que es la encargada de realizar las perforaciones donde posteriormente se cargarán los explosivos para hacer la tronadura. Si la perforación se realiza de forma errónea (variación en el ángulo), la distancia del avance disminuye. Además, esto puede generar aumentos en los índices de sobre excavación o sub excavación, dependiendo del ángulo.

Los jumbos poseen cuatro gatas, dos frontales y dos posteriores que sirven para anclarse al suelo mientras se realizan labores de perforación.

Con respecto a la cabina, existen dos tipos de jumbo, con cabina o con canopy[27]. La cabina es una casilla cerrada que protege al operador de las distintas situaciones de peligro que se dan en la mina. Los denominados canopy, es un equipo al que se le reemplaza la cabina por una estructura de cuatro pilares que sostienen un techo estructural, que protege al operario de desprendimientos leves. Los equipos son propulsados por motores Diesel, ayudados con energía eléctrica, que se ubican en la parte trasera del equipo, entre la tambora para cables eléctricos y la articulación central.

[25] Boom: Son los brazos que tienen los Jumbo y son los que sostienen los elementos de perforación.
[26] Rock drills: Elementos de perforación del Jumbo.
[27] Canopy: Estructura de cuatro pilares que sostienen un techo estructural, que protege al operario de desprendimientos y posibles accidentes.

Figura N.º20: Componentes de un Jumbo



Fuente: https://es.slideshare.net/tebanpr/el-jumbo-hidraulico

11.3 Comparación entre Jumbos estudiados

Dentro de la obra 200 de Gardilcic, coexisten dos grupos de Jumbo, que presentan tecnologías disimiles dado la fecha de adquisición de cada uno. En total, se estudiarán seis equipos de los cuales tres son adquiridos recientemente en el año 2018, y los tres equipos restantes son equipos que llevan más años trabajando en la empresa.

En las Tablas N.º 3 y 4, se procede a hacer una lista con las características técnicas más importante para la perforación con información extraída de las fichas técnicas de cada uno (Anexo N.º 2), para los equipos de ambos grupos, para luego hacer una comparación entre ambos.

Tabla N.º 3: Equipos considerados en el estudio

Código Equipo	Modelo Equipo	Año Equipo
M-662	D321-40cc (2 brazos Nav)	2018
M-663	D321-40cc (2 brazos Nav)	2018
M-669	D321-40cc (2 brazos Nav)	2018
M-681	Troidon 55D (1 brazo)	2017
M-687	Troidon 55D (1 brazo)	2014
MA-454	Atlas Copco Boomer-282 (2 brazos)	2016

Fuente: Elaboración propia

Tabla N.º 4: Comparación técnica entre jumbos

Características	Jumbo DD321-40C	Troidon 55D	Boomer 282
Rock Drill	RD520	Montabert HC95	COP1838
Drill Percussion rate	74 Hz	68 Hz	60 Hz
Peso Drill (Kg)	225	185	175
Vigas telescópicas	2	1	2
Sensores	✓	✕	✕
Navegación	Automatizada	Manual	Manual
Software	TCAD 3.2_r6261 + iSURE	-	-
Electric Power	380v / 50 Hz / 130kW	380V / 50 Hz / 75 kW	380 V / 50 Hz /125 kW
Peso total	22.200 kg	13.500 kg	18.300 kg
Eje frontal	15.600 kg		12.800 kg
Eje posterior	6.600 kg		5.500 kg

Fuente: Elaboración Propia

11.4 Equipos estudiados

Dado los distintos factores, y considerando principalmente la calidad geomecánica de la roca, se decidió estudiar seis equipos que operan en la obra 200 y que, a su vez, operan paralelamente dentro de la mina, para así lograr tener parámetros en condiciones lo más similares posibles para todos los equipos.

Los códigos internos de estos equipos en Gardilcic son; M662, M663 y M669, para los equipos incorporado a la flota el año 2018. El código interno para los equipos que ya operaban en la empresa son: M681, M687 y MA454.

11.4.1 Sandvik DD321-40C (Código interno M662, M663, M669)

Es un equipo de perforación frontal, de dos brazos que sirve para labores de excavación horizontal en la mina.

Modelo de drill RD520:

> Tiene un diseño especial para la perforación frontal en el desarrollo de una mina y la perforación de túneles. También es adecuado para taladrado de pernos, exploración y orificios de inyección.
>
> Es un taladro hidráulico de percusión con rotación reversible independiente y altura de perfil bajo. Conocido por su eficiencia hidráulica y alta tasa de penetración, tiene una excelente capacidad de servicio a través de la construcción modular y los indicadores de desgaste visual.

Sistema de navegación TCAD +:

> Es un software de perforación asistida por computador. Ayuda a la disminución de la sobre y sub excavación.
>
> El objetivo de este programa es ejecutar con mayor precisión los planes de perforación prediseñados, ayudado por navegación laser, todo esto con una interfaz sencilla y fácil de usar, donde se pueden crear y editar la posición de los láseres en pantalla.
>
> Al mejorar significativamente la precisión de la perforación, se logra un mayor avance, y por lo tanto se necesitará menos excavación para lograr los objetivos. Lo anterior se traduce en menor uso tanto de materiales de fortificación, de energía, y de los equipos utilizados en la tarea, además de al ser las tronaduras más controladas. Por último, presenta una mejora en el factor seguridad en general del proyecto.

Software iSURE:

Este software permite contar con mayor precisión y se reducen factores como la sobre excavación, lo que da como resultado un aumento en la productividad.

Las características clave de este software se dividen en tres ramas; la de Túneles, las de Reportes y las de análisis de información.

En cuanto a túneles permite:

- Organización de datos de proyecto
- Diseño de la línea del túnel
- Diseño del perfil
- Diseño de la perforación y la voladura
- Diseño de plan de fortificación y muestreo
- Creación de documentos a partir de planes de perforación.

Con respecto a la sección de reportes:

- Recopilación de datos del equipo
- Presentación de datos
- Generación de reportes.

En la sección de análisis

- Recopilación, visualización y reporte de datos.

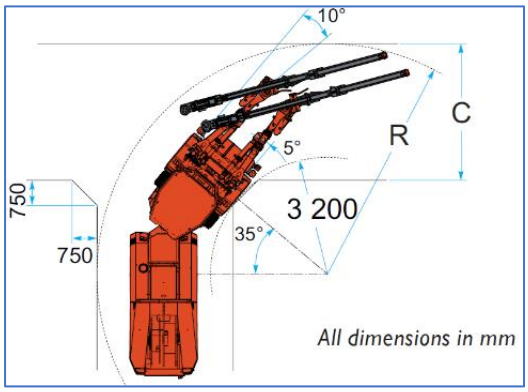
En resumen, este software es una gran ventaja para obtener información y datos exactos generados automáticamente con el funcionamiento del equipo. Esta información es útil para visualizar la situación actual de la empresa, tales como tasas de avances, productividad y utilización de los equipos.

La precisión del disparo y tasa de avance también dependerá de la dureza que presente la roca a perforar, ya que, si es muy dura, esta característica de la roca es capaz de desviar los barrenos al momento de la perforación.

Otro punto importante que puede ser provocante de desvíos en los barrenos y por lo tanto un menor avance, son los operarios, es decir, la habilidad, experiencia y destreza del operador para calibrar y utilizar de correcta manera el jumbo en conjunto con el software integrado.

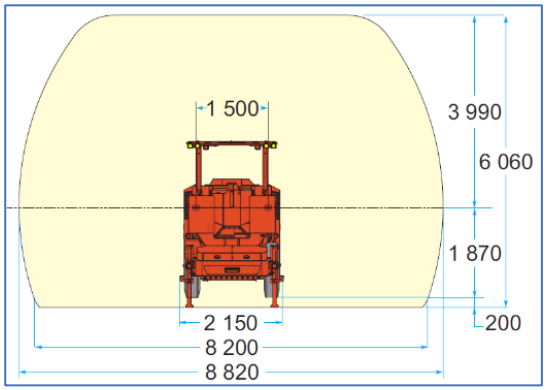
En las Figuras N.os 21, 22 y 23, se pueden observar las distintas características de los equipos Sandvik DD321-40c entregadas por el fabricante.

Figura N.º21: Radio de giro Sandvik



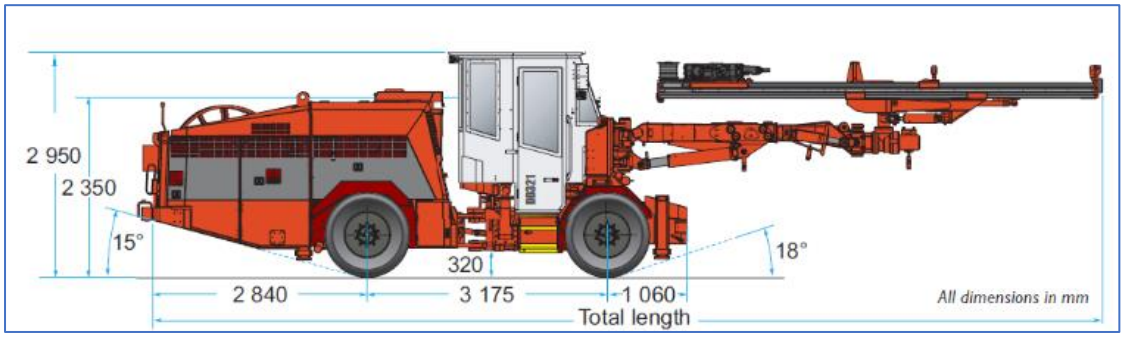
Fuente: Ficha técnica equipo

Figura N.º22: Rango alcance Sandvik



Fuente: Ficha técnica equipo

Figura N.º23: Dimensiones Sandvik DD321-40c



Fuente: Ficha técnica equipo

11.4.2 Troidon 55D:

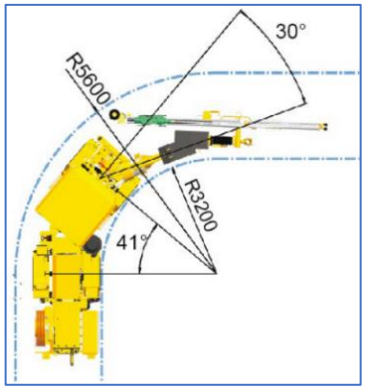
Los equipos Troidon 55D utilizados en la obra 200, son jumbos electrohidráulicos de perforación frontal, que están equipados sólo con un brazo y tienen un ancho de 1.85m. Se utilizan tanto como para perforación de avance, como para perforación de fortificación. Este equipo es capaz de hacer obras civiles de secciones medianas desde 3.5 x 3.5m hasta 5.3 x 5.3m de ancho.

Este equipo está equipado con una perforadora Montabert modelo HC 95 de 22kW, con un sistema que evita el atascamiento de los barrenos. Cuentan con tracción en las cuatro ruedas, es propulsado por un motor diésel y no posee ningún sistema de navegación ni automatización para perforación.

Existen dos de estos equipos en la obra 200, de los años 2014 y 2017, respectivamente.

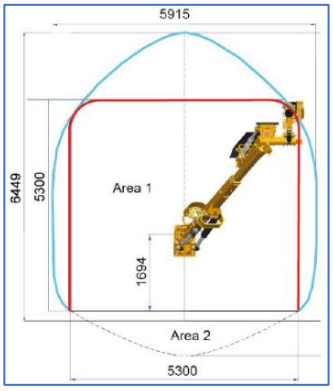
En las Figuras N.ºs 24, 25, 26 y 27, se exhiben algunas de las características de los equipos Troidon 55D entregadas por el fabricante.

Figura N.º24: Radio de giro Troidon 55D



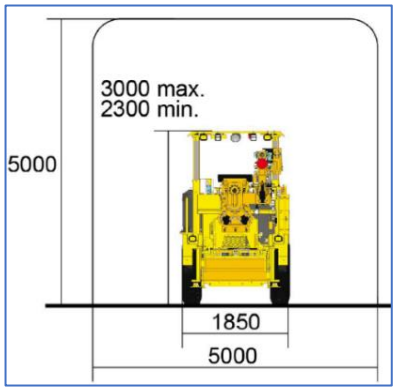
Fuente: Ficha técnica equipo

Figura N.º25: Rango alcance Troidon



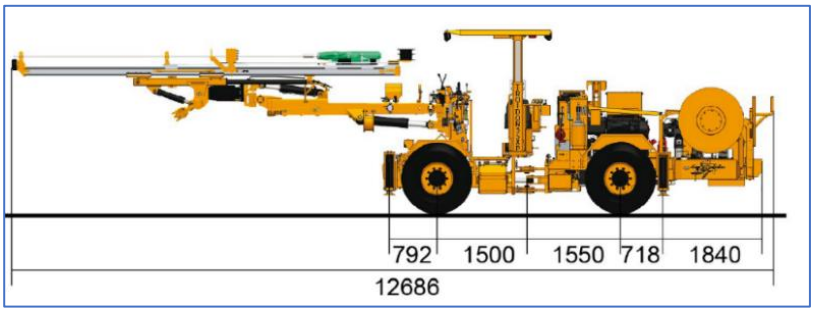
Fuente: Ficha técnica equipo

Figura N.º27: Dimensiones Troidon



Fuente: Ficha técnica equipo

Figura N.º26: Dimensiones Troidon 55D



Fuente: Ficha técnica equipo

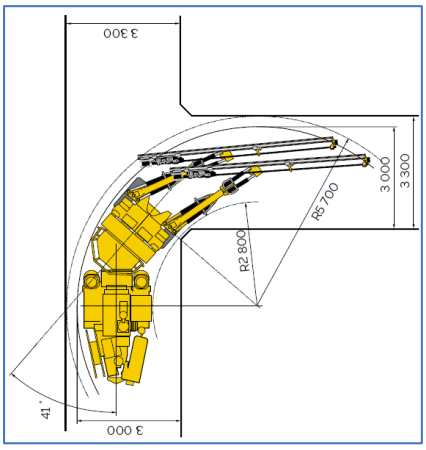
11.4.3 Atlas Copco Boomer 282:

Tiene un peso total de 18.300 kg. Está equipado con dos perforadoras COP 1800 HD+, una en cada brazo, y tiene un chasis articulado que es propulsado por un motor diésel Deutz. Este equipo no posee ningún sistema de navegación ni automatización de apoyo para la perforación frontal.

Este equipo se encuentra en arriendo por la empresa, y su año de fabricación es el 2016.

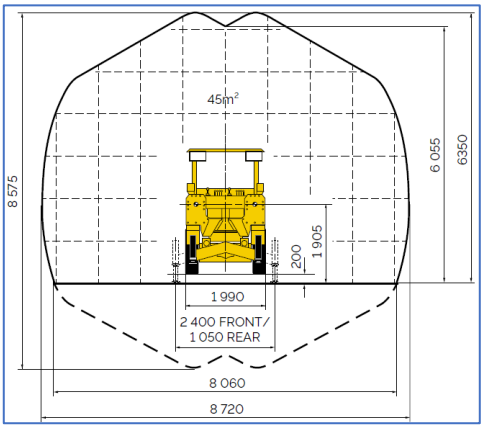
En las Figuras N.ºs 28, 29 y 30, se exhiben algunas de las características que el fabricante entrega de los equipos Boomer 282.

Figura N.º28: Radio de giro Boomer 282



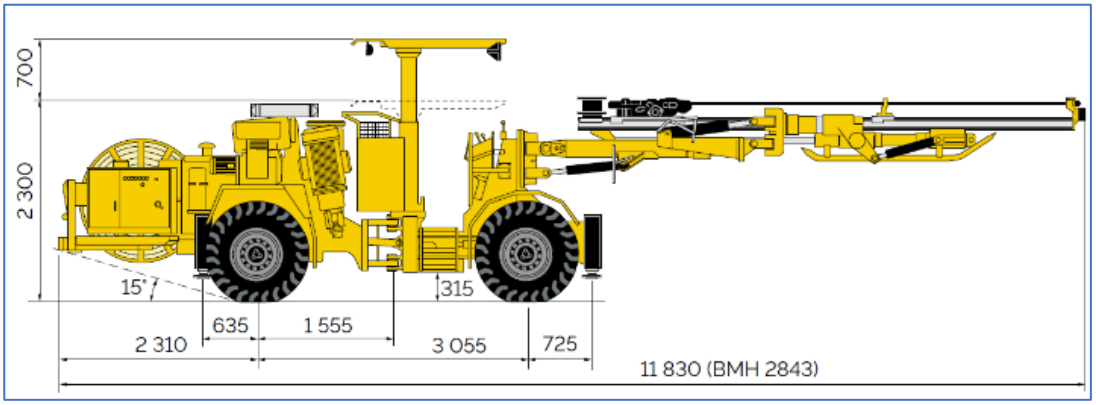
Fuente: Ficha técnica Equipos

Figura N.º29: Rango de alcance Boomer 282



Fuente: Ficha técnica Equipos

Figura N.º30: Dimensiones Boomer 282



Fuente: Ficha técnica Equipos

12 Marco teórico

En esta sección se explican y detallan distintos factores que serán de gran utilidad para la comprensión de distintos procesos y factores que posteriormente se analizarán.

12.1 Proceso de Construcción de Túnel en Gardilcic [8]

La Constructora Gardilcic se dedica a prestar servicios referentes a la construcción de túneles en el rubro de la minería.

El método de construcción de túneles utilizado es el método “Drill & Blast”, por lo tanto, para esta labor son utilizados los equipos Jumbos

La instalación de Split sets se utilizan para reestablecer las condiciones de estabilidad de la roca luego de la tronadura, y de esta forma se pueden realizar trabajos bajo las condiciones de seguridad establecidas.

Puede existir un paso adicional, que es el “Desquinche”, que se realiza en caso de que exista sub excavación. Se trata de modificar y ampliar el área del túnel una vez realizado la tronadura, dado a que no se cumplieron los requisitos de área esperados.

En el Diagrama N.º 2 se observa el proceso de construcción de túneles por el método de Drill & Blas, en él se explica cada paso que se lleva a cabo para la construcción de un túnel en minería subterránea.

Proceso de construcción de túnel con método "Drill & Blast"

Diagrama N.º 2: Proceso de Construcción de Túnel *Fuente: Elaboración propia*

1. •Planteo de Diagrama de tiro: Se señala mediante marcas topográficas la sección y orientación con que debe excavarse el ciclo del túnel. También se marca el diagrama que define donde se harán las perforación con el Jumbo.
2. •Perforación de tiros: Consiste en taladrar la roca en distintas ubicaciones, donde posteriormente se insertara el explosivo. El equipo utilizado para este paso es el Jumbo.
3. •Carga y conexión manual de explosivos: Se carga cada perforación realizada anteriormente con explosivos manualmente, y luego son conectadas al sistema iniciador.
4. •Tronadura: Se efectúa la tronadura del explosivo. La roca se quiebra y da como resultado avance en la roca y la "marina" (roca tronada).
5. •Ventilación: Los gases provenientes de la tronadura deben ser extraídos o su concentración diluida para poder nuevamente permitir el ingreso del personal.
6. •Carguío y retirada de escombro: Se carga la marina con el uso del Scoop (cargador de bajo perfil) y los retiran los camiones Dumper hasta dejar el sector totalmente limpio.
7. •Saneamiento y Acuñadura : Saneamiento, liberar el espacio de trabajo de pernos, malla, y split set, que fueron dañados con la tronadura. Acuñadura para asegurar que la roca existente en todo el contorno de la sección del túnel recién excavada se encuentre estable.
8. •Perforación de Fortificacioón: La lleva a cabo el jumbo, haciendo perforaciones radiales en el perimetro del perfil excavado.
9. •Fortificación: Instalar en el sector recién excavado un sostenimiento para asegurar la estabilidad de excavación. los sistemas de sostenimiento mas comunes son pernos de fortificación, hormigón proyectado y marcos (metálicos o de hormigón).
10. •Acondicionamiento o Hilteo: Es el ajuste de la malla a la roca, logrando así la efectiva contencion de la roca.
11. •Replanteo de nuevo diagrama de tiro: Realizar un nuevo diagrama de tiro para repetir el proceso.

12.2 Método de extracción Block Caving:

Block Caving, es el método de explotación utilizado en la mina El Teniente, y que se utiliza cuando el yacimiento es de grandes dimensiones, o bien, en yacimientos que tienen cuerpos[28] con forma de columna y poseen un gran espesor.

Este método es aplicable idealmente en rocas que poseen características de fácil fragmentación. Pero no es un factor excluyente, ya que hoy en día existe tecnología suficiente para lograr los mismos resultados en rocas con características de mayor resistencia a la fragmentación.

Para la utilización de este método, lo ideal es que la composición de la roca presente una ley[29] uniforme de mineral, ya que este método es utilizado para explotar grandes dimensiones de roca, y de esta manera no permite realizar filtros de material estéril[30].

El método consiste en el hundimiento del yacimiento en forma de columna, esto se inicia con un corte en un nivel inferior (nivel de hundimiento) del cuerpo mineralizado, en el cual, con métodos de perforación y tronadura se logra la fragmentación para la posterior extracción del mineral.

Una vez realizadas las labores de perforación y tronaduras, se utilizan a favor los esfuerzos internos del macizo rocoso, como lo son la fuerza de gravedad y los esfuerzos tectónicos. Ya que como se indujo una condición de inestabilidad, se provoca un desplome continuo de roca, lo que naturalmente reestablece las condiciones de equilibrio.

El material desplomado es retirado, a través de zanjas y bateas, por palas tipo Scoop, y es depositado en los distintos piques que comunican con los niveles inferiores, se aprovecha esta parte del proceso para continuar con la fragmentación de la roca. Esta situación genera nuevamente un quiebre en el equilibrio de la roca, por lo tanto, se repite el ciclo anterior, donde se vuelven a producir desplomes de roca para generar una condición de equilibrio.

El fin del proceso se produce cuando se ha extraído la totalidad de la columna mineralizada, resultando un cráter en la superficie, por el descenso del material estéril de la superficie.

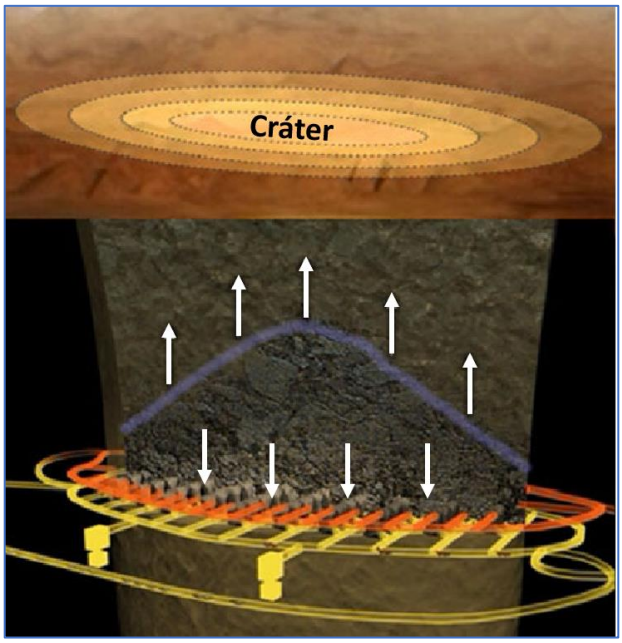
En la Figura N.º 31, se puede observar el proceso de Block Caving, donde se realizan una serie de tronaduras en el nivel de hundimiento para lograr la inestabilidad de la roca, situación que se grafica con flechas blancas, donde la roca tronada llega al nivel de producción y genera un cráter en la superficie del cerro donde está ubicada la mina.

[28] Cuerpo: referido a la forma del yacimiento.

[29] Ley de Mineral: referido a la concentración de mineral presente en una roca y en el material mineralizado de un yacimiento.

[30] Material estéril: material sin valor económico, que cubre o se encuentra adyacente a un yacimiento de mineral.

Figura N.º31: Método de excavación "Block Caving"



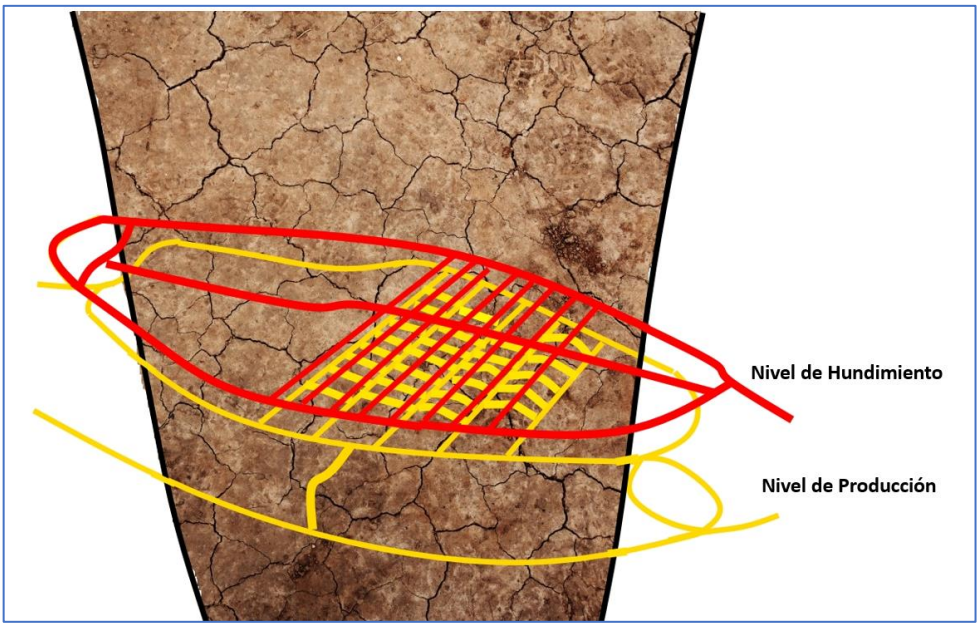
Fuente: www.gardilcic.cl

Las instalaciones necesarias para llevar a cabo este método de explotación son una serie de niveles dentro de la mina, algunos de ellos son:

- Nivel de Hundimiento (UCL[31]): Nivel superior de la construcción, posteriormente desaparecerá; es en este nivel donde se realizará la socavación del macizo. (Sector rojo Figura N.º 32)
- Nivel de Producción: a este nivel llega la roca mineralizada a través de los puntos de extracción, la cual es trasladada por palas y depositadas en piques. (Sector amarillo Figura N.º 32)
- Nivel de Transporte: Se carga y transporta el mineral hacia el exterior de la mina, para su posterior chancado y continuar el proceso de producción.
- Nivel de Ventilación: Su objetivo es mantener flujos de aire y el nivel de oxígeno suficiente para poder realizar las labores necesarias dentro de la mina, tanto para personal, como para equipos.

[31] UCL: Under Cut Level

Figura N.º32: Representación Nivel Hundimiento y Nivel Producción método Block Caving



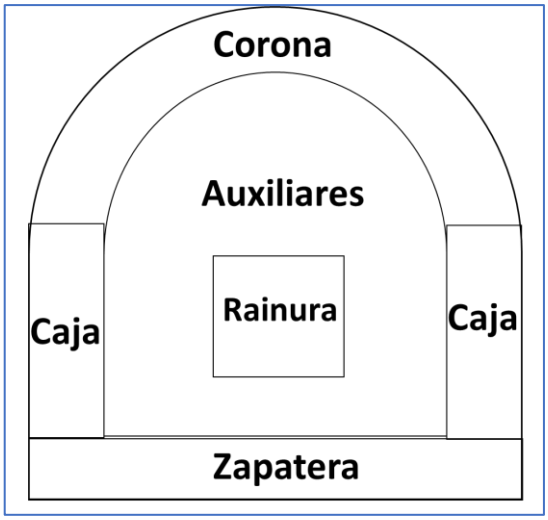
Fuente: Elaboración propia

12.3 Características tronadura subterránea

La tronadura subterránea tiene como objetivo lograr el mayor avance efectivo posible dentro de la roca, y, a la vez, acercarse lo más posible al perfil requerido del túnel.

El diseño del frente dependerá de las dimensiones que se le quiera dar al túnel. Mientras mayor sea la dimensión, mayor tendrá que ser la cantidad de perforaciones realizadas en el frente.

Figura N.º33: Nombres zona de sección



Fuente: Elaboración propia

Una frente está constituida por cajas, zapatera, corona, tiros auxiliares y rainura, tal como se presenta en la Figura N.º 33. Zonas de la sección que se describen a continuación:

Cajas: son las zonas laterales en la construcción de túneles, son lo equivalente a las “paredes” del túnel, van reforzadas con pernos, malla y shotcrete.

Zapatera: Es la base de la frente, se debe limpiar constantemente para lograr tener la zona de trabajo despejada y así cumplir con las tareas asignadas.

Corona: Zona superior, donde se realizan perforaciones para la pronta instalación de explosivos.

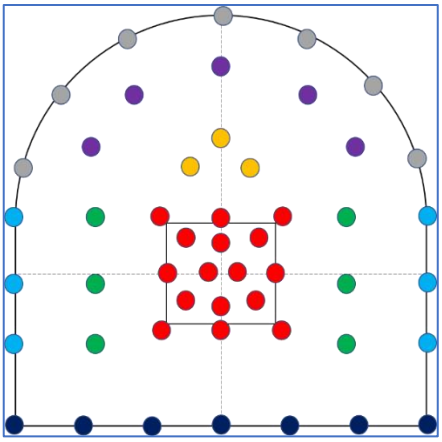
Auxiliares: Perforaciones realizadas para servir de ayuda/guía en las tronaduras, permitiendo así fragmentación gran parte de la roca a remover.

Rainura: Es la zona central de la frente, y es la ubicación donde existe mayor cantidad de tiros o perforaciones para la posterior instalación de cargas explosivas.

La tronadura sigue una secuencia, que se debe tronar desde la rainura hacia afuera, es decir, en la Figura N.º 34 siguiente, desde los puntos centrales hacia los puntos exteriores.

Para realizar la diferencia en tiempos de cada explosión se utilizan aparatos que retrasan los tiempos de detonación (retardadores nonel[32]). En este caso, cada explosión se realiza con 20 o 50 milisegundos de diferencia.

Figura N.º34: Representación de Diagrama de Tiro



Fuente: Elaboración propia

En la Figura N.º 34 se observan dos líneas grises punteadas, a la horizontal se le denomina gradiente, está ubicada a 1 metro del suelo, y sirve para tener una referencia del plano en el que se está, además de servir como guía para la instalación del primer perno de fortificación (a 70 cm bajo la gradiente), este perno será la guía para el resto de la parada[33].

La línea vertical indica la mitad exacta de la frente, es realizada por topografía y sirve como guía para la ubicación de las posteriores perforaciones,

Para el diseño de la frente de disparo (malla de perforación), se deben tener en consideración algunos aspectos importantes, tales como:

- Sección y forma de la labor
- Cualidades y calidad de la roca
- Tipo de explosivos
- Volumen de marina a retirar
- Secuencia de iniciación de tiros
- Profundidad y Diámetro de los tiros
- Seguridad en la operación.

[32] Nonel: Aparato que retrasa ciertos milisegundos la acción del explosivo.
[33] Parada: conjunto de pernos instalados radialmente en una misma línea, cuya función es fortificar una sección del túnel.

Para una perforación y un porcentaje de avance exitoso, se recomienda la realización de 74 perforaciones, pero por lo general, el número de perforaciones que se manejan bordean las 54, lo que cumple con el resultado esperado, pero muchas veces puede ser el provocante de disparos mal realizado, tiros quedados o soplados, lo que tiene como potencial consecuencia que el avance de esa frente sea menor que el esperado. Esta práctica se lleva a cabo, ya que son menores los costos operacionales, menos horas maquinas utilizadas (menos mantenciones) y por lo tanto también se ahorra en tiempo, lo que para los operadores es lo más importante, ya que muchas veces son presionados por los jefes de terreno para realizar el disparo, dejando de lado la calidad de la perforación y privilegiando la realización del disparo.

12.4 Detalles y riesgos asociados:

12.4.1 Acuñadura:

Consiste en botar todas las rocas sueltas, que quedan inestables en una galería, producto de una tronadura, la descomposición de la roca por el aire o temperatura ambiente. Esto se realiza para que los trabajadores puedan hacer ingreso en un ambiente seguro y controlado.

Tiene carácter permanente en toda la mina, es decir, no se puede ingresar a ningún sector que no haya sido anteriormente acuñado.

Pasos de la acuñadura:

- Realizar ART
- Identificar sector que se acuñará
- Evacuar a personal innecesario y ajeno a la actividad
- Confinar el área
- Solicitar equipo de levante con jaula o equipo estructural con techo protector y malla de bizcocho unida al techo.
- Revisar tamaño de acuñadores y tamaños que se necesitaran
- Despejar accesos a lugar a acuñar para instalar equipo de levante con plataforma que permita alcanzar mayor altura
- Instalar equipos de iluminación auxiliar como focos halógenos
- Verificar estado del piso
- Revisar grietas, roturas cercanas y tomar medidas preventivas.
- Des energizar, retirar y proteger equipos para evitar contactos eléctricos con el acuñador o rocas que caigan
- Cortar suministro de red de cañerías.

Riesgos en la acuñadura:

- Atrapamiento por caída de roca
- Aplastamiento por movimiento de carga suspendida
- Caída de distinto nivel
- Caída de mismo nivel
- Proyección de partículas
- Apretado por
- Atricción o fricción con maquinaria.

12.4.2 Perforación

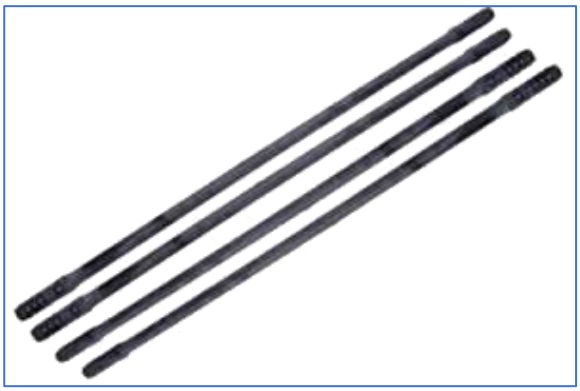
Se realiza para la colocación de cargas explosivas y/o colocación de pernos de fortificación. Esta tarea la realiza el Jumbo, el que toma posición en la frente, donde se instala una cinta de confinamiento, focos de iluminación. Toda esta actividad se realiza con los equipos apagados y des energizados, debido al riesgo que esta acción implica.

En la Figura N.º 36, se exhibe un bit de perforación, este último va ubicado en el extremo del barreno de perforación (Figura N.º 37), y es el elemento que entra en contacto con la roca para que se produzca la perforación.

Figura N.º36: Bit de perforación

Fuente: http://www.rocktool.cl/catalogo.html

Figura N.º35: Barreno de perforación



Fuente: http://www.rocktool.cl/catalogo.html

<u>Tipos de perforación:</u>

Perforación de avance: cavidad donde serán alojados explosivos y elementos de iniciación, para posterior realización de la tronadura.

Perforación de fortificación: cavidad donde serán alojados los pernos helicoidales o rosca, con los cuales se da solidez a la estructura y sirve para fijar la malla metálica a la superficie, y así evitar riesgos de desprendimientos.

Antes de esta actividad, se debe haber realizado el fortificado, drenado, acuñado, marcación de diagrama de disparo y patrón de los pernos de fortificación en el frente.

Pasos perforación de avance:

- Realizar ART
- Inspeccionar el equipo
- Inspeccionar frente por posible existencia de tiros quedados
- Retirar restos de marina de la pata (entre suelo y pared)
- Posicionar el jumbo
- Energizar el jumbo
- Colocación de barras (elemento de extensión) y bit (elemento de perforación)
- Instalación bomba de drenaje
- Confinamiento del área.

Pasos perforación de fortificación:

- Realizar ART
- Inspeccionar el equipo
- Posicionar el jumbo
- Energizar el jumbo
- Colocación barras
- Instalación de bomba de drenaje
- Confinamiento del área.

Riesgos fortificación:

- Atropello
- Atrapamiento por sistema de rotación
- Contacto con energía eléctrica en instalación de bomba de drenaje
- Caída de distinto nivel
- Contacto con liquido hidráulico
- Proyección de partículas.

12.4.3 Fortificación:

Es una fase esencial de aseguramiento en el nuevo espacio de extracción por avance de una frente. Para darle sostenimiento a la roca, protegiendo así la vida e integridad de los trabajadores y dar avance a los desarrollos de forma segura.

Antes de esto el sector debió ser correctamente acuñado y perforado para los pernos de fortificación.

- Realización ART.
- Colocación de lechada[34].
- Colocación de los pernos helicoidales o pernos rosca, que se introducen en las perforaciones que ya se les inyectó la lechada.
- Colocación de malla, se instalan todos los paños de malla de una vez, se ajustan y mediante planchuelas y tuercas se aprietan y fijan con los pernos de fortificación.
- Proyección de shotcrete.

Riesgos fortificación:

- Atrapamiento de caída de roca.
- Proyección de la lechada.
- Ser golpeado por roca.
- Caída de mismo y distinto nivel.
- Contacto de energía eléctrica.

[34] Lechada: Masa fina de cal, yeso o cemento mezclado con agua que se emplea para blanquear paredes o como argamasa para fijar ladrillos.

12.4.4 Carguío y tronadura:

Antes de comenzar esta actividad, el sector debe estar acuñado, limpio y tener la fortificación adecuada. Es la actividad de carga de las cavidades realizadas en la etapa anterior (perforación). Aquí se rellenan las cavidades con explosivos y son conectadas con los elementos iniciadores. Luego de tomar todas las medidas de prevención, se realiza la tronadura, que tiene como objetivo abrir paso a través de la roca, dejando un nuevo frente, el cual tendrá que ser posteriormente acuñado, fortificado y perforado para poder continuar con el proceso de construcción.

Pasos carguío y tronadura:

- Realizar ART
- Verificación de frente a cargar
- Confinamiento de área a trabajar
- Llenado de vale de explosivo
- Traslado de explosivo al frente de trabajo
- Almacenamiento del explosivo en terreno (Separado entre ANFO, TRONEX y SOFTRON)
- Cargar la frente de arriba hacia abajo
- Amarrar los tiros
- Aplicar carta de loro (cartel metálico que indica actividad)
- Solicitud de quemada
- Quemar[35].

Riesgos de carguío y tronadura:

- Proyección de rocas
- Ondas expansivas
- Caída de rocas.

Extracción de marina:

Consiste en limpiar el frente de trabajo, dando continuación al avance. Previo a esto, se deberá contar con chequeo de gases del área, regado de la marina, acuñamiento, verificación de que no existan tiros quedados y sin rises[36].

Riesgos de Extracción de marina:

- Choque o colisión por traslado a la frente
- Choque o colisión por no respetar confinamiento
- Volcamiento
- Atropello por no respetar cinta de confinamiento
- Atrapamiento por caída de roca.
- Caída de distinto nivel
- Caída a pique
- Polvo Sílice
- Ruido.

[35] Quemar: realizar tronadura.
[36] Rises: Residuos industriales sólidos, en este caso metales perteneciente a mallas, pernos o Split sets.

13 Problema que se abordará

13.1 Problema

Una de las tantas problemáticas que pueden surgir en el proceso de construcción de túneles se llama “Sobre Excavación”.

Y será precisamente la sobre excavación la base para analizar los índices relacionados con la productividad del proceso, observando los factores y consecuencias que tiene la existencia de este problema.

La sobre excavación consiste básicamente en la quebradura de la roca por sobre el limite requerido por el diseño de la ingeniería de la empresa contratante. Por lo tanto, el perímetro del perfil arrancado es mayor, esto se contrasta con el diagrama de disparo inicialmente calculado por un ingeniero de minas especialista en la materia.

La sobre excavación se puede generar por diversos motivos, algunos de ellos pueden ser debido a lo siguiente:

- Error del operario
- Mala utilización del equipo
- Capacidades técnicas del equipo
- Condiciones del terreno
- Quebradura no uniforme de la roca
- Planos de falla existentes
- Clivaje natural de la roca[37].

Lo que se presenta en la Figura N.º 37 fue extraída de un protocolo topográfico realizado en el sector “Recursos Norte”, en la calle 26 al norte del XC[38] 6N. Es el perfil N.º 15 (P15), ubicado en el Km 47,35 (al igual que la Figura N.º 38). Es una vista de planta de avances horizontales, donde se lleva el registro de los disparos realizados, cada disparo tiene una fecha y un avance logrado asociado. Las zonas en color rojo son los resultados reales obtenidos, y por lo tanto la zona achurada es equivalente a la sobre excavación existente en cada disparo.

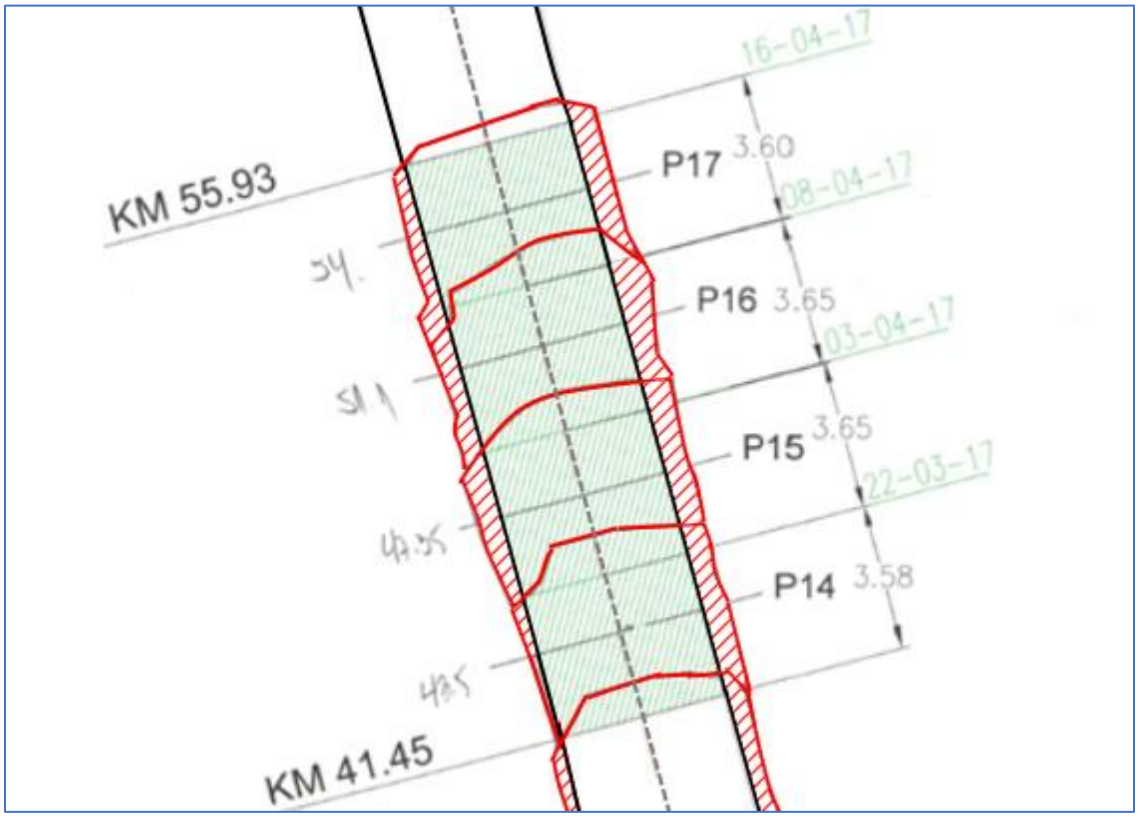
En la Figura N.º 38 se expone el área demarcada por la línea de color rojo (externa) que es el resultado real del disparo, el cual se contrasta con la línea dibujada de color negro, que indica el perímetro teórico del frente y define las medidas que debería tener el túnel, es precisamente a esa frente teórica a la que se debería aproximar lo más posible el perfil de la excavación.

La resta del área obtenida (rojo) con el frente teórico, da como resultado el área achurada en color rojo, es precisamente esta área la que se conoce y estudiará como Sobre Excavación.

[37] Clivaje es una propiedad que presentan determinados minerales de dividirse fácilmente ante un efecto mecánico siguiendo unos planos determinados de debilidad siempre en concordancia con la simetría mineral.

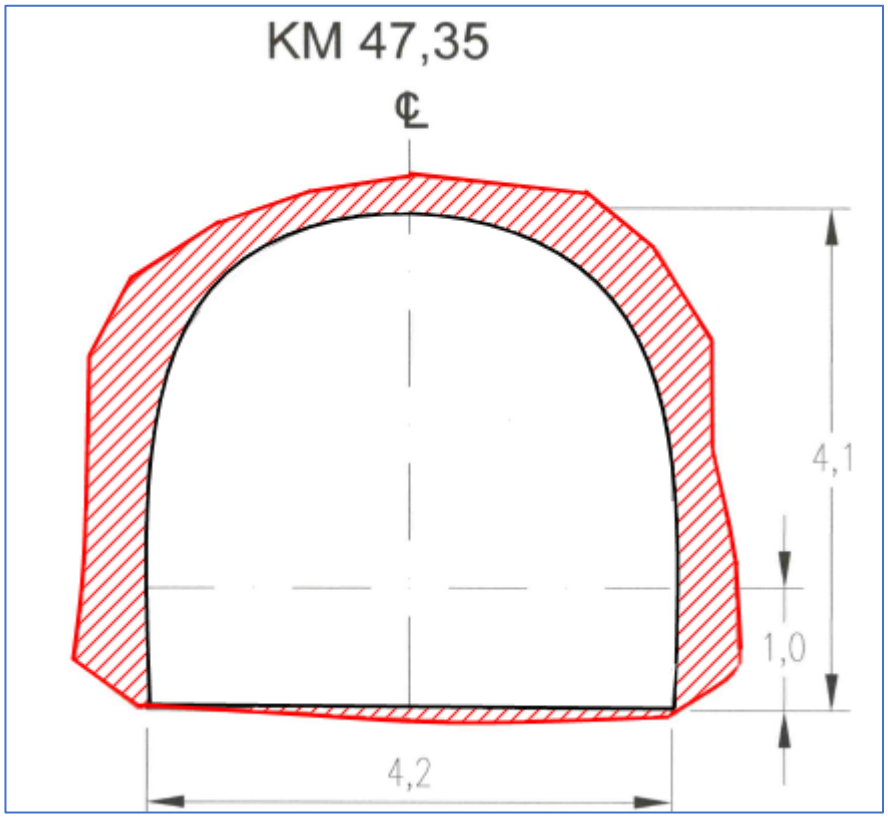
[38] Xc: cruzado, intersección entre calles y zanjas.

Figura N.º37: Vista de planta, acceso área inicial Recursos Norte, Nivel



Fuente: Respaldo topográfico Gardilcic, EP N.º 6 2017

Figura N.º38: Sobre excavación km 47.35 Sector Recursos Norte



Fuente: Respaldo topográfico Gardilcic, EP N.º 6 2017

La sobre excavación siempre significará trabajo extra, dado que el resultado de la frente excavada posee un área/perímetro mayor al esperado, implicando esto mayor volumen arrancado en cada fase de tronadura por unidad de metro de túnel teórico. Lo que convierte esta variable en el kpi más importante de este estudio.

Por lo tanto, significa incurrir en mayores gastos en el proceso, algunos de ellos son, por ejemplo:

- Mayor compra de material (Pernos, malla, explosivos, etc.)
- Mayor utilización de Shotcrete
- Mayor cantidad de viajes para trabajos de transporte de marina
- Mayor horas hombre utilizadas
- Mayor desgaste de maquinaria (horas máquina).

La maquinaria que no es del 2018, son versiones de Jumbos donde la perforación está muy ligada a la experiencia y habilidades del operador del equipo, este hecho detona que exista cierta inexactitud en comparación con la maquinaria nueva, ya que los nuevos modelos poseen tecnologías de automatización, con un mayor control electrónico, más operación autónoma y autocontroladas, entregando una precisión mucho mayor según el fabricante y también tienen mayor rendimiento. No se sabe cuánto ahorro o beneficio entregan exactamente, por lo que se ha decidido hacer una comparación entre los resultados entregados por ambas maquinarias.

La sobre excavación va directamente ligada con la fortificación, ya que como se mencionó anteriormente todo sector donde previamente se realizó la tronadura, debe ser fortificado tanto por motivos estructurales como por seguridad, esta etapa de fortificación se realiza mediante la instalación de distintos elementos de fortificación, como lo son los pernos de fortificación, la malla metálica y la proyección de shotcrete. Estos materiales son incluidos en la propuesta, considerando una tolerancia de sobre excavación entre los 8% y 13% dependiendo directamente de las secciones que se quieran lograr.

Por lo tanto, en el caso de que la sobre excavación aumente debido a cualquier factor, la utilidad de la operación disminuirá sin lugar a duda, ya que el frente presentará un mayor perímetro, lo que se traduce inmediatamente como mayor uso de malla metálica de contención y de shotcrete, y en algunos casos incluso la utilización de pernos fortificación adicionales, ya que estos van distanciados por un patrón de un metro, lo que disminuirá la brecha entre costos e ingresos.

13.2 Tiempo

La sobre excavación tiene como una de sus consecuencias la realización de trabajo extra, que no está dentro del plan.

Mientras mayor es la sobre excavación, mayor será el tiempo invertido en la aplicación de shotcrete, instalación de pernos y mallas de fortificación, además del tiempo que se emplea en las scoop para retiro de la marina extra. Junto a esto, se incrementarán las horas de uso del jumbo, ya que, de haber sobre excavación por motivo de desvío de los barrenos, existirá un déficit en el avance de los disparos y, por lo tanto, se necesitarán más disparos para hacer los metros lineales de túnel que se planificaron inicialmente.

13.3 Aspectos Económicos

En términos monetarios, los costos que se incurren son de gran importancia, ya que un costo extra puede ser relativamente bajo a simple vista, pero multiplicado por los metros totales de túnel significa un gran desembolso de dinero claramente evitable.

Por ejemplo, si se quiere construir un túnel de 300 metros, con un diseño de perfil que establece que se necesitan 14 pernos de fortificación con un diseño de patrón de 1.0 x 1.0 metros, y considerando que la tasa de avance en la roca es de 3 metros por tronadura. El cálculo teórico, me dice que el costo por construir este túnel, en términos de fortificación, es decir, pernos, malla y shotcrete, será de aproximadamente $79.884.000.

En la práctica no siempre se dan estos resultados, lo más probable es que por conceptos de sobre excavación existan desviaciones en las secciones de los túneles. En el caso que la desviación en el perímetro de la sección a fortificar sea de un metro, es decir, que se necesite un perno más para fortificar, los costos de fortificación del túnel ascienden aproximadamente a $85.590.000, significando esto una diferencia de $5.706.000 para la empresa. Del mismo modo, y considerando que la desviación media del perímetro de las secciones es de 4 metros, el costo de fortificación se elevaría aún más, llegando a un costo aproximado de $102.708.000 lo que significa una diferencia con el costo teórico estimado de $22.824.000 para la fortificación de 300 metros lineales de túnel.

Ahora, si tomamos en cuenta que la media de metros lineales construidos al mes en la obra 200 es en total aproximadamente 700 metros, esto significará un costo total de $239.652.000, comparándolo con el mismo avance, pero con una sección ideal (14 pernos) tendría un costo de $186.396.000 teniendo una diferencia de $53.256.000 al mes.

En una visión anual, el costo total de la sección ideal sería de $2.236.752.000 que se contrasta con los costos asociados a la sección calculada con los promedios de los datos reales, que en este caso sería de $2.875.824.000, la diferencia obtenido entre estos datos es de $639.072.000, lo que equivale al ahorro que tendría la empresa a lo largo de un año si los datos de la maquinaria fueran los datos teóricos que se buscan.

Cabe destacar que el cálculo realizado se trata netamente de un ejemplo para ilustrar el impacto que tiene el tema de la sobre excavación dentro de la operación.

Este fenómeno está dado porque por cualquier variación en el perímetro de la sección, afecta directamente en la colocación de pernos, en la cantidad de malla que se instalará y además en los metros cúbicos de shotcrete que se aplicará.

Tabla N.º 5: Costos por materiales de fortificación

Precios materiales de Fortificación		
Pernos, planchuela y tuerca	u	$8.370
Malla	m2	$2.250
Shotcrete	m3	$120.000

Fuente: Elaboración propia

Lo planteado anteriormente se basa en los elementos de la Tabla N.º 5, es decir, contando sólo costos relacionados con los materiales de fortificación, lo cual se verá afectado por un mayor nivel de material extraído, lo que se traduce en mayor costo en conceptos de transporte de marina, mayores consumos de combustibles, lubricantes, neumáticos, un mayor desgaste de la maquinaria, lo que significa un menor tiempo entre mantenciones.

Otro punto también afectado es la disminución entre la brecha del plazo del proyecto por la baja de productividad, todos factores que afectan directamente a los costos y productividad de la empresa.

Como pequeña conclusión de este ejercicio, y sólo considerando los costos en conceptos de fortificación, se gastarían $22.824.000 adicionales de los $79.884.000 que se gastarían originalmente si la excavación fuese 100% precisa. Esto equivale a decir que se impactaría en $76.080 / metro de túnel, costo que no se está considerando en la etapa teórica inicial, y de ahí nace la importancia de medir y controlar la variable de la sobre excavación que es tan delicada y sensible para el proceso.

13.4 Personal

El problema de la sobre excavación afecta al personal, teniendo que incurrir a más horas hombre, tanto para los operarios de máquinas como para los encargados de instalar los explosivos.

Los equipos se ven igualmente afectados, debido a que, al tener una mayor utilización, se deben realizar las mantenciones más pronto en el tiempo, debido al desgaste que sufren estos al estar expuestos. El trabajo realizado por los equipos es de alto riesgo, por lo que es fácil que los brazos de estos equipos sufran accidentes, como caídas de planchones, los que muchas veces dejan los equipos fuera de servicio, teniendo que llevarlos a los talleres mecánicos dentro de la mina para poder repararlos, afectando al mismo tiempo los tres factores mencionados anteriormente (Tiempo, Aspectos Económicos, Personal).

Además, al poseer tecnología más avanzada, las máquinas nuevas sólo pueden ser operadas por trabajadores que han recibido capacitaciones sobre el uso de estos nuevos equipos, pero esto no significará un costo elevado para la empresa ya que las capacitaciones se negocian dentro del precio de compra de los nuevos equipos.

En el pasado, no se realizaba ninguna clase de capacitación, por lo tanto, los jumbos eran operados por gente poco preparada y que muchas veces obviaban pasos de vital importancia en el proceso, como lo son protocolos de seguridad, preparación de los equipos, o bien, calibraciones y utilización de software. Esto provocaba muchos accidentes, pérdida de productividad y además se producían más averías mecánicas en los equipos, por su mal uso.

Este último punto es importante, ya que de esta manera aumentaban las horas de falla y las horas de mantención, quedando este tiempo sin producción para el equipo.

14 Metodología

14.1 Hipótesis

Como hipótesis y en base a los datos de maquinaria recopilados con anterioridad, se espera que la maquinaria adquirida recientemente tenga una notoria superioridad con respecto a la productividad de la maquinaria con tecnología más antigua, esperando como resultado un 10% menos de sobre excavación en promedio, logrando así una significativa disminución en los costos pertinentes a fortificación, que se contabilizarían entre $100.000 y $200.000 por disparo.

El principal factor que influye en la productividad de la construcción de túneles es la sobre excavación, por lo tanto, al generar una reducción en la sobre excavación esto repercutirá beneficiosamente en los costos.

14.2 Desarrollo

- Se analizarán los procesos de construcción y plantearán hipótesis de factores influyentes en la productividad y eficiencia de estos, esto se realizará en la oficina central ubicada en Santiago. A su vez, se estudiarán las capacidades y diferencias técnicas entre la maquinaria a comparar para el planteamiento de escenarios previos a la medición de datos. Aquí se establecerán los KPI[39] y factores influyentes en el proceso.

- Posteriormente se comenzará con la recolección de datos, donde se priorizará rescatar información de la excavación, tanto metros barrenados como metros de avance (mensura) del túnel por disparo, tomando nota de los factores que afectan el proceso de producción y datos significantes para la operación. Se identificarán factores que disminuyan la productividad del proceso.

- Se decidió realizar una recolección de datos históricos que han sido almacenados con anterioridad por el área de Calidad y la Unidad de Maquinarias. Los datos recopilados pertenecen al intervalo de tiempo entre Junio y Noviembre del 2018, utilizando los datos desde Agosto a Noviembre para evitar alteraciones por la curva de aprendizaje siendo Junio la fecha de inicio del contrato de la obra 200 “Recursos Norte”.

[39] KPI: Key Performance Indicators; indicadores clave, medibles y cuantificables, que determinan numéricamente una variable, que tiene relación con los objetivos que se persiguen.

- Se consiguieron datos tales como, los metros barrenados por cada equipo a estudiar, los datos de sobre excavación de cada perfil hecho durante este periodo de tiempo, los distintos indicadores de utilización de cada equipo y perfiles de sobre excavación realizados en AutoCAD, entre otros. Por lo que se tuvo que realizar un cruce de información para lograr el análisis requerido para el estudio de los factores que se estudiarán.

- Se realizará un análisis financiero con fin de calcular costos adicionales en los que incurre el proceso con cada maquinaria, para una posterior comparación entre ambas y cuantificar en términos de costos la productividad de cada proceso. Estableciendo así, el costo de la “No productividad”.

14.3 Factores para medir proceso

Los factores que se medirán en este proceso serán los que se consideren más importantes e influyentes para la productividad de esta actividad. Algunos de los indicadores analizados son:

- Metros barrenados por perforación (Avance)
- Metros avanzados por disparo
- Año equipos
- Cantidad y costo de pernos utilizados
- Cantidad y costo de malla utilizada
- Cantidad y costo de shotcrete utilizado
- Porcentaje de sobre excavación por disparo
- Metros perforados totales
- Área teórica vs área real.

15 Cuerpo (Datos)

15.1 Archivos Base

Los datos obtenidos son datos reales extraídos de documentos de uso diario en la mina, como lo son los:

- Report
- Kpi de sobre excavación
- Metros Barrenados
- Mensura
- Libro de novedades.

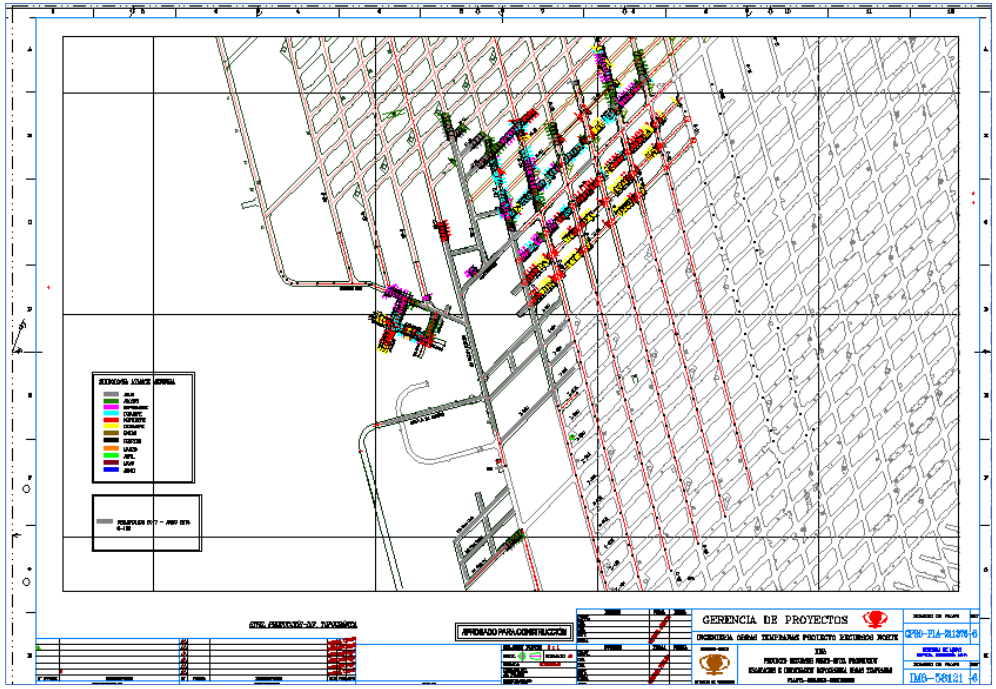
En el Anexo N.º 3 se entregan los documentos con mayor detalle.

El cruce de información se realizó ubicando los datos extraídos de los documentos anteriormente mencionados, en distintos planos de AutoCAD (Figuras N.os 39 y 40).

Los disparos, avance y mensuras, son almacenados en archivos AutoCAD, en los cuales se van completando las calles con cada disparo realizado indicando su avance, y a la vez se muestra la forma con la que quedó la frente una vez que el disparo fue realizado. Cada disparo tiene asociado su propia fecha y ubicación en los archivos AutoCAD, por lo tanto, a partir de esa información se logró realizar el cruce de información entre la sobre excavación y las mensuras de los disparos.

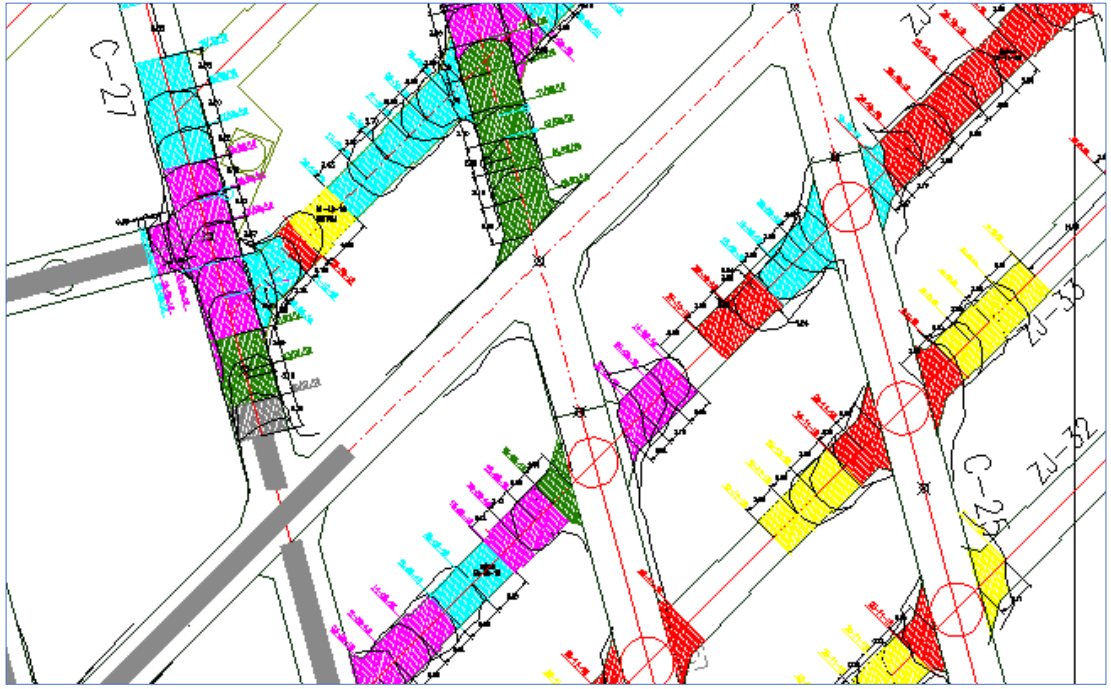
El resultado son planos a gran detalle de las obras que se han realizado y los avances que se llevan hasta el momento (Figuras N.os 39 y 40). Los datos utilizados utilizaron fueron todos los que se lograron cruzar a partir de los datos señalados anteriormente, dando como resultado para los equipos nuevos (M662 M663 y M669) y para los equipos antiguos (M681, M687 y MA454), un total de 198 disparos cruzados correctamente.

Figura N.º39: Vista de planta archivo AutoCAD. Nivel de Producción



Fuente: Área de topografía Gardilcic

Figura N.º40: Vista de planta archivo AutoCAD, nivel de producción



Fuente: Área de topografía Gardilcic

Datos recolectados en Base de Datos:

Los datos recolectados en la base de datos fueron:

Fecha:	Indica la fecha en la que se realizó el disparo que lleva asociada una perforación.
Ubicación:	Indica la locación en donde se realizó el trabajo, indicando calle, zanja o cruzado dependiendo del nivel donde el equipo se desempeñó.
Nivel:	Indica el nivel donde se realizó el trabajo dentro de la mina, como, por ejemplo; nivel de producción, nivel de hundimiento, nivel de ventilación, etc.
Equipo:	Indica el código interno del equipo que se utilizó en cada disparo. Las opciones que tenemos en este punto son el M662, M669, M680 y el M683 debido a que estos son los equipos estudiados.
Cantidad de Tiros:	Muestra la cantidad de perforaciones que se hicieron en la frente para poder llevar a cabo el disparo.
Operador de Jumbo:	Nombre del operador, información con la que se puede realizar un ranking y sacar conclusiones teniendo como base a los operadores y sus desempeños.
Metros barrenados:	Es una sumatoria de todos los metros barrenados que fueron necesario para hacer las perforaciones de la frente.
Longitud de Perforación:	Como lo dice su nombre, es el largo de la perforación que realizará el jumbo en la roca para la preparación del disparo a realizar en la frente.
Mensura:	Es la distancia que se avanzó en la roca luego de una tronadura, con esto se mide la efectividad del disparo, con respecto a los metros perforados.
Deficiencia:	Aparece cuando la mensura no supera el 85% del largo de la perforación, que es el porcentaje de eficiencia de disparo mínimo aceptado.
% de Efectividad:	Es la división entre la mensura sobre la longitud de perforación, indica la efectividad que tuvo el disparo, cuanto se avanzó con respecto a lo perforado.
Utilización de navegación:	Indica si el equipo señalado utilizó el sistema de navegación, esto es válido solo para los equipos M662 M663 y M669, ya que son los únicos que poseen la tecnología de navegación a bordo.
Área teórica:	El área teórica es calculada en metros cuadrados y está directamente relacionado con la sección diseño de la frente. Es la sección que se debe cumplir para que la construcción del túnel sea la exigida por el mandante.

UN (Sección): La sección indica las dimensiones que en la teoría debe tener como mínimo el túnel a construir, como, por ejemplo, 5,2m x 5,1m la base medirá 5,2m y la altura 5,1 m.

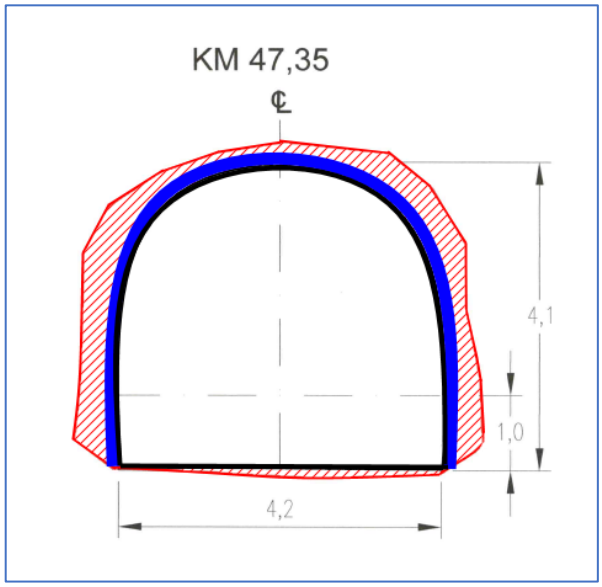
Perímetro teórico: Es el perímetro que se espera que tenga la sección del túnel.

Per. teórico sección sin suelo: Es el mismo perímetro que en el caso anterior, pero se diferencia de él porque se le resta la distancia correspondiente al suelo del túnel, ya que para efectos de fortificación no se considera el suelo.

Perímetro real: Es el perímetro que se obtuvo realmente producto de la tronadura, también se mide sin la distancia correspondiente al suelo, para así lograr calcular los metros que se utilizarán posteriormente para determinar los costos relacionados a la fortificación del túnel.

Área Teórica con Tolerancia: El área teórica con tolerancia se consigue multiplicando el área teórica con un factor, esta área indica la tolerancia que se tiene con respecto a la sección inicialmente planteado en la propuesta, es independiente de la sobre excavación, en la Figura N.º 41 se puede apreciar como el área azul que se encuentra entre la sección y la sobre excavación, en este caso expuesto en la figura, existe una notoria sobre excavación demarcada con el área achurada en color rojo.

Figura N.º41: Representación del factor de tolerancia en sección



Fuente: *Elaboración propia*

Área Real obtenida:	Es el área que tiene la cavidad del túnel obtenida una vez realizada la tronadura. Muchas veces difiere de la teórica con tolerancia, pero debe mantenerse dentro de márgenes aceptables.
Diferencia:	Área real – Área teórica con tolerancia, indica el error que hubo, y por lo tanto se puede traducir en datos de sobre excavación o sub excavación, según sea el caso.
Costos construcción área teórica:	Muestra los costos asociados a la fortificación según resultado de la sección teórica del túnel. Logrando así determinar cuánto es el monto que realmente se debería utilizar en conceptos de fortificación según lo establecido.
Costos construcción área real:	Es el costo asociado a la fortificación con las dimensiones obtenidas en los disparos registrados.
Diferencia real y presupuestado:	Es básicamente los costos en los que se incurre innecesariamente por conceptos de sobre excavación. Es la diferencia entre los costos considerando las dimensiones teóricas, y los costos considerando las dimensiones obtenidas en la práctica.
Costos por extracción de marina:	Son los costos que se incurren por concepto de transporte de marina hacia los piques de vaciado o bien, a algún sector de la mina, se busca estandarizar el costo por metro cubico.
% Sobre excavación Real:	Es la sobre área obtenida, que supera los porcentajes de tolerancia definidos por la sección del túnel a construir. (Más información en sección 13.1).
Estado:	Indica el estado de la excavación, hay tres opciones, Sobre excavación (cuando la sección real supera a la sección teórica por porcentaje superior a la tolerancia), Sub excavación (cuando la sección obtenida es menor que la sección teórica) y Tolerable (Cuando la sección obtenida es mayor a la sección teórica y menor al porcentaje de tolerancia de la sección teórica).
Comentarios:	En este punto se indican razones por las que no se navegó, o bien cualquier comentario que sea de utilidad para comprender el resultado obtenido, ya será rotura, tiro soplado, fallas, etc.

16 Análisis de datos

16.1 Costos asociados a construcción de túneles

Cuando hablamos de costos en la construcción de túneles, los factores influyentes que serán analizados a continuación son:

- Costos de capacitaciones
- Comparación de equipos, con y sin utilizar sistema de navegación
- Costos por Fortificación
- Otros Costos Asociados.

La metodología utilizada para el cálculo de costos se encuentra detallada en el Anexo N.º 4.

16.1.1 Costos de Capacitación

Con respecto a los costos de las capacitaciones, se pudo concluir que son irrelevantes para el estudio que se lleva a cabo, debido a que estos se negocian en conjunto con la compra de los equipos jumbos; siendo dicho costo una cifra menor y que está incluida en el precio de compra de los Jumbo.

Por lo tanto, no tiene repercusión en la situación que se quiere analizar, y no será una variable relevante para incluir en la investigación.

16.1.2 Utilización de Sistemas de Navegación

Es importante destacar la característica de navegación de los jumbos adquiridos en 2018, ya que marcan una importante diferencia en cuanto a los rendimientos y resultados de sobre excavación.

Como tema anexo, pero no menos importante para el análisis de este estudio, cabe destacarse la comparación entre los jumbos M662, M663 y M669, en el concepto de sistema de navegación.

Al ser este sistema un elemento manejado por distintos sensores ubicados en los brazos del jumbo, éstos se encuentran expuesto a golpes directos de rocas, lo que puede ocasionar (y ha ocasionado) averías en los distintos elementos del instrumento, o bien dejarlos fuera de funcionamiento. Esto en ocasiones tiene como consecuencia la obligación del operador de trabajar con el equipo sin hacer uso del sistema de navegación.

Por el punto anteriormente mencionado, se procederá a hacer una comparación entre equipos del año 2018 que realizaron la perforación con navegación, contra los equipos del mismo año, en los que, por algún motivo, la navegación no fue utilizada al momento de perforar.

De los datos obtenidos de los equipos adquiridos en el año 2018, se desprende que sólo el 54% de la muestra fueron pertenecientes a las tareas de perforación que sí pudieron ser navegados, siendo un total de 73 registros de perforaciones utilizando el sistema de navegación. Contra el 46% que equivale a 61 datos registrados para los equipos donde no se utilizó sistema de navegación al momento de realizar la perforación de la frente. El resultado de estas diferencias se muestra en la Tabla N.º 6 siguiente:

Tabla N.º 6: Sobre excavación y promedio costo metro lineal

Equipo	Media % Sobre ex	Promedio Costo metro lineal
M-662		
No Navega	22.97%	$1.949.717
Si Navega	12.37%	$1.822.773
M-663		
No Navega	10.24%	$2.239.708
Si Navega	8.10%	$2.116.231
M-669		
No Navega	26.97%	$2.041.603
Si Navega	14.25%	$1.807.628

Fuente: *Elaboración propia*

Como se puede observar la sobre excavación disminuye radicalmente al utilizar el sistema de navegación en el caso de los equipos 662 y 669, reduciendo los índices de sobre excavación un 46% y un 47%, respectivamente. En el caso del equipo 663 la diferencia es menor, dado a que los perfiles definidos para este equipo pertenecen a secciones grandes donde por lo general existe menos sobre excavación, junto a la calidad geomecánica del sector donde operó el equipo, que era beneficiosa para la tronadura. Sin embargo, presenta costos por metro lineal más altos que el resto de los equipos, esto ocurre debido a la sección de gran tamaño, lo que significa que se debe incurrir en más materiales de fortificación, transporte de marina y mano de obra.

Del costo por metro lineal que se expone en la tercera columna de la Tabla N.º 6, se puede observar que, al utilizar los sistemas de navegación, se genera un ahorro inmediato, lo que apoya la hipótesis de que la sobre excavación está directamente ligada con los costos por metro lineal resultantes.

Un punto que es importante destacar dentro del análisis, es la diferencia entre los resultados de la sobre excavación entre equipos antiguos y los equipos adquiridos recientemente, datos que se detallan en la Tabla N.º 7.

Tabla N.º 7: Sobre excavación según tipo de equipo utilizado

Equipos	Porcentaje de Sobre excavación promedio
Jumbos Antiguos	18.2%
Jumbos Nuevos	14.0%

Fuente: Elaboración propia

Los promedios de sobre excavación presentados en la Tabla N.º 7, corresponden a la comparación entre la operación de los equipos con mayor antigüedad en la empresa contra los equipos nuevos.

La diferencia en la sobre excavación es de 3.8%, lo que indica que para conceptos de sobre excavación, la incorporación de la nueva flota de equipos fue efectiva y se disminuyó la sobre excavación, por lo tanto, efectivamente se produjo un ahorro en los costos asociados a la construcción del túnel.

16.1.3 Costos por Fortificación

Con respecto a los costos en conceptos de fortificación, se procederá a utilizar una sección de 5.2 x 5.1, ya que esta sección es una de las que más se repite por los equipos nuevos en la base de datos. El área perimetral teórica para esta sección es de 18.37 metros, a la que se le debe restar la distancia correspondiente al suelo, ya que esa área no será fortificada, dando como resultado 13.17 metros de perímetro equivalente a la parada a fortificar. Además, para efectos de visualización de resultados, se tomará un largo del túnel de 100 metros.

Para fortificar esta sección antes mencionada, teóricamente, es decir sin sobre excavación, se deberá incurrir en un costo de $21.598.800. Realizando el mismo calculo, pero considerando un 1% de sobre excavación, el costo de fortificación aumenta a un $21.814.788, lo que significa un aumento en los costos de $215.988.

Siguiendo la misma lógica del ejercicio anterior, utilizando datos reales obtenidos, se considera que los equipos nuevos tienen un desempeño promedio de sobre excavación del 14.8% y los equipos con mayor antigüedad en la empresa presentan en promedio un 18.9% de sobre excavación. Es decir, si traducimos estos porcentajes a costos en conceptos de sobre excavación da como resultado para los equipos nuevos $24.795.422 y para los equipos antiguos un costo de $25.680.973. Obteniendo así los equipos nuevos, un ahorro de $855.551 en 100 metros con respecto a los equipos antiguos.

De la misma forma, se desprende que el promedio mensual de avance para la obra 200, es de 700 metros. Por lo tanto, los costos considerando las sobre excavaciones y avances reales al mes, serían de $173.567.957 para los equipos nuevos y $179.766.812 para los equipos más antiguos, si los trabajos de todo el mes fueran realizados sólo por equipos nuevos se tendría un ahorro aproximado de $6.198.856 al mes, lo que anualmente serían $74.386.267.

16.1.4 Otros costos asociados

Los costos tomados en cuenta para este estudio son los costos más significativos para la operación de construcción de túneles, y están clasificados en varias categorías, las cuales están compuesta por diversos puntos. Las Categorías son las siguientes:

16.1.5 Máquinas y Equipos:

En esta categoría se contabiliza el costo operacional de los equipos medidos en $/m3, datos entregados por el área de estudios de la empresa. Los equipos utilizados en el proceso son:

- Jumbos (Equipos de perforación)
- Scoops (Equipos de transporte de marina)
- Dumper (Equipos transporte marina)
- Grúas (Para labores de minería)
- Camión Tolva
- Roboshot
- Compresores.

16.1.6 Materiales de fortificación

Otro punto considerado es el de los materiales de fortificación, donde se hace la diferenciación entre los materiales que tienen un menor costo de los materiales que tienen un costo mayor. En la primera categorización están los:

- Pernos
- Malla
- Shotcrete.

Que son los tres materiales más influyentes en los resultados. Estos costos se contabilizan según las áreas y los perímetros de las frentes excavadas. Dependiendo de los metros cuadrados a fortificar es la cantidad de pernos, malla y shotcrete utilizado.

Y por otro lado están los materiales de menor valor y que cumplen funciones pequeñas dentro de la fortificación, estas son:

- Cables
- Split Sets
- Lechadas (cemento + aditivos).

Los cuáles serán contabilizados dependiendo de los metros cúbicos extraídos, ya que no se lleva el detalle real de la cantidad que se ha utilizado al momento de fortificar cada frente.

16.1.7 Otros Materiales:

Aquí se contabilizan los costos que deben ser considerados en el proceso, que no son considerados materiales de fortificación, ni tampoco como costo operacional.

- Combustibles y lubricantes de quipos
- Acero de perforación
- Artículos eléctricos
- Explosivos
- Redes de Aire/Agua/Drenaje
- Mangas de Ventilación.

16.1.8 Mano de Obra:

La mano de obra que se debe contabilizar como costo, pertenece a tres categorías:

- Maestro minería
- Ayudante minería
- Operadores minería.

Dentro de los operadores, se encuentran los operadores de los distintos equipos, como lo son Roboshot, dumper, jumbo y Scoop.

En el área de estudio, se considera un costo de mano de obra de $20.707 por metro cúbico extraído, el cual está calculado por el área de estudio según los metros lineales totales de la obra, incluyendo tiempos y costo por hora de trabajo.

16.2 Resultados

Para el análisis del impacto que tuvieron los equipos nuevos en la empresa, se buscó establecer parámetros de comparación con los resultados obtenidos. Por lo tanto, en base a los datos obtenidos, se calculó un costo promedio para los equipos antiguos, como se puede visualizar en la Tabla N.º 8, donde se detalla el costo que tiene la construcción de túneles equivalente a un mes, en el caso de que se realizara sólo con equipos antiguos, comparando a la vez el costo teórico con el costo real que se obtuvo.

Tabla N.º 8: Rendimiento jumbos antiguos, Teórico vs Real

Escenario	Equipos	Costo	Diferencia Teórico vs Real
Teórico	Costo Metro Lineal Teórico	$1.551.921	$4.055.490.687
Teórico	Costo al Mes	$971.906.046	
Teórico	Costo al Año	$11.662.872.551	
Real	Costo Metro Lineal Teórico	$2.091.565	
Real	Costo al Mes	$1.309.863.603	
Real	Costo al Año	$15.718.363.239	

Fuente: Elaboración propia

Si la construcción se realizara sólo con equipos antiguos, comparando los costos de construcción y fortificación de secciones teóricas con las que se obtuvieron realmente, se incurriría en un sobre costo de $4.055.490.687 al año. Esto es un 34% superior al costo que tendría el mismo trabajo, pero con una sección ideal.

En la Tabla N.º 9 que se muestra a continuación, se presentan los resultados de la incorporación de tres equipos jumbo del año 2018 incorporados a la flota original, trabajando en conjunto con los equipos ya existentes en la obra. Esto se logró ponderando los costos según la participación que tuvieron los distintos equipos dentro de la obra, un 62.5% de los metros totales lineales para los equipos antiguos y un 37.5% para los equipos adquiridos recientemente.

Tabla N.º 9: Rendimiento jumbos antiguos y nuevos, Teórico vs Real

Escenario	Equipos	Costo	Diferencia Teórico vs Real
Teórico	Costo Metro Lineal Teórico ANTIGUO	$1.551.921	$3.547.000.374
Teórico	Costo Metro Lineal Teórico NUEVO	$1.496.359	
Teórico	Costo al Mes	$948.250.990	
Teórico	Costo al Año	$11.379.011.891	
Real	Costo Metro Lineal Teórico ANTIGUOS	$2.091.565	
Real	Costo Metro Lineal Teórico NUEVOS	$1.936.472	
Real	Costo al Mes	$1.243.834.355	
Real	Costo al Año	$14.926.012.264	

Fuente: *Elaboración propia*

Como resultado de este ejercicio, se logra observar que el costo total combinando de ambas maquinarias, fue de $3.547.000.374. Cifra que representa un aumento en el 31.1% de los costos teóricos, que comparándolo con el aumento con respecto a los costos teóricos de los equipos antiguos (34%), presenta una mejora del 2.9%.

La mejora del 2.9% mencionada anteriormente, es de gran significancia para la empresa, ya que representa un ahorro total de $508.490.313 anuales, por conceptos de fortificación, mano de obra y materiales de consumo propios de la construcción.

Con respecto a la diferencia en tasa de avance entre los equipos nuevos y los ya existentes en la empresa. Los datos analizados dieron como resultado que el promedio de avance de los equipos antiguos es de 3.18 m, y el promedio de los equipos nuevos da como resultado un 3.16 m de avance. Esta cifra es prácticamente despreciable para los fines que se estudian, por lo tanto, esta variable no es un factor determinante al momento de comparar los dos tipos de equipos. Por lo que se confirma que el punto que más influye a la productividad del proceso de construcción de túneles es la existencia de la variable sobre excavación, que influye directamente en los costos.

17 Conclusión

Hay que tener en consideración que los datos obtenidos fueron sólo los datos con los que se logró realizar el cruce de información y, no necesariamente la totalidad de los trabajos realizados en cada frente dentro de este periodo. Pero para conceptos de esta investigación basado en la productividad y costos, los datos analizados son útiles para realizar ciertas conclusiones.

Como conclusión y en base a los datos obtenidos de este estudio, se puede afirmar que la inversión en flota nueva de equipos fue una **decisión acertada**, ya que, desde la adquisición de los nuevos equipos, se ha logrado mantener constante los buenos resultados en cuanto al rendimiento y la productividad se refiere. Lo anterior, tomando como base de comparación la sobre excavación y los costos asociados a esta.

La incorporación de los nuevos jumbos trajo como consecuencia una notoria disminución en la sobre excavación entre los equipos antiguos y nuevos, logrando que la sobre excavación promedio de los equipos disminuya y que, por lo tanto, los costos asociados a la construcción, operación y fortificación de los túneles también se vea disminuida. Esto es una consecuencia directa de la correcta utilización de los nuevos equipos, que gracias a sus ventajas tecnológicas tienen un mejor rendimiento. Sin embargo, no existe una utilización total de los sistemas de navegación, ya que muchas veces se debe trabajar sin estos elementos por averías o condiciones específicas de la frente. De aumentar la utilización de los sistemas de navegación, sin duda se continuarían disminuyendo los costos recién mencionados.

Al mismo tiempo, se ha podido concluir, respecto a la utilización de la navegación en los equipos nuevos, la mejora es notoria en cuanto al uso, versus al no uso de esta tecnología, logrando así generar una disminución de la sobre excavación de 46% y 47% para los casos de los equipos M662 y M669, respectivamente. El equipo 663 fue un caso distinto, ya que logró una disminución del 20%, debido al diseño de secciones más grandes y a las condiciones geomecánicas de la roca.

En base a las conclusiones logradas por medio de la investigación, estas indican que hubo mejoras en el resultado, rendimiento y productividad, lo que da como consecuencia una disminución en los costos. Se puede concluir con autoridad que la navegación de los equipos es una ventaja tecnológica para la operación, que permite conseguir mejores rendimientos y una clara disminución de costos.

Aun así, es necesario continuar con el análisis, y aplicar una mejora con respecto a la cantidad de frentes perforadas utilizando el sistema de navegación, debido a que sólo en el 54% de las frentes perforadas por equipos nuevos se utilizó el sistema de navegación, dejando así el 46% restante en manos de los operadores situación que tiene como consecuencia mayores índices de sobre excavación y costos potencialmente evitables para la empresa.

Otro factor importante del análisis realizado se refiere a la conclusión respecto del rendimiento de la obra incorporando la nueva flota de equipos, la que fue un 4.2% más eficiente, con respecto a la sobre excavación si los comparamos con el rendimiento de la obra considerando sólo equipos antiguos. Este porcentaje traducido a valor económico es un equivalente a un **ahorro total anual** de $508.490.313 para la empresa.

Si se considera la inversión que se realizó en el año 2017 correspondiente a la compra de 3 jumbos por un monto de $560.000.000 por cada uno, la inversión se recuperaría en 3,3 años. Esto último, considerando la utilización de estos equipos sólo en los niveles C1 y C2 del sector recursos norte en la obra 200, y utilizando equipos nuevos y antiguos, simultáneamente.

Cabe destacar que la constructora, tiene otras 4 obras activas, por las que genera otros ingresos. Por lo tanto, es posible que la inversión antes señalada sea recuperada incluso en menos tiempo de lo calculado.

Finalmente, el impacto es importante y logra dilucidar que gracias a un sistema de navegación más eficiente se logran resultados significativamente superiores que los entregados por equipos antiguos, entregando beneficios para la empresa (sin navegación).

No obstante, lo antes indicado, el hecho de que este resultado sea beneficioso para la empresa aun teniendo un 45.93% de los disparos realizados con la perforación de los jumbos sin utilización de la navegación, significa que la brecha que se establece entre los escenarios puede aumentar aún más, siendo más rentable en el caso que se lograse aumentar el porcentaje de frentes perforadas por jumbos utilizando los sistemas de navegación en cuestión. Esto debido a que los resultados entregados, indican que el promedio de las sobre excavaciones de las frentes perforadas sin navegación es de un 21.04%, cifra que se ve altamente contrastada con la entregada por frentes perforadas por sistema de navegación que tienen como sobre excavación promedio de 11.66% reduciendo así la variable sobre excavación prácticamente a la mitad.

Para la empresa, este estudio significa una ayuda para visualizar y cuantificar el gran beneficio en conceptos de ahorro económico generado por la incorporación de nuevos equipos. Además de generar una herramienta en base a datos históricos, donde se pueden calcular los costos totales basándose en las variables avance, área teórica y área real de los resultados entregados por los disparos. Lo que a futuro servirá para visualizar el impacto de la posible incorporación de más equipos con similares características y a partir de ahí tomar importantes decisiones que impactarán indudablemente en los costos y la productividad de la empresa.

18 Sugerencias de mejora

Uno de los puntos que se observó en terreno, y que no está siendo cubierto, es el registro de la ubicación, labor y del equipo que está realizando la tarea.

Si bien, existe un registro de los trabajos realizados (llamado Report), este documento no incluye el registro de la ubicación de donde se llevará a cabo el trabajo a realizar por el jumbo. Esto complicó en cierta parte el estudio, ya que es sabido que un túnel se construye según disponibilidad de los equipos, no necesariamente está construido por un solo equipo, y al no registrarse la información de la ubicación y labor que cumple determinado equipo en la mina, no se puede hacer un nexo entre disparo y equipo. Al registrar esta información, se podría tener un mayor seguimiento de los equipos, y esto permitirá percibir de una manera sencilla los equipos que presenten un rendimiento menor que el resto en términos de sobre excavación.

Lo operadores de estos, señalan que las condiciones no son óptimas para el desarrollo de su tarea, específicamente, con las condiciones para la operación de los equipos, que muchas veces se encuentran inundadas, no cuentan con las instalaciones de suministros adecuados (electricidad y agua), siendo el agua la mayoría de las veces el factor limitante para llevar a cabo la tarea programada. En este caso, la perforación frontal, para avance horizontal. El agua es suministrada por CODELCO.

Otro aspecto para considerar como sugerencia futura sería la generación de información compatible con todas las áreas, una suerte de estandarización en el nivel de los distintos documentos que se puedan solicitar más adelante. También el generar una forma automatizada de extracción de la información que dé pie para que esta metodología sea sencilla y rápida de utilizar, al no tener que recopilarla manualmente.

Una situación que beneficiaría el análisis futuro sería el no cambiar fechas de los disparos al cierre de costos, ya que hace engorrosa la posible búsqueda de datos en el caso de requerirla. Se tendría que acudir a los planos para hacer un cruce de información, tal y como se desarrolló en este informe.

No existen operadores de reemplazo para los equipos en caso de emergencia, por lo tanto, en caso de inasistencia o accidentalidad de uno de ellos, no se puede operar este equipo, ya que estos equipos sólo pueden ser operados por personal previamente capacitados con diferentes cursos, que en este caso son obligatorios. Por lo tanto, se podría tomar una precaución con respecto a los operadores, teniendo así por lo menos un potencial reemplazo para la operación del jumbo.

Por último, sería muy beneficioso el llevar un registro más detallado de los factores que impiden la navegación de los equipos nuevos, ya que de esta manera se podrán evitar averías y se lograría una mayor utilización de los sistemas de navegación. Esto podría tener como principal consecuencia un aumento en la productividad y junto a ello, se lograrían ahorros en los costos de construcción mayores debido a la disminución de la sobre excavación.

19 Bibliografía

[1] López Jimeno, Carlos. (2011). Manual de túneles y obras subterráneas, tomo 1 y 2. Madrid: Gráficas Arias Montano.

[2] Real Academia Española. (2014). Diccionario de la lengua española (23.aed.). Consultado en http://www.rae.es/

[3] (12 de marzo de 2018). Historia de la minería en Chile. Recuperado de http://www.minmineria.gob.cl/%C2%BFque-es-la-mineria/historia-de-la-mineria-en-chile/

[4] Texto referenciado de Historia de CODELCO. (2011, 25 febrero). Recuperado 9 mayo, 2019, de https://www.codelco.com/historia/prontus_codelco/2011-02-25/103555.html

[5] El Tipógrafo» En su primera visita oficial ministro de Minería conoce avance del Nuevo Nivel Mina de El Teniente. (s.f.). Recuperado 9 mayo, 2019, de https://eltipografo.cl/2018/03/en-su-primera-visita-oficial-ministro-de-mineria-conoce-avance-del-nuevo-nivel-mina-de-el-teniente/

[6] Juan Ocaranza Aguilera. (2018). Producción mundial y Chilena de cobre mina anual 1950. 9 mayo 2019, de Codelco Sitio web: https://www.cochilco.cl/Paginas/Estadisticas/Bases%20de%20Datos/Producci%C3%B3n-Minera.aspx

[7] Juan Ocaranza Aguilera. (2018). Producción mundial de cobre mina por empresa anual 1960. 9 mayo 2019, de Codelco Sitio web: https://www.cochilco.cl/Paginas/Estadisticas/Bases%20de%20Datos/Producci%C3%B3n-Minera.aspx

[8] Francisco Poblete B. (2009). Así se construye un túnel. Constructora Gardilcic, 03.

[9] Definiciones referenciadas a Raúl Duarte Díaz. (1993). Glosario Minero [Libro]. Recuperado 9 mayo, 2019, de http://www.memoriachilena.gob.cl/archivos2/pdfs/MC0047730.pdf

[10] Minería subterránea: rompiendo paradigmas - Minería Chilena. (2014, 5 agosto). Recuperado 9 mayo, 2019, de https://www.mch.cl/informes-tecnicos/mineria-subterranea-rompiendo-paradigmas/

20 Índice de Figuras

Figura N.º 1: Mina El Teniente 15
Figura N.º 2: Plano de planta, modelo 3D Mina El Teniente 16
Figura N.º 3: Modelo 3D Mina El Teniente 17
Figura N.º 4: Modelo 3D Mina El Teniente 17
Figura N.º 5: Minería Subterránea 24
Figura N.º 6: Obras de Superficie 24
Figura N.º 7: Explotación de Minas 24
Figura N.º 8: Jumbo Electrohidráulico 36
Figura N.º 9: Jumbo Electrohidráulico 36
Figura N.º10: Tuneladora TBM 37
Figura N.º11: Tuneladora TBM 37
Figura N.º12: Pala cargadora Scoop 38
Figura N.º13: Pala cargadora Scoop 38
Figura N.º14: Grúa Telescópica 38
Figura N.º15: Grúa Telescópica 38
Figura N.º16: Roboshot 39
Figura N.º17: Roboshot 39
Figura N.º18: Rozadora 40
Figura N.º19: Rozadora 40
Figura N.º20: Componentes de un Jumbo 42
Figura N.º21: Radio de giro Sandvik 46
Figura N.º22: Rango alcance Sandvik 46
Figura N.º23: Dimensiones Sandvik DD321-40c 46
Figura N.º24: Radio de giro Troidon 55D 47
Figura N.º25: Rango alcance Troidon 55D 47
Figura N.º26: Dimensiones Troidon 55D 47
Figura N.º27: Dimensiones Troidon 55D 47
Figura N.º28: Radio de giro Boomer 282 48
Figura N.º29: Rango de alcance Boomer 282 48
Figura N.º30: Dimensiones Boomer 282 48
Figura N.º31: Método de excavación "Block Caving" 52
Figura N.º32: Representación Nivel Hundimiento y Nivel Producción método Block Caving 53
Figura N.º33: Nombres zona de sección 54
Figura N.º34: Representación de Diagrama de Tiro 55
Figura N.º35: Barreno de perforación 57
Figura N.º36: Bit de perforación 57
Figura N.º37: Vista de planta, acceso área inicial Recursos Norte, Nivel Hundimiento 62
Figura N.º38: Sobre excavación km 47.35 Sector Recursos Norte 62
Figura N.º39: Vista de planta archivo AutoCAD. Nivel de Producción 70
Figura N.º40: Vista de planta archivo AutoCAD, nivel de producción 70
Figura N.º41: Representación del factor de tolerancia en sección 72
Figura N.º42: Representación patrón de pernos para fortificación 102
Figura N.º43: Representación de área para cálculo de costos 103
Figura N.º44: Representación del volumen necesario para cálculo de costos 103

21 Índice de Tablas

Tabla N.º 1: Clasificación de durezas de roca 27
Tabla N.º 2: Producción de Cobre por País 30
Tabla N.º 3: Equipos considerados en el estudio 43
Tabla N.º 4: Comparación técnica entre jumbos 43
Tabla N.º 5: Costos por materiales de fortificación 65
Tabla N.º 6: Sobre excavación y promedio costo metro lineal 75
Tabla N.º 7: Sobre excavación según tipo de equipo utilizado 76
Tabla N.º 8: Rendimiento jumbos antiguos, Teórico vs Real 79
Tabla N.º 9: Rendimiento jumbos antiguos y nuevos, Teórico vs Real 80
Tabla N.º10: Cantidad de disparos según sección equipos nuevos 104
Tabla N.º11: Cantidad de disparos por sección equipos antiguos 104
Tabla N.º12: Cantidad de disparos por sección utilizando todos los equipos 105
Tabla N.º13: Caso hipotético sólo equipos nuevos 106
Tabla N.º14: Extracto base de datos 108
Tabla N.º15: Extracto base de datos 108
Tabla N.º16: Extracto base de datos 108
Tabla N.º17: Extracto base de datos 108

22 Índice de Gráficos

Gráfico N.º 1: Producción Mundial de Cobre 29
Gráfico N.º 2: Producción de cobre en Chile 31
Gráfico N.º 3: Participación de mercado Chile 32
Gráfico N.º 4: Producción cobre por empresa en Chile 1994 33
Gráfico N.º 5: Producción de cobre por empresa en Chile 2017 33
Gráfico N.º 6: Producción de cobre de CODELCO 34
Gráfico N.º 7: Participación de mercado CODELCO en Chile 35

23 Índice de Diagramas

Diagrama N.º 1: Diagrama organizacional Obra 200 19
Diagrama N.º 2: Proceso de Construcción de Túnel 50

24 Anexo N.º 1 Brochure Empresa

NUESTRA MISIÓN ES CONSTRUIR

OUR MISSION IS TO BUILD

NUESTRA PASIÓN ES CONSTRUIR

Nos gusta construir y lo hacemos bajo sólidos principios éticos que constituyen la base de nuestro quehacer.

Contamos con un equipo humano cohesionado, altamente calificado y de vasta experiencia, además de una moderna flota de maquinaria que nos permite operar en cualquier parte de la región.

Nuestra empresa combina los valores de la tradición con las exigencias del mundo empresarial moderno y competitivo, al mismo tiempo, se distingue por su innovadora y rigurosa gestión de los recursos humanos, y también por su responsabilidad social.

LOS PRINCIPIOS QUE RIGEN NUESTRO ACTUAR SE TRADUCEN EN:

- Cumplimiento integral de los trabajos en plazos, presupuesto, calidad, seguridad, y normas de protección al medio ambiente.
- Innovación permanente en tecnología y mejoras en productividad.
- Respeto y compromiso con nuestros colaboradores.
- Creación de valor a nuestro negocio y el de nuestros clientes.

Creemos que la sustentabilidad de nuestro trabajo no sólo se relaciona con el entorno, sino también con las personas que hacen posible la realización de cada uno de nuestros desafíos.

Nuestro sello es cumplir con los compromisos adquiridos y brindar un servicio de excelencia a nuestros clientes.

OUR PASSION IS TO BUILD

We love to build and we accomplish our job on solid ethical principles which form the basis of our work.

We have a cohesive team of highly qualified and vasty experienced staff, along with a modern fleet of machinery that allows us to operate anywhere in the region.

Our company combines together the values of tradition with the demands of modern and competitive business world, standing out for its innovative and rigorous management of human resources, and also for its social responsibility.

THE PRINCIPLES THAT GOVERN OUR ACTIONS TRANSLATE INTO:

- *Comprehensive compliance of work on timing, budget, quality, safety, and standards of environmental protection.*
- *Constant innovation in technology and productivity improvements.*
- *Respect and commitment to our employees.*
- *Creating value to our business and our customers.*

We believe that the sustainability of our work is not only related to the environment, but also to the people who make possible the accomplishment of each of our challenges.

Our hallmark is to honor our commitments and provide excellent service to our customers.

CONSTRUCTORA gardilcic

www.gardilcic.cl
AMÉRICO VESPUCIO NORTE 2880, PISO 12, SANTIAGO, CHILE.
TELÉFONO (562) 437 2800 - FAX (562) 437 2820 CONSTRUCTORA@GARDILCIC.CL

CONSTRUCTORA gardilcic

NUESTRAS OBRAS ABREN CAMINOS AL DESARROLLO Y CRECIMIENTO

La minería es protagonista absoluto del crecimiento de la economía chilena y hemos estado siempre en los proyectos mineros más relevantes del país.

- **MÁS DE 600 KILÓMETROS DE TÚNELES CONSTRUIDOS**
  Especializados en la construcción subterránea, contamos con la ejecución de más de 500 kilómetros de túneles, además de caverna subterráneas, chimeneas, rampas, pisos subterráneos, preparación de minas, montajes eléctricos, prefinitaciones, montajes mecánicos y desarrollo de obras civiles.
  También desarrollamos obras de superficie como la construcción de embalses, bocatomas, caminos, centrales Hidroeléctricas y de ciclo combinado, plataformas para instalaciones mineras, centrales de biomasa, pozos de evaporación solar, entre otras.
- **ALIANZAS DE LARGO PLAZO**
  Mantenemos contratos de largo plazo con Codelco Chile. Hoy contamos con el 100% de desarrollo minero en la División Andina y el 60% en la División El Teniente, la mina subterránea más grande del mundo.
  Esto gracias a nuestra seriedad, eficacia y contabilidad en la ejecución de cada obra que emprendemos.
- **GESTIÓN CERTIFICADA**
  Constructora Gardilcic se encuentra certificada desde el año 2006 en las Normas ISO 9001, ISO 14001 y certificada en OHSAS 18001.

CONSTRUIMOS FUTURO

Somos una empresa exitosa que ha fortalecido sus alianzas estratégicas en el tiempo, privilegiando las relaciones de largo plazo, entregando flexibilidad y valor agregado a nuestros clientes.

Gardilcic es una empresa de Ingeniería que cuenta con toda la experiencia para desarrollar proyectos de construcción.

OUR WORKS OPEN ROADS TO DEVELOPMENT AND GROWTH

CONSTRUCTORA gardilcic

Mining is the absolute protagonist of Chilean economy growth and we have always been present in the country's most important mining projects.

- *WE HAVE BUILT OVER 500 KILOMETERS OF TUNNELS*

Specialized in underground construction, we have built more than 500 kilometers of tunnels along with underground levels, ventilation shafts, ramps, underground mining shafts, mine preparation, electrical fixtures, paving, mechanical assemblage and civil works development.

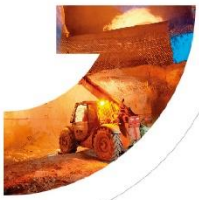
We also develop surface works as reservoirs, water intakes, roads, hydroelectric and combined cycle plants, mining facility platforms, biomass plants, solar evaporator ponds and others.

- *LONG-TERM PARTNERSHIPS*

We maintain long-term contracts with Codelco Chile and currently are in charge of the 100% of mining development project for Division Andina and 60% of Division El Teniente, the world's largest underground mining site.
This is attributed to our trustworthiness, efficiency and dependability in the execution of each work we undertake.

- *CERTIFIED MANAGEMENT*

Constructora Gardilcic is certified since 2006 in ISO 9001, ISO 14001 and also in OHSAS 18001 norms.



WE BUILD FUTURE

We are a successful company that has strengthened its strategic alliances over time, favoring long-term relationships, delivering flexibility and adding value to our customers while improving our employees' performances.

Gardilcic is an engineering company endowed with all required experience and skills to develop construction projects.

CONSTRUIR ALIANZAS DURADERAS
CONSTRUIR GRANDES OBRAS
CONSTRUIR FUTURO

En Chile somos un referente en proyectos subterráneos y de superficie, infraestructura y energía. Tres décadas de experiencia con los más altos estándares de eficiencia, seguridad y constante innovación nos permiten decir que somos un socio confiable para el desarrollo de proyectos en la región.

TO BUILD LASTING PARTNERSHIPS
TO BUILD GREAT WORKS
TO BUILD FUTURE

In Chile we are a leader in underground and surface projects, including infrastructure and energy. With three decades of experience at the highest standards of efficiency, safety and constant innovation, it allows us to say that we are a reliable partner for project development in the region.

25 Anexo N.º 2 Fichas Técnicas Equipos

25.1 Sandvik DD321

SANDVIK

DD321
DEVELOPMENT DRILL

TECHNICAL SPECIFICATION

Sandvik DD321 is a compact two-boom jumbo for demanding conditions and multiple applications. The jumbo is capable of face drilling, cross-cut drilling and bolt hole drilling.

The drill's various options make it suitable for a range of conditions and tasks. The proven and robust SB40 boom provides coverage of 49 m². A selection of fixed and telescopic feeds are available for a variety of applications.

The new rock drill RD520 provides smooth and efficient drilling.
Sandvik DD321 offers a new look and improved serviceability and usability over predecessors Sandvik DD320 and Sandvik DD420.

KEY FEATURES	
Coverage area	49 m²
Hydraulic rock drills	2 x RD520, 20 kW
Drilling feeds	2 x TF512, 12 - 16 ft
Booms	2 x SB40
Control system	2 x THC561
Hole length	Up to 4 660 mm
Drift size class (H x W)	4 000 mm x 4 000 mm
Turning width (T-section)	3 500 mm
Transport width	2 150 mm
Transport height	2 350 mm / 3 200 mm
Transport length	12 350 mm
Total weight	22 000 kg depending on options

1. SANDVIK DD321 - DEVELOPMENT DRILL

HYDRAULIC ROCK DRILL

Type of rock drill	RD520 (TS2-235)
Percussion power	20 kW
Percussion pressure	Max. 220 bar
Percussion rate	74 Hz
Stabilizer	Hydraulic
Rotation speed	Max. 400 rpm (with OMS80)
Rotation torque	400 Nm (with OMS80)
Hole size (drifting)	43 - 64 mm
Hole size (cut hole)	76 - 127 mm
Recommended rod	T38 - R32 - H35 T38 - R35 - R39
Shank adapter (male)	T38
Weight	225 kg
Length	1 010 mm
Profile height	90 mm

DRILLING FEED

Type of feed	TF500-12'	TF500-14'	TF500-16'
Feed force	Max. 25 kN	Max. 25 kN	Max. 25 kN
Total length	5 270 mm	5 880 mm	6 490 mm
Hole length	3 440 mm	4 050 mm	4 660 mm
Rod length	3 700 mm	4 305 mm	4 915 mm
Net weight	500 kg	530 kg	560 kg

BOOM

Type of boom	SB40 (TS2-231)
Parallel coverage	44.5 m²
Parallelism	Automatic hydraulic
Boom extension	1 050 mm
Feed extension	1 350 mm
Boom weight, net	2 100 kg
Roll-over angle	358°

HYDRAULIC SYSTEM

Powerpack	2 x HPP555 (55 kW)
Filtration (pressure / return)	20 µ / 10 µ
Oil tank volume	270 liters (drilling)
Oil tank filling pump	Electric
Cooler for hydraulic oil	OW30 oil-to-water (2 x 30 kW)

DRILLING CONTROL SYSTEM

Type of control system	THC561 (5-1020)
Operating principle	Hydraulic control
Manual boom control	Direct control Fully proportional Hydraulic parallelism
Drilling control	Feed / percussion control Flushing control
Automatic cycle	Stop and return automatics

ELECTRIC SYSTEM

Standard voltage	380 - 690 V (± 10%)
Total installed power	135 kW
Main switch gear	MSE 20
IP classification	Specification TS2-132
Starting method	Star delta 380 V - 690 V Soft starter 575 V
Automatic cable reel	TCR3E with spooling system
Cable reel control	Operator station and remote control at rear machine
Batteries	2 x 12 V, 145 Ah
Front and rear lights (combined working and driving)	10 x 50 W LED (4 200 lm, 6 000 K)
Parking rear brake / park lights	2 x Red LED
Stair ans service light	LED (24 V)

AIR AND WATER SYSTEM

Flushing of holes	By water
Water booster pump	WBP2
Water pump capacity	100 l/min
Water pump inlet pressure	2 bar (Min.)
Flushing water pressure	10 - 15 bar
Shank lubrication device	SLU2 (air / oil mist)
Rock drill oil consumption	180 - 250 g/h
Rock dril air consumption	250 - 350 l/min
Air compressor	CTN10, 1 m³/min (7 bar)

OPERATOR'S SAFETY CABIN

Cabin certification	FOPS / ROPS (ISO 3449 / 3471)
Type of cabin	Standard height
Unit height in tramming	2 950 mm
Operation	Standing drilling, seated tramming
Operator's seat	For tramming Adjustable with seat belt
Sound pressure level EN 791	Operator station: 80 dB(A)
Air conditioning	Standard
Windows	Safety laminated, with wiper Stainless steel windows frames
Front screen protection grill	Standard

CARRIER	
Type of carrier	NC7 (frame-steered)
Carrier articulation	± 40°
Rear axle oscillation	± 10°
Ground clearance	320 mm
Diesel engine	MB OM904LA, 110 kW, Tier 3, Stage IIIA
Exhaust catalyzer	Standard
Transmission	Hydrodynamic, Spicer T20 000
Axles	Spicer
Tires	12.00-20
Service brakes	SAHR type, fail save wet disc brakes
Parking and emergency brakes	SAHR type, fail save wet disc brakes
Tramming speed	16 km/h (Horizontal) 6 km/h (14%=1:7=8°)
Gradeability / sideways tilt	Max. 15° / 5°
Rod rack on carrier side	For 10 - 16 ft rods and two shank adapters
Fuel tank	140 liters
Carrier stabilization	2 x Vertical (front) 2 x Vertical (rear)
Centralized greasing points	Specification 5-2110
Hand held fire extinguisher	1 x 7.7 or 9 kg (type ABC)
Tramming alarm	Standard
Colour scheme	Sandvik
Documentation	2 x Operator's manual 2 x Maintenance manual 2 x Technical manual (in English only) 2 x Parts manual (in English only) 1 x Toolman CD

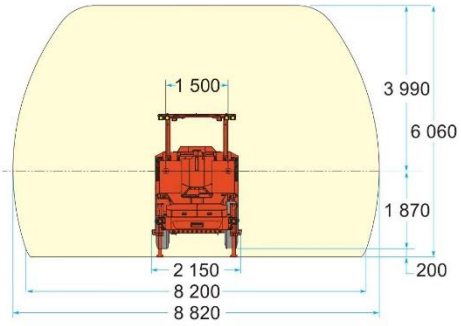
OPTIONAL FEATURES AND PACKAGES	
Rock drill	
*Type of rock drill	HLX5 instead of RD520
Drilling feed	
*Feed length	14', 16'
*Telescopic feed	TFX6/12, TFX8/14
Rod retainer	TRR1 incl. safety wire, add 35 mm length of the feed
Two rods system	TRS included TRR1 with safety wire.
Boom	
*Type of boom	SB40NV instead of SB40
Hydraulic system	
*Oil tank filling pump	Manual
Vaccum pump	For hydraulic system
Drilling control system	
Constant speed drilling	Replaces feed / percussion control
Instrumentation	TMS D2 for TFX-feed TMS DDSS2 for TF-feed TCAD+ with iSURE I-II design and reporting.
Access detector	Mandatory in Europe (TS2-211)
Electric system	
*Optional voltage	1 000 V (50 or 60 Hz) with Direct-On-Line starter
*Electric cable	Specification TS2-121
Ground fault and overcurrent protection	VYK
Auxiliary outlet	1 x 110 V or 1 x 230 V, 16 A
Battery jump start	Option
Dewatering pump outlet readiness	Site voltage 380 - 690 V (Max. 8 kW)
Amber flashing light	LED (24 V)

OPTIONAL FEATURES AND PACKAGES	
Air and water system	
Air mist flushing kit	IP5 air cleaner and flow control
Flushing flow control	2 booms
*End of hole air flushing	Including CT28 air compressor
Water hose reel with water hose	THR2.5E with 38 mm (1 ½"), 65 m
Compressed air outlet	Quick coupling
Cleaning system	
LP system with reel	Up to 15 bar
HP system with reel	Up to 180 bar
Greasing systems	
Manual system	Greasing unit with pump, reel and nozzle (5-2110)
Automatic system	Carrier and booms
Operator's safety cabin / canopy	
*Safety canopy	FOPS (ISO 3449)
*Stainless steel cabin	FOPS (ISO 3449)
Cabin heating	During tramming and drilling
Cabin audio system	CD player / radio / MP3 and loud-speakers
Boot washer	At cabin entrance
Fire suppression system	
Additional fire extinguisher	1 x 7.7 or 9 kg (type ABC)
Manual or automatic system	Ansul, 6 nozzles
Automatic system	FS1000 (above 0°C)
Carrier	
Reduced tramming speed	3 rd gear lockout
*Diesel engine	QSB4.5, 119 kW, tier 4i, Stage IIIB
*Foam filled tires	4 pcs
Fast filling and evacuation system	Wiggins (complete)
Wheel chocks and holders	2 Sets
Tramming camera	Rear and side
Rod rack	On carrier side
Extra items	
Spare rock drill	RD520 or HLX5
Spare wheel assembly	12.00-20 or foam filled tire
Special tools for rock drill	
Documentation	Extra paper, CATbase, Link one manuals
Package: Country specific options	LAM, USC, AUS package
*Package: Harsh water	Basic or advanced (Spec. TS2-049)

*) replaces standard feature

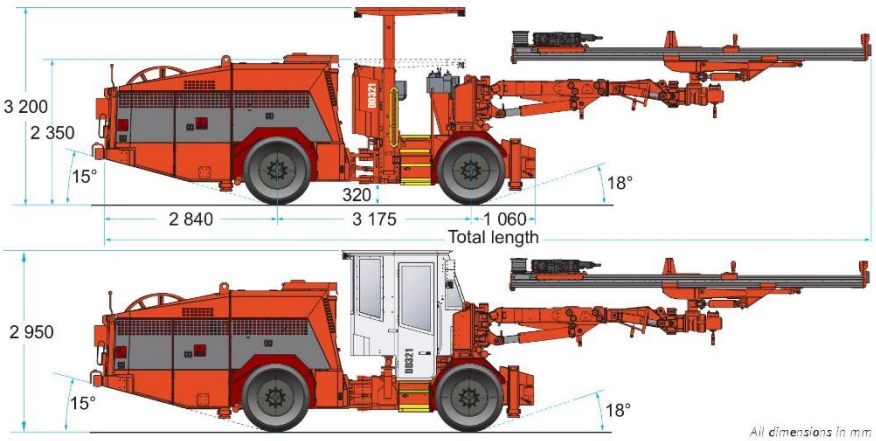
3. SANDVIK DD321 - DEVELOPMENT DRILL

SANDVIK



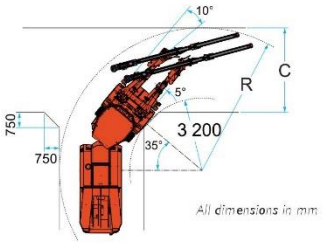
All dimensions in mm

		TF512	TF514	TF516
Overall length	mm	12 350	12 550	13 000



All dimensions in mm

Drilling feed	Radius (R)	T-cross (C)
TF500–12'	6 300 mm	3 700 mm
TF500–14'	6 450 mm	3 850 mm
TF500–16'	6 600 mm	4 000 mm



All dimensions in mm

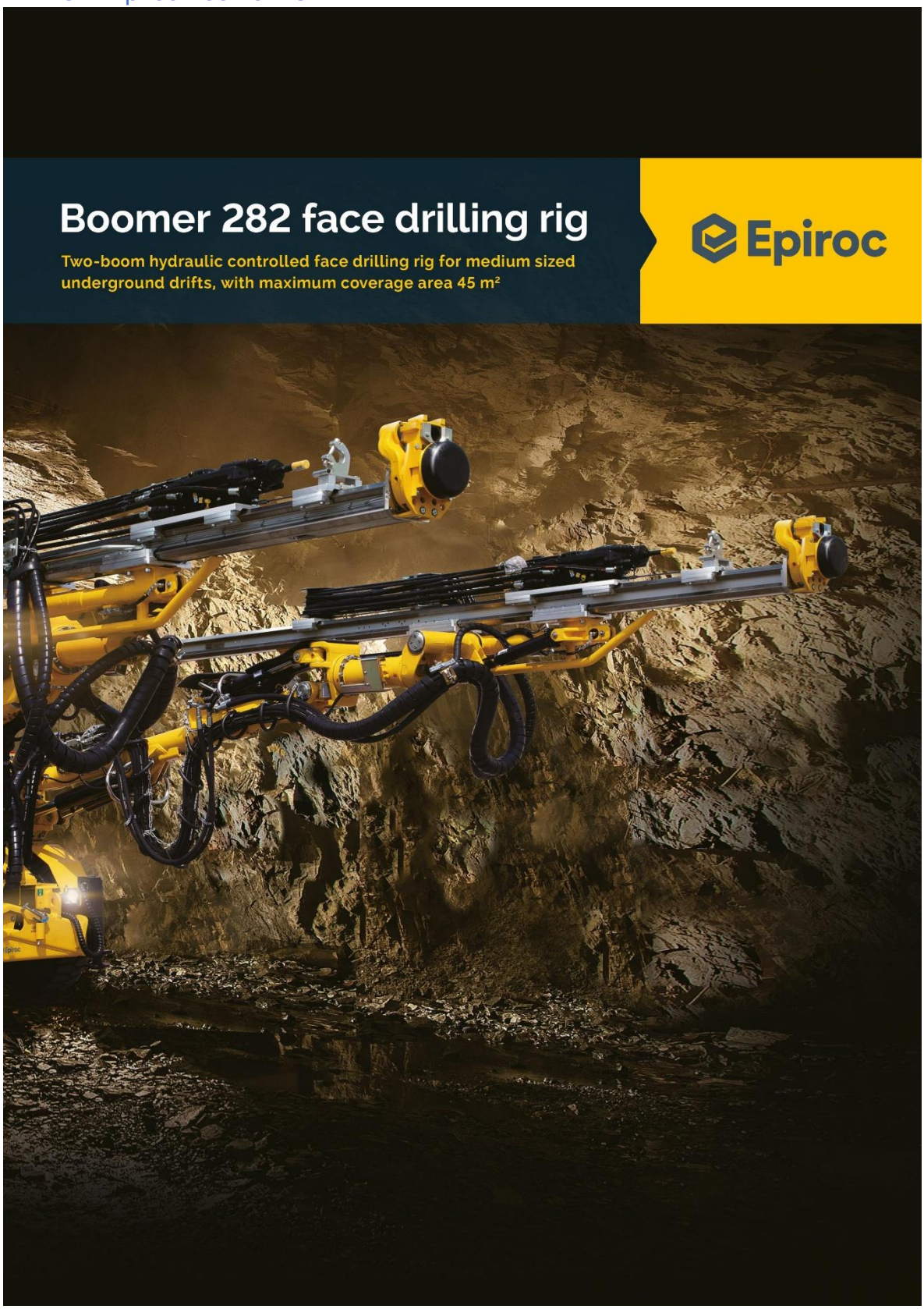
Sandvik Mining and Rock Technology reserves the right to make changes to the information on this data sheet without prior notification to users.
Please contact a Sandvik representative for clarification on specifications and options.

SANDVIK.COM

TS2-126:03/ENG/METRIC © Sandvik Mining and Rock Technology, 2017 SANDVIK is a registered trademark owned by Sandvik Intellectual Property AB in Sweden and other countries.

4. SANDVIK DD321 - DEVELOPMENT DRILL

25.2 Epiroc Boomer 282



The "All Star" two-boom rig

Boomer 282 is a world popular face drilling rig installed with two robust BUT 28 booms and available with a variety of rock drills. Stable and highly efficient performance makes it your first choice for medium size drifts mining and tunneling applications.

Main benefits

Versatile in different heading sizes, designed for medium size drifts up to 8.7m wide * 6.3m high.

Time-proven robust design and common sense control system ensure great reliability and make it the world's most popular two-boom face drill rig.

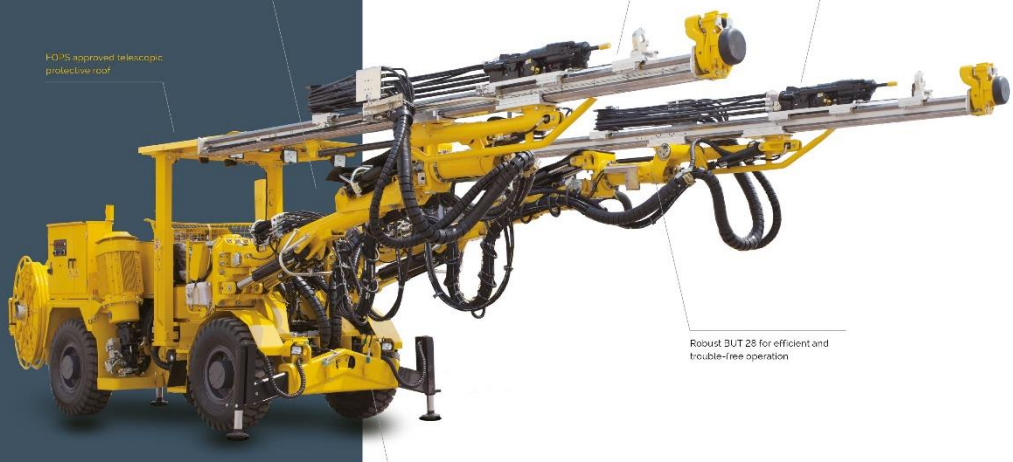
Operator and service friendly. Simple operator controls and easy service access.

Various options are available for all kinds of operation requests.

Boomer 282 is world's most popular two-boom face drilling rig with fast, safe and stable drilling performance.

With a variety of options and different different heading sizes, Boomer 282 is versatile for your all kinds of requirements.

The robust and reliable components on the Boomer 282 provide an ideal combination of low cost and high productivity.



Technical specifications

Optional equipment

Drifter rods

Dimension		Min. hole diameter
mm	T38, R35, R32	45
	R38, R32, R32	45
	R38, R35, R32	45

Couplings

Thread		Diameter	Length
mm	T38	65	173
	T38	65	193

Shank adapters

Thread		Diameter	Length
mm	R38	38	435
	T38	38	435
	T38*	38	525

*Intended for RAS and extension drilling with BSH 110

Extension rods for injection drilling/RAS

Dimension		Min. hole diameter
mm	Rod 32 Speedrod	51
	Rod 38 Speedrod	64

Rock drill/Drilling system
- Water mist flushing, external water and air supply
  - Hydraulic oil cooled by water
  - Hydraulic oil cooled by air fan
- Hole blowing kit without air receiver (for Canada)
- Hole Blowing Kit (internal system with CE certified air receiver)
- External air supply for hole blowing kit

Feed
- Telescopic feed BMHT 2000-series (max 14 ft)
- Extension drilling set BSH110 (BMH feeds only)
- Clamp style hose tree on feed/s
- Rubber bushing type centralisers
- Dowel spacer for BMH 2000/6000 series feeds (not for BMHT and BSH110, only for rubber bushing type centralisers) (for Canada)
- Feed mount off-set kit (all boom/s) (for Canada)

Boom
- Feed Angle Measurement system (FAM I)
- Feed Angle Measurement system with hole depth measurement (FAM II)
- Feed Angle Measurement system with hole depth and drill plan (FAM III)
- Automatic boom lubrication kit, rear part of boom

Protective roof
- Manual spotlight, left and/or right
- Outlet for communication radio, 12V
- Illuminated stairs for platform

Water system
- Water hose reel, including water hose

Hydraulic system
- Hydraulic oil thermostat
- Heater kit for hydraulic oil tank

Carrier
- Fire suppression system ANSUL (manual or Checkfire)
- Deutz D914 L04 2V, 4-cylinder air-cooled diesel engine, 55 kW, EU stage IIIA / Tier 3
- Deutz BF4L 914, 4-cylinder air-cooled diesel engine, 72kW, EU Stage II / Tier 2

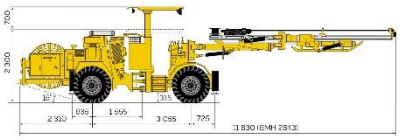
Electrical system
- Electric cable type Rulflex
- Plug for cable
- Switch gear
- Socket
- Connector

Miscellaneous
- Hydraulic Swellex pump type H1 for manual installation
- Manual lubrication kit
- Rig washing kit with water hose and reel
- Boots washing kit
- Ni-Cr plated piston rods (limitations exist)
- KA Certificate (Mining safety standard approved by Ministry of Environmental protection of People's Republic of China, limited selection on requests)

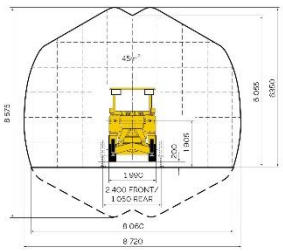
Technical specifications

Measurements

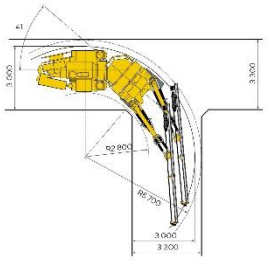
Side view



Coverage area



Turning radius



Dimensions

mm	Width	1 990
	Height with cabin	3 060
	Height roof up/down	3 000/2 300
	Length with BMH 2343 feeds	11 830
	Ground clearance	315

Tramming speed

km/h	On flat ground (rolling resistance 0.05)	≤12.5

Weight

gross weight, depending on configuration		
kg	Total	18 300
	Boom side	12 800
	Engine side	5 500

Recommended cable size and length

Voltage	Type	Dimension, mm²	Diameter,mm	Length,m
380–550 V	Duflex	3x120-3G25+2x1.5	48	115
440–550 V	Duflex	3x95+3G16+2x1.5	45	120
575 V	Duflex	3x70+3G10+2x1.5	38	140
660–690 V	Duflex	3x50+3G10+2x1.5	33	140
1 000 V	Duflex	3x50+3G10+2x1.5	33	140

Recommended lengths are given for ambient temperature of 40 °C and cable drums of 2 200 m.

United in performance.
Inspired by innovation.
Performance unites us, innovation inspires us, and commitment drives us to keep moving forward. Count on Epiroc to deliver the solutions you need to succeed today and the technology to lead tomorrow.
epiroc.com
Epiroc

Excellent performance

With high knowledge and experiences base and genuine components

+ COP 1800 HD+ series rock drill

The Boomer 282 is equipped with COP 1800 HD+ series rock drill, featured by high efficiency, high penetration rate and excellent drill steel economy with dual-dampening system. With its adjustable stroke settings on rock drill and "Heavy Duty" (HD) front head, it can handle various ground conditions and even the toughest of conditions and operations. The "+" series have recommended service intervals increased by 50%, giving higher machine utilization and reduced running costs.

+ Heavy duty BMH 2000 series feed

The Boomer 282 is installed with strong aluminum beam with extremely high resistance against bending and stress, high feed force reaching up to 15 Kn. Optional telescopic feed BMHT series for cross section drilling is also available to select.

+ Operator station

Excellent visibility, logical control layout, and optional operator cabin ensure improved productivity and safe operation.

A comprehensive service offering

Even the best equipment needs to be serviced regularly to make sure it sustains peak performance. An Epiroc service solution offers peace of mind, maximizing availability and performance throughout the lifetime of your equipment. We focus on safety, productivity and reliability.

By combining genuine parts and an Epiroc service from our certified technicians, we safeguard your productivity – wherever you are

Technical specifications

Rock drill

	COP 1838HD+	COP 1838HD+
Shank adapter	R32/R38/T38	R32/R38/T38
Height over drill centre	88 mm	88 mm
Length without shank	1 008 mm	1 008 mm
Impact power	15 kW	15 kW
Impact rate	60 Hz	60 Hz
Hydraulic pressure	200 bar	230 bar
Rotation system	Separate rotation	Separate rotation
Rotation speed	0-340/0-215 rpm	0-340/0-215 rpm
Rotation torque, max	640/1 000 Nm	640/1 000 Nm
Lub. air consump. at 2 bar	5 l/s	5 l/s
Water consumption	40-120 l/min	40-120 l/min
Weight	175 kg	175 kg
Sound level	<106 dB(A)	<106 dB(A)

Feed

BMH 2800	BMH 2831	BMH 2837	BMH 2843	BMH 2849
Total length	4 677 mm	6 287 mm	5 897 mm	6 907 mm
Drill rod length	3 000 mm	3 700 mm	4 300 mm	4 900 mm
Hole depth	2 735 mm	3 435 mm	4 035 mm	4 635 mm
Weight, incl. drill	475 kg	495 kg	525 kg	540 kg
Feed force	15.0 kN	15.0 kN	15.0 kN	15.0 kN

Boom

- Boom ... BUT 28
- Feed extension ... 1 250 mm
- Boom extension ... 1 250 mm
- Parallel holding ... complete
- Feed roll-over ... 360°
- Max. lifting angle ... +65°/–30°
- Max. swinging angle ... +45°/-25°
- Weight, boom only ... 1 750 kg

Air system

- Electronically driven screw compressor ... Atlas Copco LF7
- Capacity, max at 7 bar ... 12.5 l/s
- Air pressure gauge

Water system

- Electronically driven water booster pump ... Lowara 10SV13F055
- Water booster pump max capacity at 13.5 bar ... 100 l/min
- Min water inlet pressure ... 2 bar
- Water flow guard

Control system

- Direct hydraulic Control System, DCS
- Basic functions such as anti-jamming included

Drilling system

- Rock drill lubrication warning kit
- Big hole drilling system
- Mining (heavy duty) centralisers

Electrical system

- Total installed power ... 125 kW
- Main motors ... 2 x 55 kW
- Voltage ... 380 -1 000 V
- Frequency ... 50 -60 Hz
- Starting method ... star/delta (1 000 V direct start)
- Thermal overload protection for electric motors
- Percussion hour meter
- Digital voltmeter/amperage meter in electric cabinet
- Phase sequence indicator
- Earth fault indicator
- Battery charger
- Transformer ... 3.9 kVA
- Cable reel, diameter ... 660/1 395 mm

Hydraulic system

- Hydraulic pumps ... 2 separate units, one for each boom
- Pumps unloaded at start
- System pressure, max ... 150–230 bar
- Hydraulic oil tank, volume max/min ... 195 l
- Oil temperature gauge on oil tank
- Electrical oil filling pump
- Oil filter indicator
- Water cooled oil
- Filtration ... 16 µm
- Mineral hydraulic oil
- Two operator control panels

Carrier

- Deutz TCD3.6 L4, 4-cylinder water-cooled diesel engine, Chinese Stage III
- Power rating at 2 300 rpm ... 55.4 kW (75 hp)
- Torque at 1 300 rpm ... 390 Nm
- Articulated steering ... ±41° steering angle
- Fixed seat for tramming
- Four-wheel drive
- Hydrostatic power steering system
- Hydrodynamic transmission ... Clark 12 000
- Front axle ... Dana 123
- Rear axle ... Dana 123, ±5° oscillation
- Automatic differential lock on rear axle
- Tyres ... Michelin 17.00 x R20
- Clearance outside axles ... 15°
- Hydraulic jacks, front ... 2 extendable
- Hydraulic jacks, rear ... 2
- Service brakes ... 2 separate circuits
- Emergency and parking brakes ... SAHR
- Fuel tank, volume ... 60 l
- Silencer
- Electric system ... 24 V
- Batteries ... 2 x 70 Ah
- Tramming lights ... LED 8 x 25W, 24V DC
- Working lights ... LED 4 x 50W, 24V DC
- Adjustable fire extinguisher bracket
- Central lubrication system
- Spirit level
- Gradeability at max. load on drive wheels ... 1.4
- Horn, beacon and reverse alarm

25.3 Troidon 55D

TROIDON 55 XP

Jumbo frontonero para secciones medianas

Equipo de perforación frontal electro hidráulico de 1.85 m de ancho, para avance de túneles en minería subterránea y obras civiles de secciones medianas desde 3.5 x 3.5 hasta 5.3 x 5.3 m de ancho.

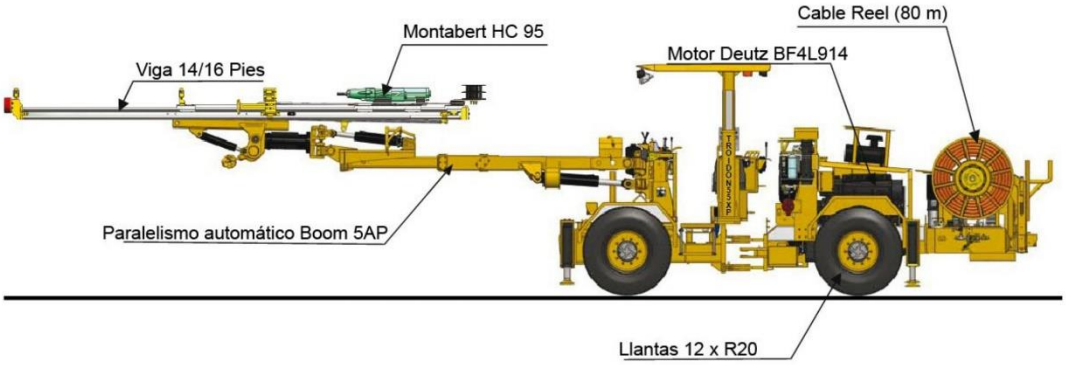
Viene equipado con moderna perforadora Montabert modelo HC 95 de 22 kW, la más veloz del mercado, equipada con Back Hammering para evitar atascamientos de barras.

Chasis para trabajo pesado, articulado 4WD, auto propulsado con motor diésel Deutz y equipado con Brazo hidráulico de paralelismo automático.

www.resemin.com

RESEMIN

ESPECIFICACIONES



PERFORADORA

• Modelo	Montabert, HC95 - LM
• Potencia de impacto	22 kW
• Presión de percusión	180 Bar
• Frecuencia de percusión	68 Hz
• Velocidad de rotación	0 - 270 rpm
• Torque de rotación	750 Nm
• Diámetros de perforación	51 - 75 mm
• Diámetro de rimado	75 - 127 mm
• Consumo de aire	6 l/s (a 2.5 bar)
• Consumo de aceite lubricación	0.8 cc/min
• Consumo de agua	3 - 4 l/s (a 9 bar)
• Shank adapter	R38, T38, T45 - Macho
• Peso	185 kg

VIGA DE PERFORACIÓN

• Modelo	RE 2500 Series
• Avance de perforadora	Cilindro hidráulico y cable de acero
• Fuerza de Avance	25 kN
• Extensión de viga	1290 mm
• Viga estándar	14 pies
• Opción:	16 pies
	8-14 Telescópico

BRAZO

• Modelo	Boom 5AP
• Paralelismo Hidráulico Automático	
• Área de cobertura	34 m²
• Extensión del Brazo	1200 mm
• Angulo de levante	+60°/ -25°
• Angulo de giro	± 30°
• Angulo de rotación	360°
• Cilindros Hidráulicos	Parker

CARRIER

• Modelo	C66
• Motor diesel	Deutz BF4L914, Tier II, EPA II
• Potencia	72.4 kW @ 2300 rpm
• Catalizador de escape	Estándar
• Transmisión	Hidrodinámica
• Caja de transmisión Powershift	Dana, T12000
• Ejes diferenciales	Dana, Serie 112
• Bomba de posicionamiento	Parker, P315 B
• Eje oscilante posterior	± 8°
• Frenos de servicio	Independiente
• Frenos de emergencia y parqueo	SAHR (Spring Applied Hydraulic Release)
• Llantas	12.00 R 20
• Dirección hidráulica (carrier articulado)	±41°
• Gatos hidráulicos	2 delanteros extendible 2 posterior
• Baterías	2x12 V, 90 Ah
• Sistema eléctrico	24 VDC
• Capacidad de subida rampa	15°
• Cabina de operador (canopy)	FOPS / ROPS
• Luces de marcha	8X, Halógeno 65W HD, 24 V
• Sistema centralizado de engrase	SKF
• Sistema de lubricación de perforación	SKF
• Sistema de lavado a alta presión (manual)	
• Pistola de engrase con carrete (manual)	
• Sistema automático de supresión de incendios	ANSUL, 6 boquillas
• Extinguidor manual	1x6kg, Tipo ABC

SISTEMA DE CONTROL HIDRÁULICO

• Válvula de control directo	Parker KA-18
• Bomba de percusión (presión compensada)	Rexroth A10VO100 Parker PGP620
• Bomba triple	180 bar
• Presión de trabajo	140 l
• Tanque de aceite hidráulico	Parker, 20µ
• Filtro hidráulico de retorno	Parker, 10µ
• Filtro hidráulico de alta	
• Indicador de saturación del filtro hidráulico	Parker
• Indicador de bajo nivel de aceite	Hydac
• Indicador de temperatura de aceite	Hydac

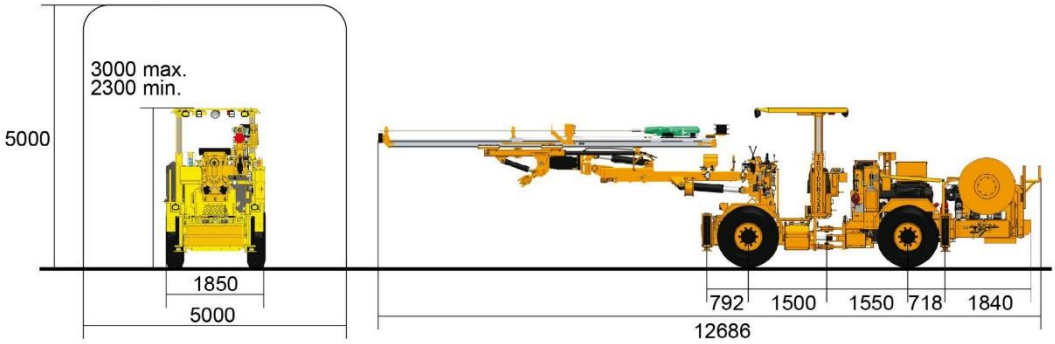
SISTEMA DE AGUA Y AIRE

• Compresor	LE7-10UV
• Capacidad máxima	28 CFM
• Presión de trabajo	10 Bar
• Bomba de agua motor hidráulico	Grundfoss, CR5 - 9
• Caudal máximo a 8 bar	6.9 m^3/h
• Presión mínimo de ingreso	2 Bar
• Enfriador tubular Bowman	FG-120, 48.6 GPM, 20 bar
• Tanque de aire	60 l

SISTEMA ELÉCTRICO

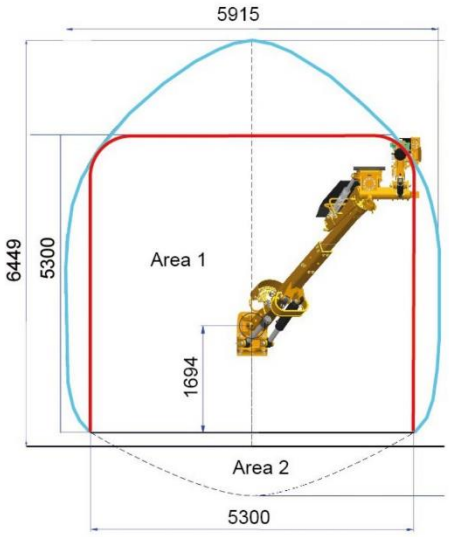
• Motor Eléctrico	ABB - 75kW / 100 HP
• Voltaje	380 - 440 - 550 - 690 -1000 VAC
• Frecuencia	50 - 60 Hz
• Arranque	Estrella - Triangulo
• Opción a 1000 VAC	Arranque directo
• Protección contra sobrecarga y falla a tierra	Schneider, Modulo VIGI
• Horómetro de percusión	En el tablero de control
• Indicador de secuencia de fase	Siemens
• Cargador de batería	32 VAC, 300W, 13A
• Transformador principal	3,5 kVA
• Luces de trabajo	2X, LED N44, 50W, 6700 lm, 24 V
• Carrete de cable eléctrico	90 m
• Cable eléctrico	3X1/0 - AWG (50mm)
• Tablero eléctrico	Grado de protección IP 55

DIMENSIONES

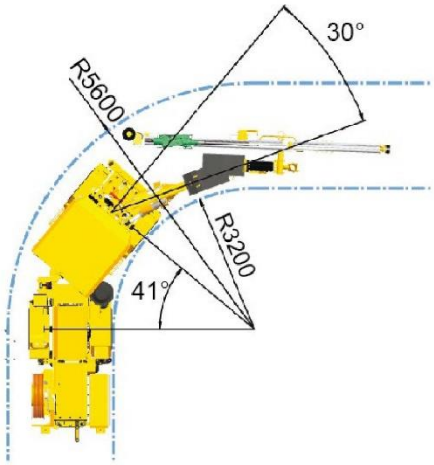


Peso general del equipo	13,500 Kg.

ÁREA DE COBERTURA



RADIO DE GIRO



Rev. 160914 ©Copyright 2016 RESEMIN se reserva el derecho de modificar las especificaciones técnicas sin previo aviso.

www.resemin.com

RESEMIN

26 Anexo N.º 3 Archivos base

Se describen los archivos base, desde donde se construyó la base de datos generada para el desarrollo y análisis de este estudio. Los archivos son los siguientes:

Report: Es un formulario que debe llenar el operador cada vez que se realiza un trabajo con un equipo, en este documento se lleva el registro de la fecha, el código interno del equipo, el turno que se está llevando a cabo, las horas que se permaneció barrenando, las horas de falla, las horas de trabajo y los metros perforados, entre otros datos. Esta información es útil para llevar un registro de las labores que se han realizado y de esta manera saber cuál es la tasa de avance para dicho equipo.

Metros Barrenados: Este documento entrega información sobre el equipo que perforó, la fecha en la que se hizo la perforación y se hace la diferencia entre perforación de avance y fortificación.

KPI Sobre excavación: En este documento se presenta la ubicación de la labor (calle/zanja), en el nivel que se encuentra, N.º del perfil excavado, área teórica y real de la sección, además de calcular el porcentaje de sobre excavación o sub excavación generado por los disparos. Esto está considerado por mes.

Metros Barrenados: Es un documento donde se lleva el registro diario de cuantos metros perforó en total cada jumbo, esto separado por nivel y por equipo. Útil para conocer las tasas de utilización y efectividad de cada equipo, además de tener un catastro de cuanto se deja de perforar porque el equipo se encuentra fuera de servicio.

Mensura: Documento en el cual se muestran los distintos metros barrenado según la ubicación de la perforación, además de mostrar el tamaño de las secciones, los avances esperados vs los reales, volúmenes de marina retirados entre otros. Todo esto es registrado diariamente.

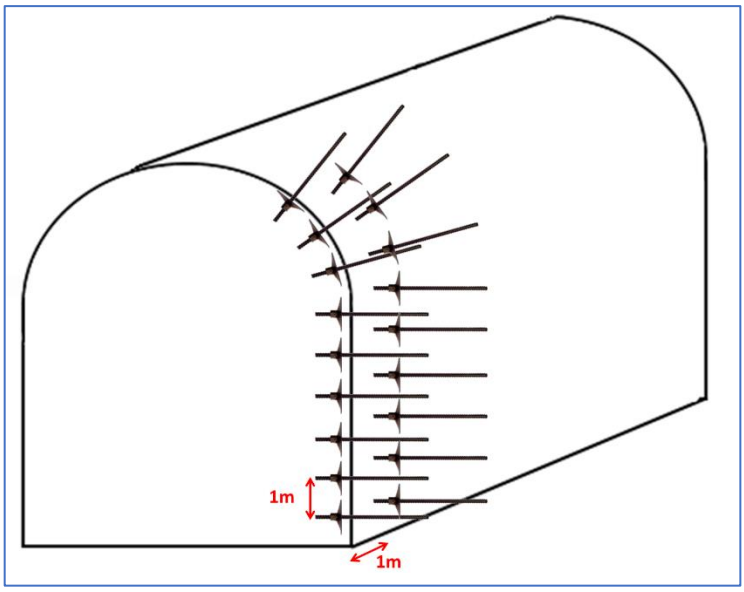
Libro de Novedades: Es un documento donde se llena un registro de todas las tareas y acciones que se llevaron a cabo durante un turno, con el fin de informar y dejar registro de lo realizado. Este documento es entregado al finalizar cada turno.

27 Anexo N.º 4 Metodología para calcular costos de material

Los costos asociados a materiales de fortificación fueron calculados según las dimensiones de los túneles.

Para el cálculo de los pernos se definió un patrón de fortificación que establece la instalación de pernos cada un metro, lo que significa que cada perno debe estar distanciado del otro por un metro, tanto en la misma parada como en dirección del avance. De la manera que se muestra en la Figura N.º 42, por lo tanto, se multiplica el largo de la perforación por la cantidad de pernos que corresponde para dicha sección y a la vez se multiplica por el precio de cada perno, que en este caso es de $5.600 sin contar las planchuelas y tuercas necesarias para la correcta instalación de estos.

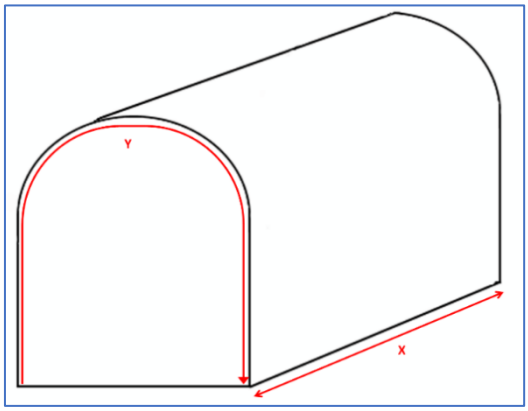
Figura N.º42: Representación patrón de pernos para fortificación



Fuente: Elaboración Propia

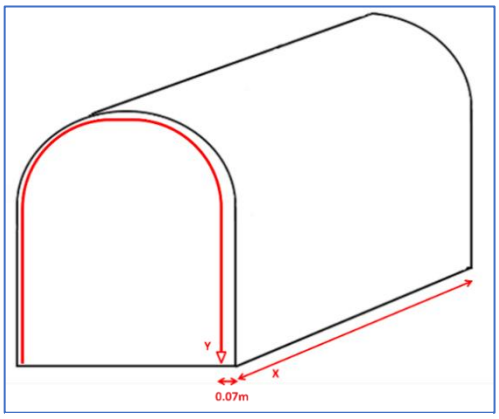
En el caso del cálculo de los costos para la malla de fortificación, se obtiene por la multiplicación del perímetro de la sección (sin el suelo), por el largo de la sección a fortificar. En este caso, serían los metros avanzados por el disparo. Así logramos obtener el área total del manto que serán las cajas y corona del túnel (paredes y techo del túnel). Luego esta área se multiplicará por el precio del metro cuadrado de malla, y se obtendrá cual es el valor de lo que a malla se refiere en los metros avanzados por el disparo. En el caso de la Figura N.º 43, se deberá multiplicar la distancia Y por la distancia X y ese producto, multiplicarlo por el precio del metro cuadrado de malla de fortificación que es de $2.400.

Figura N.º43: Representación de área para cálculo de costos



Fuente: *Elaboración Propia*

Figura N.º44: Representación del volumen necesario para cálculo de costos



Fuente: *Elaboración Propia*

Para el caso del cálculo de los costos de fortificación relacionados con la proyección de shotcrete, Figura N.º 44, la metodología es la misma que en el caso anterior, pero en este caso se considera un espesor de la capa de shotcrete que debe ser de 7 cm.

Por lo tanto, el costo del shotcrete para fines de fortificación viene dado por el producto entre los metros de avance (X), los metros del perímetro de la sección sin considerar el suelo (Y), el espesor del shotcrete (0.07m) y el precio del metro cubico de shotcrete que es aproximadamente de $120.000. Esto da como resultado el costo del total de los metros cúbicos de shotcrete que son necesarios para la fortificación de la frente recién acondicionada para la fortificación.

28 Anexo N.º 5 Relación Sección-Sobre excavación

Cada disparo tiene asociada una sección, que es precisamente el diseño y dimensiones con las que se quiere construir un túnel. La sección llevará asociado un costo, es decir, mientras mayor sea la sección requerida, mayor será el costo de la construcción y fortificación de esta. De la misma forma, este factor está relacionado con la sobre excavación, ya que depende de la sección la probabilidad de que exista mayor o menor índice de sobre excavación.

Cuando la dimensión que se trabaja es grande (5.1x4.3; 5.2x5.1; 6.2x.6.1), es más probable que la sobre excavación sea baja, debido a que la energía proporcionada por la tronadura se disipa en un volumen mayor, permitiendo tener un control más preciso de las dimensiones que se esperan tener.

Cuando la dimensión que se quiere lograr es pequeña (4.2x4.1; 4.2x4.3; 4.5x4.5), el volumen donde se disipa la energía es menor, por lo tanto, muchas veces esta energía supera los límites del diseño de la sección generando así resultados con sobre excavación.

En las Tablas N.º 10 y 11, se exhiben las cantidades de disparos por sección a realizar, separando los datos de los equipos nuevos, de los que llevan más tiempo en la empresa respectivamente. A la vez, se presenta la sobre excavación promedio de cada sección realizada.

Tabla N.º10: Cantidad de disparos según sección equipos nuevos

Equipos Nuevos (M662, M663, M669)		
Sección	**Cantidad por Sección**	**Sobre excavación promedio**
4.2x4.1	51	19.5%
4.2x4.3	11	20.6%
4.7x4.3	17	21.7%
5.1x4.3	26	14.1%
5.2x5.1	30	5.0%

Fuente: Elaboración propia

Tabla N.º11: Cantidad de disparos por sección equipos antiguos

Equipos Antiguos (M681, M687, MA454)		
Sección	**Cantidad por Sección**	**Sobre excavación promedio**
4.2x4.1	24	20.8%
4.2x4.3	3	22.4%
4.5x4.5	3	25.2%
4.7x4.3	6	23.0%
5.1x4.3	4	13.0%
5.2x5.1	22	15.9%
6.2x6.1	1	11.2%

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla N.º 12 se presentan las cantidades de disparos según la sección de la labor, al igual que en el caso de las Tablas N.º 10 y 11, pero considerando la totalidad de los datos. Es decir, tanto los datos de los equipos nuevos como los datos de los equipos que llevan mayor tiempo en la empresa.

Tabla N.º12: Cantidad de disparos por sección utilizando todos los equipos

Ambos Equipos		
Sección	**Cantidad por Sección**	**Sobre excavación promedio**
4.2x4.1	75	19.9%
4.2x4.3	14	21.0%
4.5x4.5	3	25.2%
4.7x4.3	23	22.0%
5.1x4.3	30	13.9%
5.2x5.1	52	10.4%
6.2x6.1	1	11.2%

Fuente: Elaboración propia

A partir de esta información se llegó a la conclusión de que mientras mayor sea la dimensión de la sección, la sobre excavación promedio tenderá a disminuir.

29 Anexo N.º 6 Caso Operación solo con jumbos nuevos

En el caso hipotético que se utilicen sólo equipos nuevos en la obra 200, los costos obtenidos en conceptos de fortificación, mano de obra y equipos son los expuestos en la Tabla N.º 13.

Tabla N.º13: Caso hipotético sólo equipos nuevos

Escenario	Equipos	Costo	Diferencia Teórico vs Real
Teórico	Costo Metro Lineal Teórico	$1.496.359	$3.307.505.664
Teórico	Costo al Mes	$937.109.657	
Teórico	Costo al Año	$11.245.315.880	
Real	Costo Metro Lineal Teórico	$1.936.472	
Real	Costo al Mes	$1.212.735.128	
Real	Costo al Año	$14.552.821.544	

Fuente: Elaboración propia

Según la Tabla N.10, el sobre costo en comparación con el costo teórico sería de $3.307.505.664, lo que equivale a un aumento del 29.4% del costo teórico y esto significaría un ahorro de $747.985.023 anual para la empresa.

30 Anexo N.º 7 Planilla base de Datos

La base de datos realizada en este estudio es alimentada con los datos obtenidos desde los documentos detallados en el Anexo N.º 3, complementados con cálculos internos en la tabla.

La base de dato es una tabla de gran dimensión, por lo cual será dividida en partes, considerando sólo los trece primeros datos de la tabla, sólo para conceptos de visualización.

En la Tabla N.º 14, se puede observar la primera sección de la base de datos, donde se detalla la fecha de cada disparo, la ubicación donde se llevó a cabo, especificando la zanja y calle donde se trabajó, el nivel de la mina donde se realizó, en código interno del equipo, los operadores y jefe de turno designados en ese momento. Además, se detallan datos de la perforación, tales como la cantidad de tiros realizados y con eso, los metros barrenados y el avance real obtenido por la operación, calculando la efectividad de cada disparo.

También se lleva el registro de la utilización de los sistemas de navegación de los equipos nuevos. Siendo este punto uno de los puntos base de la investigación llevada a cabo.

Los datos observados en la Tabla N.º 15, dan cuenta de datos ligados a las dimensiones teóricas y reales de las secciones que se trabajaron. Tales como, la sección que se busca realizar (UN), el factor de tolerancia asociado a cada sección, además de las distintas áreas y volúmenes obtenidos, tanto para la sección teórica, como para las secciones reales obtenidas en terreno.

Lo representado por la Tabla N.º 16, son los costos divididos en conceptos de materiales para fortificación, costos operacionales, mano de obra, etc. Todo esto calculado en base a los datos que se obtuvieron en la Tabla N.º 15.

En esta tabla se calculan los costos totales de las secciones teóricas, para posteriormente compararla con los datos de los casos reales, como se verá en la Tabla N.º 17.

En la de Tabla N.º 17, se muestran los datos relacionado a los costos de las secciones reales obtenidas en los diferentes disparos, considerando las mismas divisiones de costos que en la Tabla N.º 16, pero agregando el desquinche como una columna nueva, ya que este fenómeno ocurre sólo en el caso real. Además, se calculan los costos totales y el costo de metro lineal real, para así calcular la diferencia entre el caso real y el teórico.

Las últimas dos columnas están referidas a la sobre excavación, se expone el porcentaje de sobre excavación que se obtuvo en el disparo y a su lado hay un indicador que destaca si el estado del disparo es sobre excavación, es tolerable o bien si es sub excavación.

Tabla N.º14: Extracto base de datos

Fecha	Postura	Ubicación	Nivel	Equipo	Operador de Jumbo	Jefe de Turno	Cant Tiros	Metros totales Barrenados Avance	Long Perf	Avance Real (Mensura)	Deficiencia	% Efectiv	¿Se utilizó navegación?
07-ago	C-26 N SOC NO	8.83 AL NORTE DE SOC.	**PRODUCCIÓN**	662	FIGUEROA	JUAN BARRIENTOS	79	300	3.8	3.3		87%	SI
08-ago	FR ACCESO CAM	16.85 AL SUR SOCAVON	**PRODUCCIÓN**	662	FIGUEROA	ELIAS SANTIBAÑEZ	53	202	3.8	3.2	-0.02	84%	SI
09-ago	C-23 N SOC NO	34.47 AL NORTE DE SOC	**PRODUCCIÓN**	662	FIGUEROA	ELIAS SANTIBAÑEZ	55	209	3.8	3.4		89%	SI
11-ago	C-26 N SOC NO	11.83 AL NORTE DE SOC	**PRODUCCIÓN**	662	FIGUEROA	ELIAS SANTIBAÑEZ	55	208	3.8	2.9	-0.30	77%	SI
12-ago	C-22 N SOC NO	39.41 AL NORTE DE SOC	**PRODUCCIÓN**	662	FIGUEROA	ELIAS SANTIBAÑEZ	63	240	3.8	3.4		89%	NO
16-ago	Cx VAC HW -26	28.15 AL HW C26	**HUNDIMIENTO**	662	FIGUEROA	LUIS DROGUETT	58	219	3.8	1.5	-1.75	39%	SI
17-ago	FR. CAMIONES	22.85 AL SUR SOCAVON	**PRODUCCIÓN**	662	CASTRO	LUIS DROGUETT	48	183	3.8	3.3		87%	SI
21-ago	C-23 N SOC NO	43.47 AL NORTE DE SOC	**PRODUCCIÓN**	662	ARENAS	JUAN BARRIENTOS	62	236	3.8	2.6	-0.62	69%	SI
21-ago	C-26 N SOC NO	20.83 AL NORTE DE SOC	**PRODUCCIÓN**	662	ARENAS	JUAN BARRIENTOS	51	192	3.8	3.6		96%	SI
26-ago	C-26 N Cx VACI	40.31 AL NORTE DE Cx V	**HUNDIMIENTO**	662	CASTRO	JAVIER MOLINA	73	277	3.8	3.2		85%	NO
07-sep	C-27 N SOC NO	23.00 AL NORTE DE SOC	**PRODUCCIÓN**	662	FIGUEROA	ELIAS SANTIBAÑEZ	64	242	3.8	3.6		94%	SI
09-sep	C-23 N SOC NO	52.47 AL NORTE DE SOC	**PRODUCCIÓN**	662	FIGUEROA	ELIAS SANTIBAÑEZ	66	250	3.8	3.0	-0.23	79%	SI
09-sep	C-27 SUR Cx VA	12.00 AL SUR Cx VACIAD	**HUNDIMIENTO**	662	FIGUEROA	ELIAS SANTIBAÑEZ	62	235	3.8	3.1	-0.15	81%	SI
12-sep	C-23 N SOC NO	55.47 AL NORTE DE SOC	**PRODUCCIÓN**	662	FIGUEROA	LUIS DROGUETT	70	266	3.8	3.0	-0.28	78%	SI
12-sep	C-26 N SOC NO	29.83 AL NORTE DE SOC	**PRODUCCIÓN**	662	FIGUEROA	LUIS DROGUETT	70	266	3.8	3.0	-0.27	78%	SI

Tabla N.º15: Extracto base de datos

Fecha	UN	Factor de Tolerancia Sobre excavación	Area TEORICO	Area TEORICA con Tolerancia	Perimetro completo Sección Completa	Perimetro TEORICO Sección sin suelo	m2 a fortificar TEORICO	Vol m3 TEORICO	Esponjamiento TEORICO	Area REAL	Perimetro eq REAL sin suelo	m2 a fortificar REAL	Vol m3 REAL	Esponjamiento REAL	Diferencia de Perimetros	Aumento de area
07-ago	5.1x4.3	1.11	19.89	22.00	16.97	11.87	39.29	65.84	105.34	21.89	13.83	45.78	72.46	115.93	1.96	1.10
08-ago	5.2x5.1	1.10	23.80	26.13	18.40	13.20	42.37	76.40	122.24	20.35	14.33	46.01	65.32	104.52	1.13	0.86
09-ago	5.1x4.3	1.11	19.89	22.00	17.00	11.90	40.46	67.63	108.20	22.01	13.90	47.27	74.83	119.73	2.00	1.11
11-ago	5.1x4.3	1.11	19.89	22.00	17.00	11.90	34.87	58.28	93.24	21.24	13.66	40.01	62.23	99.57	1.76	1.07
12-ago	5.1x4.3	1.11	19.89	22.00	17.00	11.90	40.46	67.63	108.20	21.36	13.70	46.56	72.62	116.20	1.80	1.07
16-ago	4.2x4.1	1.12	15.32	17.14	15.73	11.53	17.06	22.67	36.28	19.53	25.30	37.44	28.90	46.25	13.77	1.27
17-ago	5.2x5.1	1.10	23.80	26.13	18.40	13.20	43.56	78.54	125.66	25.26	15.84	52.29	83.36	133.37	2.64	1.06
21-ago	5.1x4.3	1.11	19.89	22.00	17.00	11.90	31.06	51.91	83.06	22.74	14.14	36.90	59.35	94.96	2.24	1.14
21-ago	5.1x4.3	1.11	19.89	22.00	17.00	11.90	43.32	72.40	115.84	22.75	14.14	51.47	82.81	132.50	2.24	1.14
26-ago	4.2x4.1	1.12	15.32	17.14	15.73	11.53	37.34	49.64	79.42	18.15	24.56	79.59	58.81	94.09	13.04	1.18
07-sep	5.1x4.3	1.11	19.89	22.00	17.00	11.90	42.48	71.01	113.61	22.79	14.15	50.53	81.36	130.18	2.25	1.15
09-sep	5.1x4.3	1.11	19.89	22.00	17.00	11.90	35.70	59.67	95.47	22.96	14.21	42.63	68.88	110.21	2.31	1.15
09-sep	4.2x4.1	1.12	15.32	17.14	15.73	11.53	35.50	47.19	75.50	18.76	24.89	76.66	57.78	92.45	13.36	1.22
12-sep	5.1x4.3	1.11	19.89	22.00	17.00	11.90	35.11	58.68	93.88	20.11	13.29	39.22	59.32	94.92	1.39	1.01
12-sep	5.1x4.3	1.11	19.89	22.00	17.00	11.90	35.22	58.87	94.20	22.17	13.96	41.31	65.62	105.00	2.06	1.11

Fuente: Elaboración propia

Tabla N.º16: Extracto base de datos

Fecha	Malla ($/m2 a fortificar)	Shotcrete ($/m2 a fortificar)	pernos ($/m2 a fortificar)	Costos operacionales Maquinas y Equipos TEÓRICO	Otros materiales de fortificación TEORICO	Otros materiales combustibles, lubricantes	Mano de Obra TEORICA	Costo sección TEORICA Fortificación	Costo forti metro lineal de túnel TEORICO	Costos totales TEORICOS	Costo total por metro lineal Teórico
07-ago	$88,402	$330,033	$301,320	$2,272,984	$117,291	$766,667	$1,363,247	$719,755	$217,449	$5,239,943	$1,583,064
08-ago	$95,337	$355,925	$351,540	$2,637,640	$136,108	$889,664	$1,581,953	$802,802	$250,094	$6,048,167	$1,884,164
09-ago	$91,035	$339,864	$301,320	$2,334,787	$120,480	$787,513	$1,400,314	$732,219	$215,359	$5,375,313	$1,580,974
11-ago	$78,451	$292,883	$200,880	$2,012,037	$103,825	$678,651	$1,206,741	$572,214	$195,295	$4,573,468	$1,560,910
12-ago	$91,035	$339,864	$301,320	$2,334,787	$120,480	$787,513	$1,400,314	$732,219	$215,359	$5,375,313	$1,580,974
16-ago	$38,382	$143,291	$100,440	$782,806	$40,394	$264,037	$469,496	$282,113	$190,617	$1,838,846	$1,242,464
17-ago	$98,010	$365,904	$351,540	$2,711,593	$139,924	$914,607	$1,626,307	$815,454	$247,107	$6,207,885	$1,881,177
21-ago	$69,883	$260,896	$200,880	$1,792,292	$92,486	$604,532	$1,074,947	$531,658	$203,701	$4,095,915	$1,569,316
21-ago	$97,461	$363,854	$301,320	$2,499,596	$128,984	$843,102	$1,499,160	$762,635	$209,515	$5,733,477	$1,575,131
26-ago	$84,025	$313,692	$301,320	$1,713,710	$88,431	$578,026	$1,027,816	$699,036	$215,752	$4,107,020	$1,267,599
07-sep	$95,587	$356,857	$301,320	$2,451,527	$126,504	$826,888	$1,470,330	$753,764	$211,138	$5,629,012	$1,576,754
09-sep	$80,325	$299,880	$301,320	$2,060,106	$106,306	$694,864	$1,235,571	$681,525	$227,175	$4,778,372	$1,592,791
09-sep	$79,875	$298,201	$301,320	$1,629,082	$84,064	$549,482	$977,060	$679,396	$220,583	$3,919,084	$1,272,430
12-sep	$78,986	$294,882	$200,880	$2,025,771	$104,534	$683,283	$1,214,978	$574,748	$194,830	$4,603,315	$1,560,446
12-sep	$79,254	$295,882	$200,880	$2,032,638	$104,888	$685,599	$1,219,097	$576,016	$194,600	$4,618,238	$1,560,216

Fuente: Elaboración propia

Tabla N.º17: Extracto base de datos

Fecha	Malla total Real	Shotc total Real	Pernos total real	Desquinche	Costos operacionales Maquinas y Equipos REAL	Otros materiales de fortificación REAL	Otros materiales combustibles, lubricantes, aceros, etc REAL	Mano de Obra REAL	Costo sección REAL Fortificación	Costo forti metro lineal de Túnel Real	Costo total REAL	Costo metro lineal REAL	Diferencia entre real y presupuestado (Sólo Forti)	Diferencia COSTOS TOTAL	Sobre ex formula Nueva	Estado	Observaciones
07-ago	$103,002	$384,541	$351,540	$0	$2,501,539	$129,085	$843,757	$1,500,325	$839,083	$253,499	$5,813,790	$1,756,432	$ 119,327	$-573,846	0	Tolerable	
08-ago	$103,523	$386,486	$376,650	$553,725	$2,255,293	$116,378	$760,700	$1,352,637	$866,658	$269,987	$5,351,666	$1,667,186	$ 617,582	$696,501	-14.5%	Subexcavación	
09-ago	$106,365	$397,095	$351,540	$0	$2,583,643	$133,321	$871,451	$1,549,568	$855,000	$251,471	$5,992,983	$1,762,642	$ 122,781	$-617,671	0	Tolerable	
11-ago	$90,032	$336,118	$234,360	$0	$2,148,601	$110,872	$724,713	$1,288,647	$660,510	$225,430	$4,933,343	$1,683,735	$ 88,297	$-359,875	0	Tolerable	
12-ago	$104,768	$391,135	$351,540	$0	$2,507,343	$129,384	$845,715	$1,503,806	$847,444	$249,248	$5,833,692	$1,715,792	$ 115,225	$-458,379	0	Tolerable	
16-ago	$84,249	$314,531	$217,620	$0	$997,924	$51,495	$336,595	$598,516	$616,400	$416,486	$2,600,930	$1,757,385	$ 334,287	$-762,084	15.5%	Sobreexcavación	
17-ago	$117,645	$439,209	$401,760	$0	$2,877,934	$148,507	$970,714	$1,726,072	$958,615	$290,489	$6,681,842	$2,024,801	$ 143,161	$-473,957	0	Tolerable	
21-ago	$83,027	$309,967	$251,100	$0	$2,049,107	$105,738	$691,154	$1,228,974	$644,094	$246,779	$4,719,067	$1,808,072	$ 112,436	$-623,151	3.3%	Sobreexcavación	
21-ago	$115,819	$432,389	$376,650	$0	$2,859,015	$147,531	$964,332	$1,714,725	$924,858	$254,082	$6,610,461	$1,816,061	$ 162,223	$-876,984	3.4%	Sobreexcavación	
26-ago	$179,077	$668,553	$627,750	$0	$2,030,277	$104,766	$684,803	$1,217,681	$1,475,379	$455,364	$5,512,906	$1,701,514	$ 776,343	$-1,405,886	6.5%	Sobreexcavación	
07-sep	$113,694	$424,459	$376,650	$0	$2,808,964	$144,948	$947,450	$1,684,707	$914,804	$256,248	$6,500,872	$1,820,973	$ 161,040	$-871,860	3.6%	Sobreexcavación	B1 NO NAVEGA
09-sep	$95,910	$358,064	$376,650	$0	$2,378,081	$122,714	$802,116	$1,426,280	$830,624	$276,875	$5,559,815	$1,853,272	$ 149,099	$-781,443	4.4%	Sobreexcavación	B1 NO NAVEGA
09-sep	$172,486	$643,948	$627,750	$0	$1,994,882	$102,940	$672,864	$1,196,452	$1,444,184	$468,891	$5,411,321	$1,756,923	$ 764,788	$-1,492,237	10.5%	Sobreexcavación	NO GUARDA TIROS
12-sep	$88,238	$329,423	$234,360	$0	$2,048,178	$105,690	$690,841	$1,228,417	$652,021	$221,024	$4,725,147	$1,601,745	$ 77,273	$-121,832	0	Tolerable	B1 SI NAVEGA
12-sep	$92,942	$346,984	$234,360	$0	$2,265,640	$116,912	$764,190	$1,358,842	$674,286	$227,799	$5,179,870	$1,749,956	$ 98,270	$-561,632	0.5%	Sobreexcavación	B1 SI NAVEGA

Fuente: Elaboración propia