

ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO ASOCIADO A DETERMINAR LOS TIPOS DE
EXPLOSIVOS A UTILIZAR EN EL PROYECTO MINA CHUQUICAMATA
SUBTERRÁNEA.

Diego Alejandro Farfan Espinosa



UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE ESTUDIOS A DISTANCIA-FAEDIS
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
BOGOTA DC

2018

ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO ASOCIADO A DETERMINAR LOS TIPOS DE
EXPLOSIVOS A UTILIZAR EN EL PROYECTO MINA CHUQUICAMATA
SUBTERRÁNEA.

Diego Alejandro Farfan Espinosa

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al Título de
Ingeniero Civil

Director:

Dr. Salvatore Garilli

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE ESTUDIOS A DISTANCIA-FAEDIS
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
BOGOTA DC

2018

Nota de aceptación

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

Bogotá, 27 de Noviembre de 2018

Dedicatoria

Mi tesis se la dedico con todo amor y cariño a mí amada esposa Monica quien siempre me ha apoyado, y me ha regalado una razón gigante para seguir cada día más motivado, nuestra hermosa hija Lyanna Alejandra.

Diego Alejandro Farfan Espinosa.

AGRADECIMIENTOS

A el Doctor Salvatore Garilli director de trabajo de Grado y a todas aquellas personas que indirectamente han colaboraron con la realización de este trabajo.

Abstract

The Chuquicamata Subterráneo Mine project is located in the region of Antofagasta Chile, near the city of Calama, this area is one of the most arid in the world. The climate of the zone corresponds to a normal desert or marginal desert at high elevation. Currently, the mine is in the construction phase of the underground mine infrastructure, its environment is currently very dynamic, with the presence of many contractors working for underground mine developments. The occurrence of blasting in the underground mining works as well in the surficial portion that is currently in production activates procedures for isolation of areas that may be affected by shock waves, vibrations or contamination with gases, directed to protect the safety of people.

In order to minimize the evacuation times of the working faces, increase the performance of the advances in the galleries, manpower production and minimize the costs of explosives, this technical economic analysis will integrate, in a very detailed way, variables of cost, performance, programming, safety and finally will interpret and conclude which type of explosive is most appropriate for developments or ,alternatively, ratify that those used today are the most suitable for this type of mine that is going from being an open-pit mine to an underground one .

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivos.....	3
Alcance	4
Metodología propuesta	4
Resultados esperados	5
1. MÉTODOS TRADICIONALES DE EXCAVACIONES SUBTERRÁNEAS	5
1.1 Métodos Constructivo de Túneles	5
1.1.1 Según la naturaleza del terreno los métodos más utilizados son:	6
1.1.2 Según la Tecnología los métodos de excavación más conocidos son:	7
2. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA	13
2.1 Geología Regional	13
2.2 Caracterización Geotécnica del Yacimiento	14
2.2.1 Caracterización Geotécnica.	14
2.2.2 Caracterización del macizo rocoso Sistema Q de Barton.	17
3. CICLO MINERO MINA CHUQUICAMATA SUBTERRÁNEA DESARROLLO HORIZONTAL	
DRILLING AND BLASTING.	19
3.1 Detalles De Secuencia De Excavación Con Método Drilling and Blasting.....	19
3.1.1 Perforación.....	19
3.1.2 Carguío de Explosivos	20
3.1.3 Evacuación.....	23
3.1.4 Tronadura.....	23
3.1.5 Limpieza de Frente y Acuñadura.....	24
3.1.6 Evacuación de Marina	25
3.1.7 Colocación de Shotcrete	25
3.1.8 Instalación de Pernos.	26
4. CARACTERÍSTICAS DE LOS EXPLOSIVOS PROPUESTOS PARA LOS DESARROLLOS	
HORIZONTALES.....	28
4.1 Emulsión Encartuchada CN:.....	28
4.2 Tronex Pluss:	29
4.3 APD Cilíndrico.....	29
4.4 Softron:	30
4.5 Emulsión Bombeable PDBG	31
5. DIAGRAMAS DE DISPARO SEGÚN TIPO DE EXPLOSIVO PARA SECCIONES TÍPICAS.	32
5.1 Patrones De Perforación Y Tronadura	32

5.2 Diagramas de Disparo Correa Nivel 1	34
5.2.1 Diagrama de Disparo Correa Nivel 1 Emulsión Bombeable PDBG	34
5.2.2 Diagrama de Disparo Correa Nivel 1 Emulsión Encartuchada CN.	35
6. TIEMPO EFECTIVO DE TRABAJO	36
7. COMPARATIVO DE EFICIENCIA DE AVANCE POR TIPO DE EXPLOSIVO.	37
8. COMPARATIVO DE SOBRE EXCAVACIONES POR TIPO DE EXPLOSIVO.	41
9. COMPARATIVO DE CICLO MINERO DESARROLLOS HORIZONTALES POR TIPO DE EXPLOSIVO	45
9.1 Comparativo Actividades Ciclo Minero	45
9.1.1 Comparativo Perforación y Tronadura.	45
9.1.2 Comparativo Carguío y Tronadura	46
9.1.3 Extracción de Marina.....	46
9.1.4 Colocación Shotcrete	47
9.1.5 Instalación de Malla.....	47
9.2 Resumen Comparativo Ciclo minero Emulsión Bombeable / Emulsión Encartuchada.....	48
10. ANÁLISIS DE COSTOS ASOCIADOS A TIPO DE EXPLOSIVO	49
10.1 Análisis de costo directo.	49
10.1.1 Costo directo expresado en porcentaje Emulsión Bombeable	49
10.1.2 Costo directo expresado en porcentaje Emulsión Encartuchada.....	50
10.2 Comparativo porcentual del costo directo.	52
10.3 Análisis de costo Indirecto.....	53
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	55
BIBLIOGRAFIA.....	57

Lista de Tablas

Tabla 1.Relación Dominio Geotécnico- UGTB - Dominio Estructural.....	16
Tabla 2.Clasificación de Barton et at. (1974) de los macizos rocosos Tipos de macizos rocosos.....	18
Tabla 3.Tabla resumen Diagramas de voladura.....	33
Tabla 5.Tiempo Efectivo de Trabajo	36
Tabla 6.Avançe Correa de Nivel Septiembre	38
Tabla 7. Avance Correa de Nivel Octubre.....	38
Tabla 8. Avance Correa de Nivel Noviembre.....	39
Tabla 9.Promedio de avances.	40
Tabla 12. Tabla Integral tipo de Explosivo- Sobreexcavacion por avance Septiembre.....	42
Tabla 13.Tabla Integral tipo de Explosivo- Sobreexcavacion por avance Octubre	42
Tabla 14.Tabla Integral tipo de Explosivo- Sobreexcavacion por avance Noviembre	43
Tabla 15.Tabla resumen sobre-excavacion por tipo Explosivo	43
Tabla 16.Comparativo Perforacio y Tronadura	45
Tabla 17.Comparativo Carguio y Tronadura	46
Tabla 18.Comparativo Extraccion de Marina.....	46
Tabla 19.Comparativo Colocacion de Shotcrete	47
Tabla 20.Comparativo Instalacion de Malla.....	47
Tabla 21.Resumen Comparativo Ciclo minero Emulsion Bombeable- Emulsion Encartuchada.	48
Tabla 22. Analisis de Costo directo expresado en porcentaje Emulsion Bombeable	50
Tabla 23.Analisis de Costo directo expresado en porcentaje Emulsion Encartuchada.....	51
Tabla 24.Analisis de Costo directo expresado en porcentaje Emulsion Encartuchada.....	53
Tabla 25.Analisis de Costo directo expresado en porcentaje Emulsion Encartuchada.....	54
Tabla 26.Analisis de Costo directo expresado en porcentaje Emulsion Encartuchada.....	54
Tabla 27.Resumen de Comparacion con resultados obtenidos.....	55

Lista de Figuras

Figura 1. Vista Aérea Mina Chuquicamata.	1
Figura 2. Vista 3d Proyecto Mina Chuquicamata Subterráneo.	2
Figura 3. Jumbo perforación unión e imagen isométrica del diagrama de disparo.	7
Figura 4. Montaje de Tuneladora (TBM) Proyecto Hidroeléctrico Chacayes.	8
Figura 5. Esquema TBM Doble escudo.	9
Figura 6. Esquema seccionado de Tuneladoras.	10
Figura 7. Mapa Geológico Regional.	13
Figura 8. Modelo de bloques isométrico de Chuquicamata mirando hacia el norte mostrando las Unidades Geotécnicas Básicas.	14
Figura 9. Distribución isométrica en superficie de los Dominios Estructurales Chuquicamata.	15
Figura 10. Esquema de perforación.	20
Figura 11. Fotos de Equipo UBT Empresa Enaex utilizados en primeras pruebas PMCHS.	22
Figura 12. Fotos del Proceso de carguío con emisión bombeable.	23
Figura 13. Esquema referencial Tronadura.	24
Figura 14. Esquema referencial Proyección de Shotcrete.	26
Figura 15. Esquema referencial.	27
Figura 16. Emulsión Encartuchada CN.	28
Figura 17. Tronex Plus catalogo dinamitas Enaex.	29
Figura 18. APD Cilindrico.	30
Figura 19. Softron.	30
Figura 20. Estanques de almacenamiento Emulsión PDBG Enaex.	31
Figura 21. Diagrama de Disparo Correa Nivel 1 Emulsion Bombeable.	34
Figura 22. Diagrama de Disparo Correa Nivel 1 Emulsion Encartuchada.	35
Figura 23. Muestra esquema de sobreexcavación datos de terreno.	41

Lista de Gráficos

Gráfico 1. Granulométrico Aplicación Tipo Tuneladora.	11
Gráfico 2. Área excavada – Consumo Específico de Explosivo.....	33
Gráfico 3. Largo de Avance por Tipo de Explosivo Mes.	40
Gráfico 4. Largo de disparo efectivo por tipo de Explosivo.	40
Gráfico 5. Porcentaje de sobre-excavación – mes – Tipo de Explosivo.	44
Gráfico 6. Porcentaje de sobre-excavación – Tipo de Explosivo.	44
Gráfico 7. Análisis de Costo directo expresado en porcentaje Emulsión Encartuchada.	52
Gráfico 8. Análisis de Costo directo expresado en porcentaje Emulsión Encartuchada.	52

INTRODUCCIÓN

La mina Chuquicamata es una mina de cobre a rajo abierto, se encuentra ubicada en la segunda región de Chile. En el desierto de Atacama a 240 kilómetros del puerto de Antofagasta y 2830 metros sobre el nivel del mar, y es considerada la más grande del mundo en su tipo, su producción es de unas 528.377 toneladas de cátodos electro refinados y electroobtenidos con una pureza de 99.99 por ciento de cobre, las riquezas mineras de Chuquicamata comenzaron a ser explotadas en el año 1915, al cumplir 100 años de historia la mina ha dejado de ser rentable, debido al aumento de los costos de transporte debido a que cada camión debe recorrer aproximadamente 11 km desde la superficie al fondo del rajo, se estima que entre todos los camiones recorren diariamente 35000 km equivalente al 88 % del perímetro de la tierra, un camión consume 3100 litros de diésel por día, lo que un automóvil gasta en 21 meses.

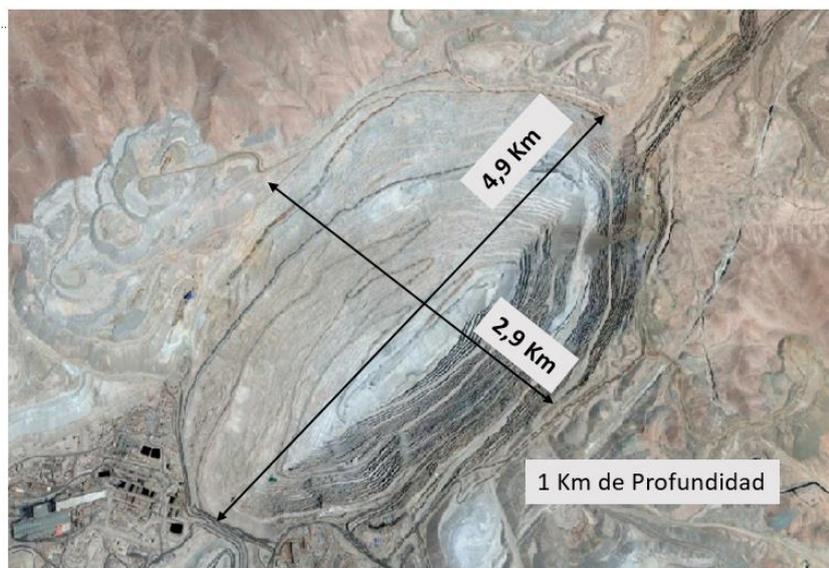


Figura 1. Vista Aérea Mina Chuquicamata.

Fuente: Google Earth

Adicional a esto la relación de material estéril y mineral ha venido disminuyendo considerablemente. Con el fin de dar continuidad a la explotación y expandir su vida útil se han desarrollado más de 160000 metros de sondajes y 15000 metros de túneles de exploración bajo el rajo actual, con resultados que indican que aún existen recursos de 4200 MMT con una ley de 0.7 % de cobre, en la figura 1 se muestra en naranja las reservas que efectivamente se pueden extraer por medio de minería subterránea.

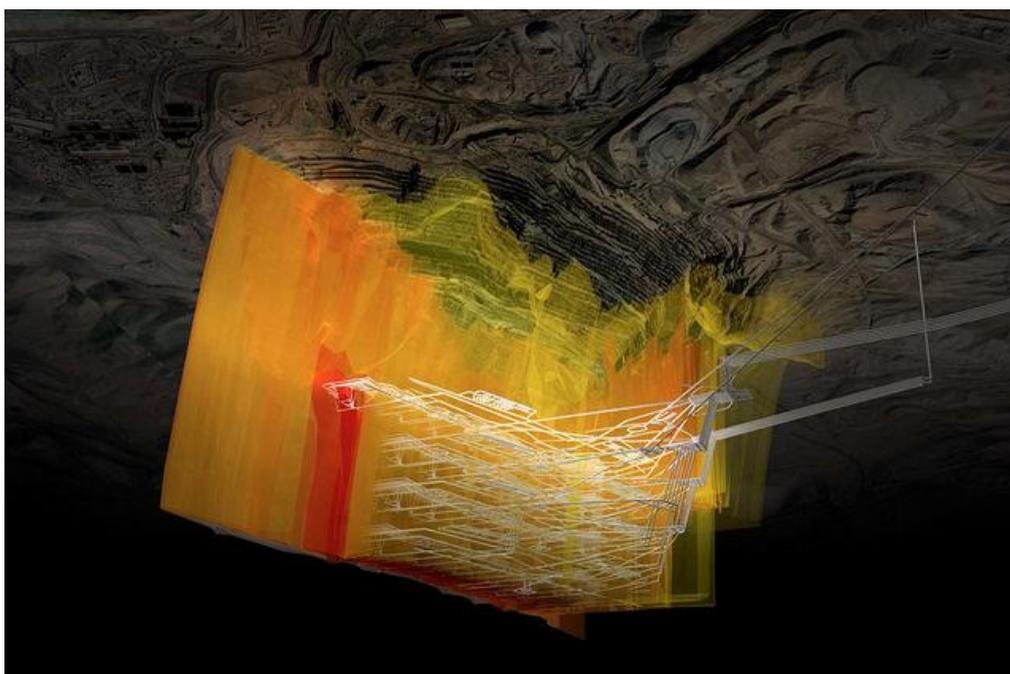


Figura 2. Vista 3d Proyecto Mina Chuquicamata Subterráneo.

Fuente: Codelco

Problema

En la actualidad en el proyecto mina Chuquicamata Subterránea no se tiene un estudio técnico económico que analice e identifique que tipos de explosivos son los más convenientes a utilizar, Integrando en él, variables de seguridad, tiempos directos de operación e indirectos por evacuación de gases, eficiencia de avances, caracterización geológica y geotécnica, sobre excavación y análisis de costos asociados.

Objetivos

Objetivo general

Desarrollar un estudio técnico económico con el fin de determinar que tipos de explosivos son los más convenientes a utilizar en el desarrollo de los túneles y cavernas del proyecto mina Chuquicamata Subterráneo.

Objetivos Específicos

- Recopilar Información de diversas fuentes para integrar una base de datos que permita realizar el análisis de rendimientos por tipos de explosivos.
- Identificar los rendimientos por actividad y desarrollar un análisis económico de los mismos con el fin de cuantificar las variables económicas de acuerdo al tipo de explosivo utilizado.
- Identificar variables operativas respecto a la manipulación de distintos tipos de explosivos, su logística y sus rendimientos operacionales.
- Consolidar la información obtenida, analizar la información, y presentar las conclusiones obtenidas identificadas por variables. y concluir con la recomendación de distintos tipos de explosivos de acuerdo al tipo de labor.

Alcance

Este estudio entregara un respaldo técnico económico que valorara que tipos de explosivos es más conveniente a utilizar en los desarrollos subterráneos que se desarrollan en la actualidad en la mina Chuquicamata Subterránea. Integrará en sus análisis variables de seguridad, rendimiento de avance, sobre excavaciones, gestión de la producción, costos y geomecánica asociada. La información necesaria para este estudio será tomada en campo y se integrará con datos presupuestales en fase de licitación y de control de costos desarrollado en el proyecto.

Metodología propuesta

Se inicia el estudio con la descripción global de proyecto para identificar la magnitud del mismo, y la importancia que tiene el estudio en general, se procederá a realizar una revisión de la teoría, concerniente a desarrollo de excavación subterránea en general y luego en detalle sobre el método de avance horizontal Drilling and Blasting, (perforación y voladura) luego se procederá a identificar los diferentes tipos de explosivos que se están utilizando en el proyecto. En visitas a campo se realiza la toma y recolección de datos e información necesaria a su vez se identificar las metodologías aplicadas y se identificaran posibles particularidades del proyecto, debido a lo extenso del proyecto se ha tomado como muestra la galería Correa de Nivel 1 ya que en esta Galería se están desarrollando avances utilizando los dos tipos de explosivo que se desean comparar, también esta galería presenta una extensión adecuada importante 7500 metros y una sección fija.

Luego se consolidarán los datos obtenidos de carácter geológico, técnico, operativos, logísticos, seguridad y control de costos, se realizarán los análisis requeridos se interpretarán y desarrollarán los resultados y conclusiones.

Resultados esperados

Determinen qué tipos de explosivos son los más adecuados para el desarrollo del proyecto, identificar las principales variables asociadas y variables y justificación de las mismas.

1. MÉTODOS TRADICIONALES DE EXCAVACIONES SUBTERRÁNEAS

Un túnel se define como el paso subterráneo construido artificialmente para establecer una comunicación, sus funciones son diversas ya que se construyen para transporte, para almacenamientos, como conductos hidráulicos en hidroeléctricas y obras de riego, y en desarrollos mineros masivos como es el caso de la mina Chuquicamata.

Antes de desarrollar la construcción de proyectos subterráneos se hace necesario desarrollar investigaciones y estudios multidisciplinarios que abarcan aspectos técnicos, económicos, sociales y ambientales los cuales determinan la factibilidad del desarrollo del proyecto.

En la parte técnica se realizan sondeos y estudios geológicos con el fin de desarrollar de forma segura y confiable el trazado del o de los túneles, no obstante, en la excavación del túnel continua la investigación con la elaboración de mapeos geológicos.

1.1 Métodos Constructivo de Túneles

A través de la historia en la construcción de túneles se han desarrollados varios métodos los cuales varían según la naturaleza del terreno, la función del túnel y la tecnología aplicable.

1.1.1 Según la naturaleza del terreno los métodos más utilizados son:

- **Método Inglés:** Su nombre deriva que fue utilizado en terrenos que usualmente se localizan en Inglaterra, (arenas y areniscas), se caracteriza por desarrollar la perforación de avance a sección completa y en túneles de pequeña sección, también se utiliza en avance a sección completa cuando las condiciones del terreno son muy buenas o en roca, este es el caso de Chuquicamata el cual se avanza a sección completa y el avance es en roca.
- **Método de galería en clave o método belga:** Este método inicia con la galería de clave sección superior del túnel, a continuación, se desarrolla el avance de las bóvedas y al final se desarrolla la excavación de los hastiales la cual es la sección que se encuentra abajo del arco del túnel. Este método presenta complejidad al momento de extraer el material proveniente de la excavación.
- **Método Austriaco:** se caracteriza por que se desarrolla una galería de avance en el eje y base del túnel, cuando la galería ha avanzado cierta distancia, se perfora un pozo hacia arriba, y se excava en los dos sentidos una segunda galería, como ventaja se tiene que se desarrollan múltiples frentes lo que acelera la construcción del túnel.
- **Método Alemán:** También conocido como método de las tres frentes, se caracteriza por conservar la destroza (parte central del túnel) hasta la finalización del sostenimiento de la bóveda y los hastiales, se utiliza en secciones superiores a 50 m² su método consiste en excavar dos galerías en la base a la derecha e izquierda del eje, luego se ensancha y se construyen las caja o paredes del túnel más tarde se desarrolla

una galería de coronación que luego se ensancha hasta construir la bóveda del túnel.

Por último, se excava la destroza o parte central del túnel.

1.1.2 Según la Tecnología los métodos de excavación más conocidos son:

- **Drillin and Blasting:** También conocido como método de perforación y voladura es muy utilizado, ya que es válido para todo tipo de roca, pueden ejecutarse todo tipo de secciones y es adaptable a otros trabajos, la movilidad de los equipos que desarrollan la actividad es rápida. Consiste en la perforación de un diagrama de voladura en la frente del túnel con un equipo perforador (Jumbo) y posteriormente se cargan las perforaciones realizadas (barrenos) con explosivos para así fracturar la roca y extraerla, en la actualidad este es el método que se desarrolla en la mina Chuquicamata, el estudio de los parámetros constructivos de avance por este método se desarrolla a través del ciclo minero de desarrollo horizontal el cual de detalla y analiza más adelante.

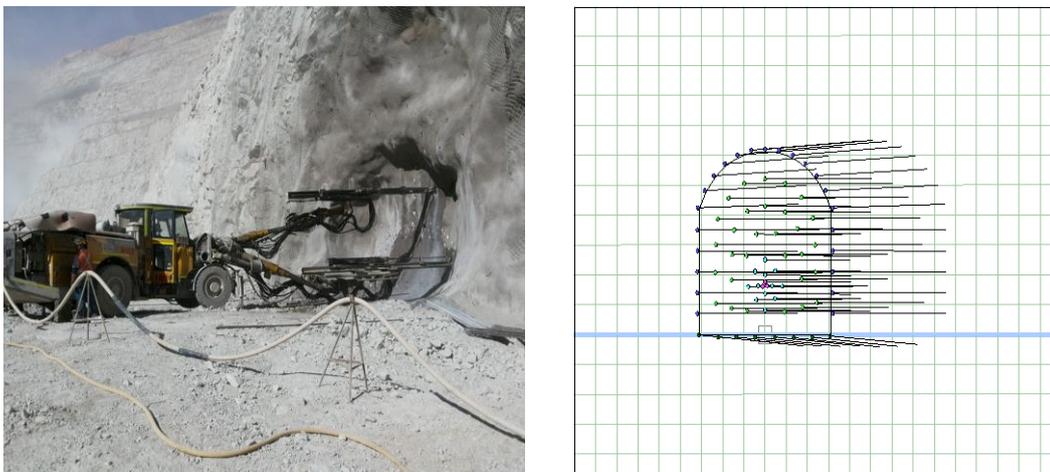


Figura 3. Jumbo perforación unión e imagen isométrica del diagrama de disparo

Fuente: (imágenes desarrolladas por el autor).

- Excavación con TBM: (del inglés Tunnel Boring Machine), también conocidas como tuneladoras son máquinas capaces de excavar túneles a sección completa, cubren un amplio rango de diámetros y largos, esta máquina avanza dejando el túnel terminado de forma continua, su velocidad de avance es de 20 m días en promedio, poseen una cabeza giratoria accionada por motores eléctricos que avanza mediante una serie de cilindros hidráulicos perimetrales que se apoyan sobre el revestimiento ya colocado y que ha puesto anteriormente al retraer los gatos.



Figura 4 Montaje de Tuneladora (TBM) Proyecto Hidroeléctrico Chacayes

Fuente:(Foto tomada por el autor)

Existen varios tipos de tuneladoras para adaptarse a las distintas clases de geología donde se va a desarrollar la excavación, de manera muy general se distinguen tres grandes familias de tuneladoras:

- Abiertas (o para roca) estas tuneladoras no tienen ningún sistema para regular la presión en la frente del túnel para contener el agua subterránea.

- Escudo de presión de tierras (EPB = Earth Pressure Balance). Utilizadas en terrenos cohesivos, su principal característica es su cascaron metálico exterior que sostiene provisoriamente el frente de avance mientras se coloca el sostenimiento definitivo.
- Hidro-escudo (Slurry). Estas Tuneladoras son utilizadas en terrenos con alto contenido de agua, equipadas con un sistema de circulación del slurry (lodo) que controla la presión de la cámara de la excavación mediante la inyección de bentonita presurizada dentro de ella.

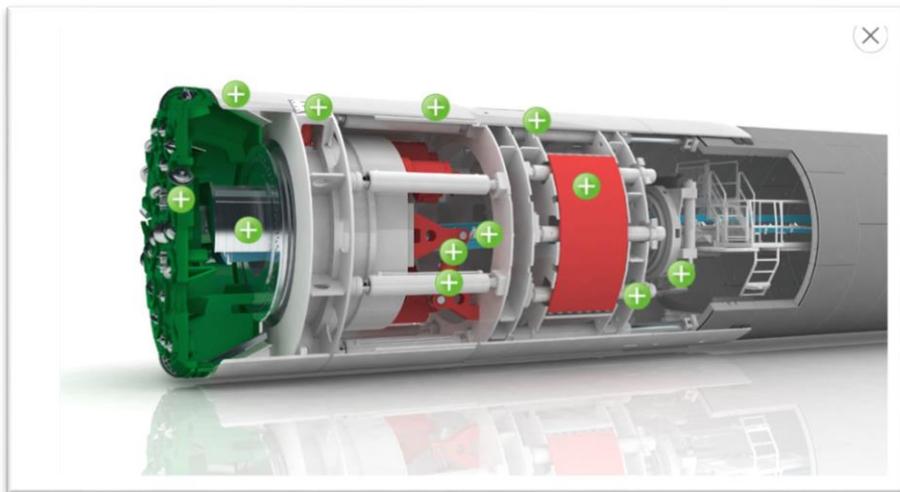


Figura 5. Esquema TBM Doble escudo

Fuente: Herrenknecht

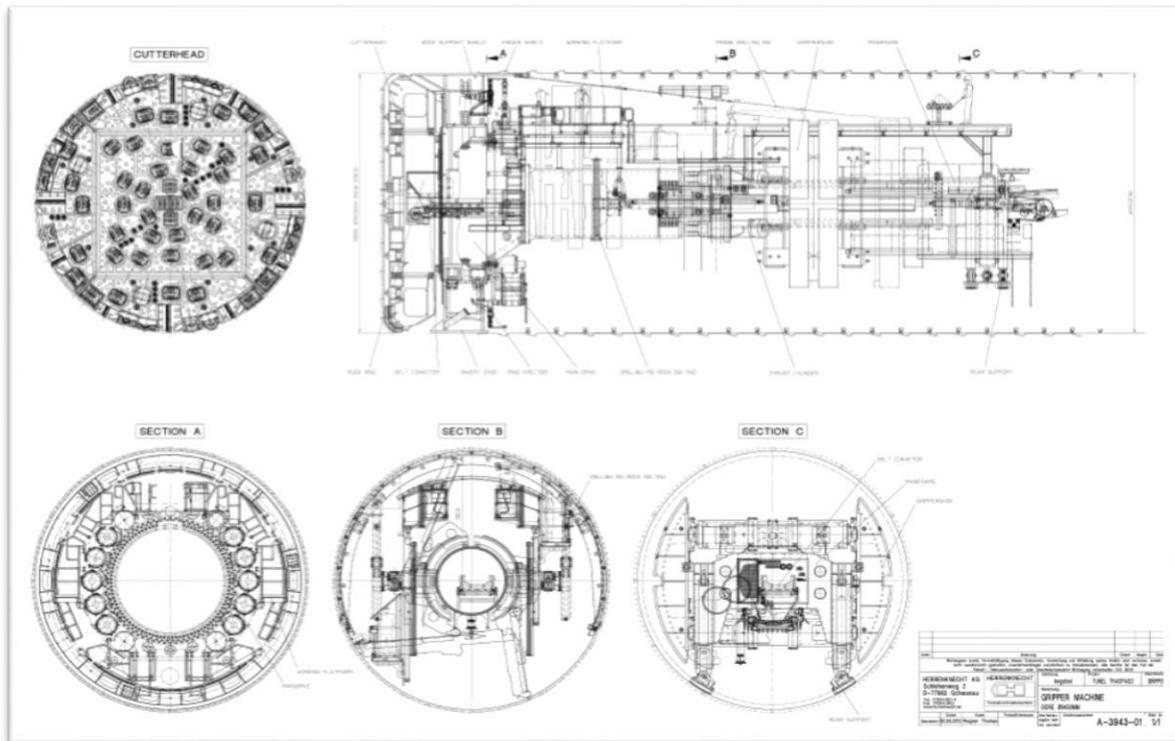


Figura 6. Esquema seccionado de Tuneladoras.

Fuente: Herrenknecht

Las distintas tipologías de tuneladoras se han creado de acuerdo a una determinada clase de terreno, siempre el parámetro más relevante, (aunque hay otros) es la granulometría del terreno a excavar, en el gráfico N°1 se pueden observar de acuerdo a la granulometría del material las zonas de aplicación recomendadas para cada tipo de tuneladoras.

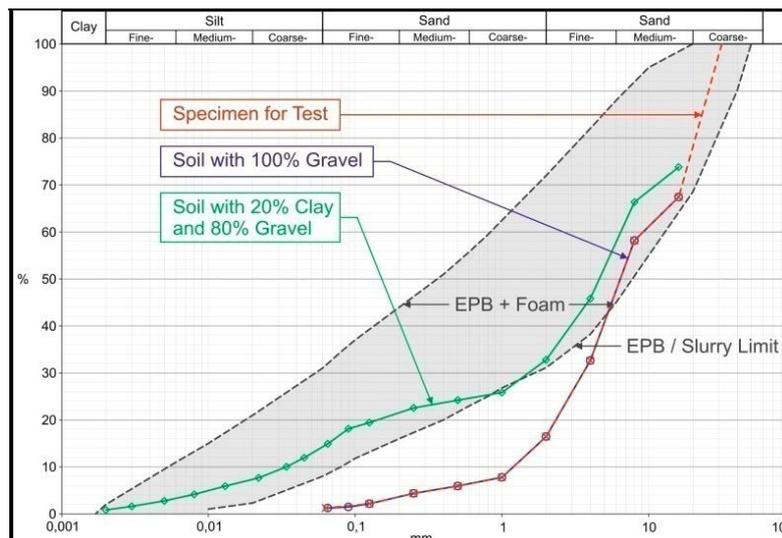


Gráfico 1. Granulométrico Aplicacion Tipo Tuneladora.

: Fuente: Herrenknecht

Por encima de la zona EPB + Foam sombreada en gris se puede utilizar todo tipo de tuneladoras si restricción pudiendo ser esta tipo Abierta, EPB o Slurry. En la zona EPB + Foam se debe utilizar tuneladoras tipo escudo. Y en la zona inferior al área EPB + Foam se debe recurrir a tecnologías mixtas o directamente Slurry. De esta manera es como de acuerdo a las características geo mecánicas y granulométricas de trazado a excavar se decide la tipología de tuneladoras a utilizar.

Independientemente de esta tipología de tuneladoras en general se tiene el siguiente equipamiento:

Equipamiento TBM:

- Tuneladora diámetro elegido
- Repuestos Principales TBM
- Conjunto de Herramientas Principales TBM

Equipos Principales Soporte Técnico TBM:

- Planta de Mortero Para Preparación de Inyecciones
- Equipo Izaje de dovelas

- Sistema de Correa extracción de material de la excavación "conveyor"
- Electro compresor, secadores y filtros
- Sistema de refrigeración de Aceite de TBM
- Planta de Tratamiento de Agua
- Sistema de automatización y supervisión de navegación.
- Locomotora Diésel Hidráulica
- Carro segmento Túnel TBM
- Carro Plano – Mixer- Transporte Personal TBM
- Carriles y sistema cambio de Carril

Materiales Consumibles Principales:

- Consumo Eléctrico. Generado o Asistido
- Dovelas, sellos y material de inyección
- Raspadores - cuchillas de corte
- Rippers - Cortadores
- Centralizado (Nariz TBM)
- Suministro de Protecciones de Seguridad.

2. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA

2.1 Geología Regional

El complejo minero Chuquicamata está emplazado en un ambiente geológico regional que se caracteriza por la presencia dominante de rocas intrusivas y fallas regionales, además de rocas volcánicas y sedimentarias que conforman una columna geológica discontinua desde el Paleozoico hasta el Cuaternario. La distribución de estas unidades se observa en la Figura 7

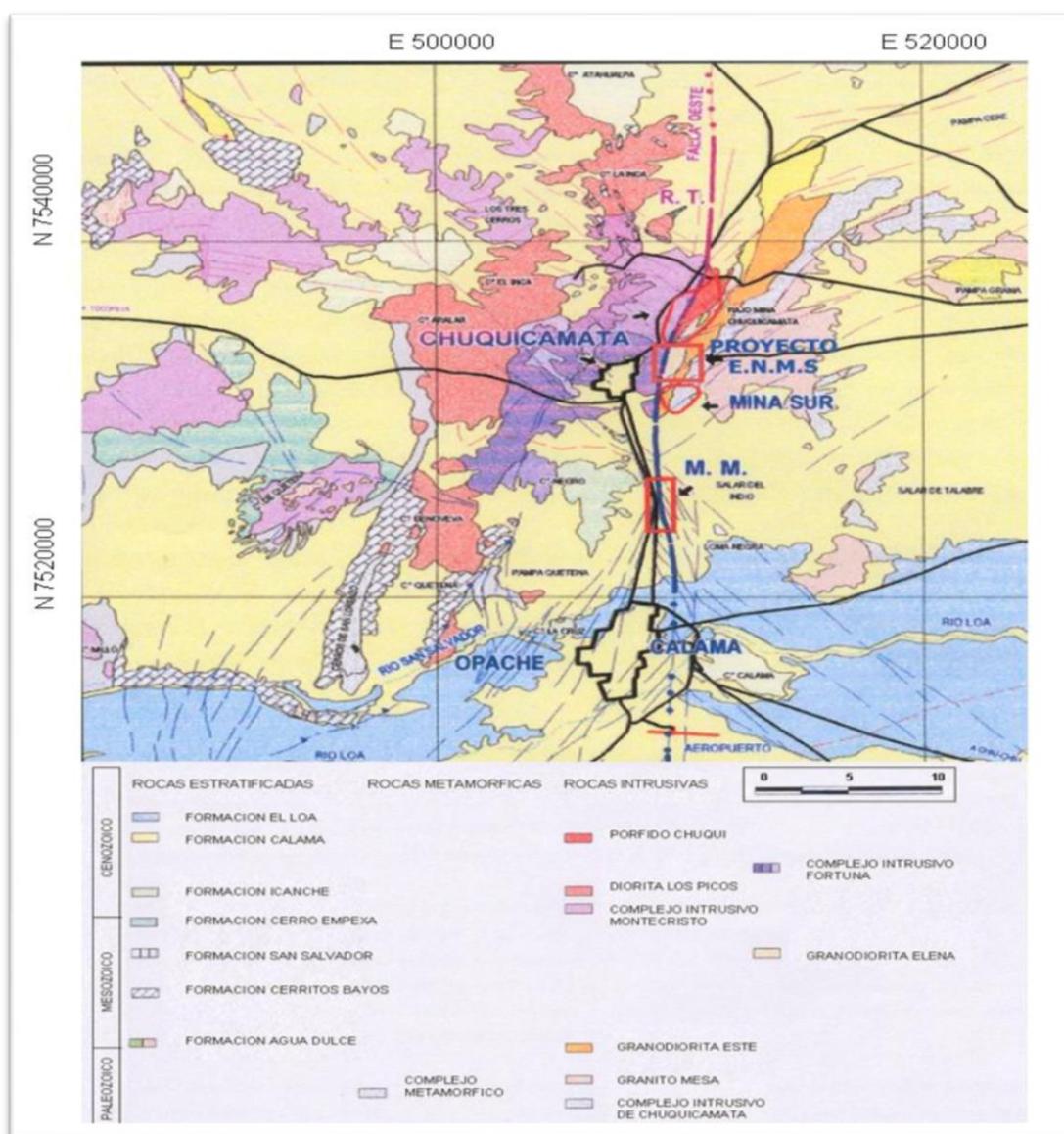


Figura 7. Mapa Geológico Regional

Fuente: Pardo y Rivera (1999)

2.2 Caracterización Geotécnica del Yacimiento

2.2.1 Caracterización Geotécnica.

En la mina se ha desarrollado el concepto de Unidades Geotécnicas Básicas (UGTB), que consisten en cuerpos de características Geotécnicas relativamente Homogéneos que representan la superposición de las unidades de alteración y de las unidades litológicas estudiado realizado en el año 2005 por la Dirección de Geotecnia de Codelco Chuquicamata, en la Figura 8 se muestra este modelo en bloques de forma isométrica del rajo Chuquicamata.

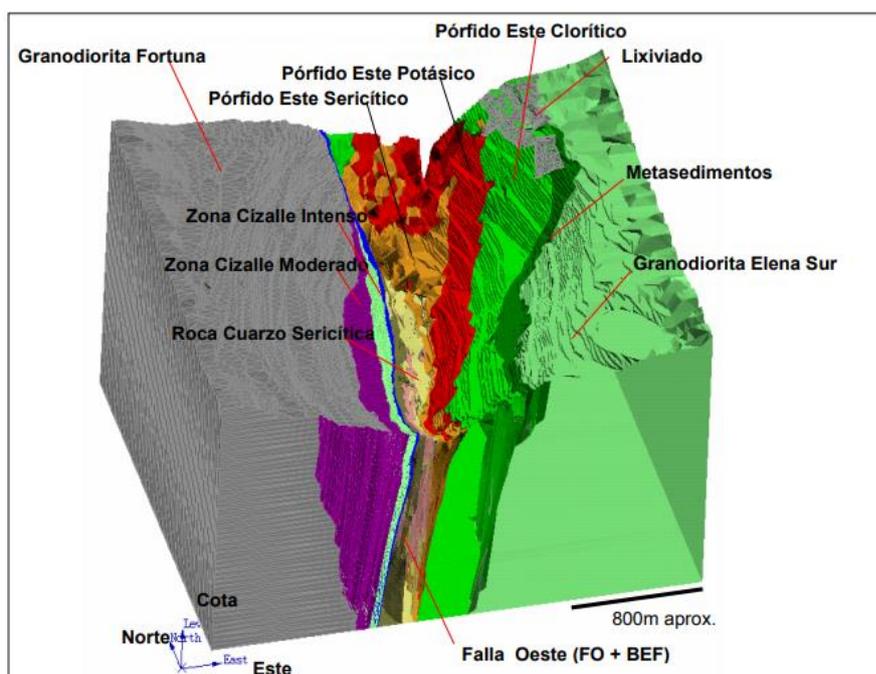


Figura 8. Modelo de bloques isométrico de Chuquicamata mirando hacia el norte mostrando las Unidades Geotécnicas Básicas

Fuente (Tomado del Modelamiento Geotécnico de la Mina Chuquicamata. Dirección de geotecnia, 2005).

En el yacimiento se han definido las siguientes Unidades Geotécnicas Básicas UGTB:

- Granodiorita Fortuna (GDF)
- Pórfidos Este Sericítico (PES), Este Potásico (PEK), Este Clorítico (PEC).
- Metasedimentos (MET)

- Granodiorita Elena Sur (GES)
- Brecha Entre Fallas (BEF)
- Zona de Cizalle Moderado (ZCM) Zona de Cizalle Intenso (ZCI).
- Cuarzo Sericítica (Q>S), Cuarzo Sericítica (Q=S), Cuarzo Sericítica (Q<S)

Dominios Estructurales

Los dominios estructurales corresponden a sectores del yacimiento que presentan características estructurales propias y distintivas en lo referente a las familias de estructuras, y cuyos límites quedan definidos por entes geológicos (fallas geológicas, contactos litológicos etc.). De acuerdo al modelo de caracterización geotécnica de Chuquicamata realizado por la Dirección de Geotecnia de Codelco-Norte, año 2005, se toma como base información proveniente de levantamiento estructural de bancos (80% de los datos) y sondajes diamantinos orientados (20%), se encuentran definido 9 dominios estructurales en el yacimiento cuyos límites están definidos mayoritariamente por fallas importantes Figura 9.

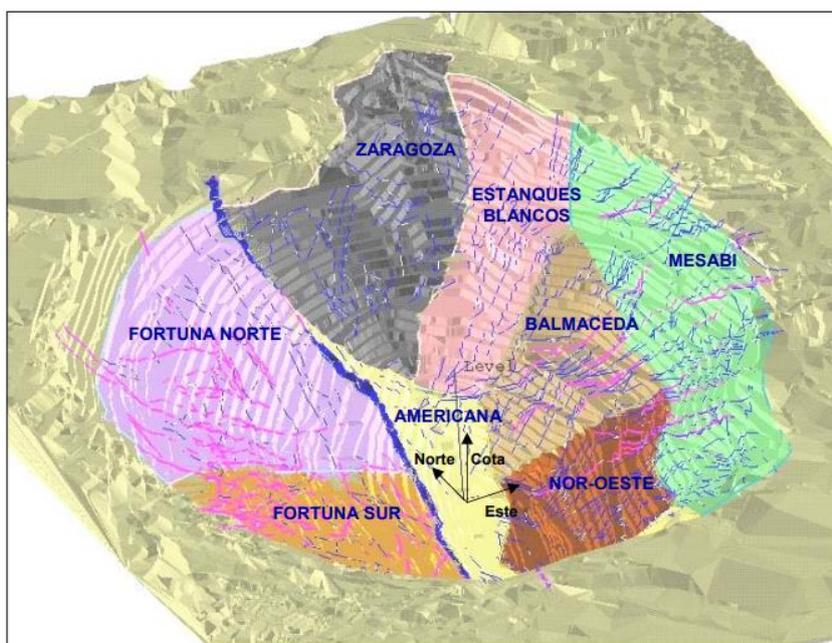


Figura 9. Distribución isométrica en superficie de los Dominios Estructurales Chuquicamata

Fuente: (Tomado del Modelo Geotécnico 2005 Dirección de Geotecnia).

Dominios Geotécnicos

Un dominio Geotécnico es el resultante de la superposición de una UGTB con un Dominio Estructural, su objetivo es caracterizar e identificar las condiciones naturales geológicas y geotécnicas potencialmente restrictivas a las construcción y desempeño operaciones de diseños mineros y civiles. En la tabla N° 1. Se muestra los dominios geotécnicos del plan de desarrollo minero de la Mina Chuquicamata Subterráneo.

Dominios Geotécnicos - Bloques de Plan Minero - PMCHS		
Dominios Geotécnicos	UGTB	Dominio Estructural
EBPEC	PEC	Estanques Blancos
EBPED	PEK	Estanques Blancos
ZAPEK	PEK	Zaragoza
ZANPES	PES	Zaragoza
ANPEK	PEK	Americana Norte
ANPES	PES	Americana Norte
ANQS	Q=S	Americana Norte
ANQMES	Q<S	Americana Norte
ACPEK	PEK	Americana Central
ACPES	PES	Americana Central
ACQS	Q=S	Americana Central
ACQMC	Q=C	Americana Central
ACQMES	Q<S	Americana Central
ASPEK	PEK	Americana Sur
ASPES	PES	Americana Sur
ASQIS	Q=S	Americana Sur
ASQMS	Q>S	Americana Sur
ASQMES	Q<S	Americana Sur
BAPEK	PEK	Balmaceda
BA PES	PES	Balmaceda
NO PES	PES	Noroeste

Tabla 1. Relación Dominio Geotécnico- UGTB - Dominio Estructural

Fuente: Estudio Geotecnia PMCHS.

Estos dominios, el área y funcionalidad de las galerías representan la base con la que se desarrolla la fortificación básica de los túneles y galerías del proyecto. Pudiendo ser esta

modificada en el desarrollo del mismo por los geólogos que en terreno monitorean y caracterizan el macizo rocoso desarrollando el mapeo de las frentes de avance utilizando la clasificación de Barton.

2.2.2 Caracterización del macizo rocoso Sistema Q de Barton.

Sistema desarrollado por Barton, Lín y Lunde en 1974, constituye un sistema de clasificación del macizo rocoso que permite establecer sistemas de sostenimiento de túneles y cavernas, el sistema Q está basado en la evaluación numérica de seis parámetros que definen el índice Q

Estos parámetros son:

- RQD
- Número de familias de juntas
- Rugosidad de la discontinuidad más favorable
- Grado de alteración o relleno en la discontinuidad más débil (más favorable)
- Presencias de agua (Flujo de agua)
- Estado de Tensiones

En el sistema Q el índice de calidad de la roca varía de 0.001 y 1000 en una escala logarítmica.

$$RMR = 9LnQ + 44$$

$$Q = \frac{RQD}{J} * \frac{Jr}{Ja} * \frac{Jw}{SRF}$$

Donde:

- R.Q.R. Índice de calidad de la roca

- Jn: Índice de diaclasado que indica el grado de fracturación
- Jr: r: Índice de que contempla la rugosidad, relleno y continuidad de las discontinuidades.
- Ja: Índice de alteración de las discontinuidades.
- Jw: Coeficiente reductor por la presencia de Agua.
- SRF: (Stress reducción factor) Coeficiente que tiene en cuenta la influencia del estado tensional sobre el macizo rocoso.

Desarrollando la evaluación de los parámetros utilizados, con apoyo de las tablas usadas en la clasificación del sistema Q y despejando la ecuación se tiene Q el cual representa una descripción del macizo rocoso, representado en la tabla N° 2

Q=	Description del macizo Rocoso	Clasificación del Macizo Rocoso RMR (%)
0.001 – 0.01	Excepcionalmente malo	0 – 3
0.01 – 0.1	Extremadamente malo	3 – 23
0.1 – 1	Muy malo	23 – 44
1 – 4	Malo	44 – 56
4 – 10	Medio	56 – 65
10 – 40	Bueno	65 – 77
40 – 100	Muy Bueno	77 – 85
100 – 400	Extremadamente Bueno	85 – 98
400 – 1000	Excepcionalmente Bueno	98 – 100

Tabla 2. Clasificación de Barton et al. (1974) de los macizos rocosos Tipos de macizos rocosos.

Este método representa una completa descripción de la masa rocosa, el cual permite a los geólogos y geomecánicos mapear las frentes de trabajo y cambiar el sostenimiento del túnel preestablecido en caso que sea necesario.

3. CICLO MINERO MINA CHUQUICAMATA SUBTERRÁNEA DESARROLLO HORIZONTAL DRILLING AND BLASTING.

3.1 Detalles De Secuencia De Excavación Con Método Drilling and Blasting

A continuación, se describen en detalle las varias etapas o fases de ejecución de la excavación por medio de perforación y voladura.

3.1.1 Perforación

La perforación se realiza con equipos electrohidráulicos de perforación tipo Jumbo de 3 y tres brazos, en el caso de Chuquicamata son equipos de última tecnología con perforadoras de última generación, de alta velocidad de penetración, que permite buena productividad, uno de los objetivos de contar con equipos de última generación es disminuir al mínimo la interface entre hombre y equipo de perforación por medio de un panel para simplificar la operación y dar seguridad a las personas. Estos equipos poseen un alto grado de automatización, los rendimientos estos equipos vienen acondicionados con perforadoras 22/38 que alcanzan un rendimiento promedio de 1,54 m x minuto. Este rendimiento depende también de las características de la roca que se esté perforado.

El equipo viene programado para perforar con agua a presión, la que se encarga de eliminar el detritus de la perforación y disminuir la Temperatura en la broca o bit de perforación, además, una vez finalizada la perforación envía un chorro de agua a presión que permite limpiar (barrer) la perforación completa de restos de material, por la importancia que tiene el recurso agua en la minería tecnificada estos equipos de última tecnología tienen aditamentos especiales que permiten reducir la cantidad de agua utilizada en la perforación, con la aplicación de aire comprimido autónomo del equipo, perforación en semi-humedo.

En cuanto a normas de seguridad para minería subterránea los equipos cuentan con sistema de extinción de incendios automáticos y manuales, además de una baja emisión de contaminantes, ruido y vibraciones.

Para desarrollar una productividad alta de avance en la excavación del túnel o galería el frente de avance debe estar siempre regular y perpendicular a la dirección de la excavación en progreso. Las perforaciones se deben realizar de acuerdo al diagrama de disparo o voladura desarrollado para cada frente, el paralelismo, inclinación, largo de perforación y limpieza de detritus en las perforaciones son factores clave en la eficiencia del avance y calidad de sección excavada entendiéndose por esto último las sobre excavaciones y sub excavaciones que se generen sobre el contorno del túnel.

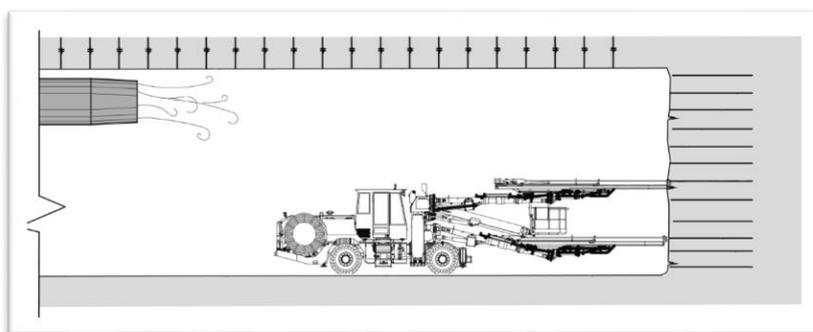


Figura 10. Esquema de perforación

Fuente: Astaldi

3.1.2 Carguío de Explosivos

Para el carguío de la frente se ocupará emulsión bombeable y emulsión encartuchada

- Carguío de Explosivos con emulsión encartuchada: esta se realiza 100% manual, con apoyo de equipo de levante con canastillo acondicionado. El proceso se inicia primando la carga lo cual consiste en unir los Tronex con los noneles “detonadores” y así crea el cebo o carga de fondo, En el primado se debe perforar el explosivo Tronex utilizará punzones de cobre o bronce esto con el fin de controlar el riesgo de interacción con corrientes estáticas, luego se distribuyen los números de los detonadores en la frente de avance previamente perforada según el diagrama de voladura, esta distribución se realiza de adentro hacia afuera, es decir de menor a

mayor con el fin de asegurar que la tronadura mantenga siempre una cara libre en el centro de la rainura). Una vez introducido el cebo en el fondo de la perforación se cargará con emulsión encartuchada o bombeable (proceso conocido como carga de columna), cargadas las perforaciones con explosivo, se taqueará la perforación con cartón humedecido o taco de greda. Posteriormente se distribuirá el cordón detonante de 5 gr en la frente, amarrado en forma de “M”, procediendo a fijar los acoples mecánicos de los detonadores con el cordón detonante de 5 gr/m, una vez amarrado se tomarán las dos puntas del cordón, donde se procederá a conectar los fulminantes de inicio del disparo con el cordón detonante y el cordón de la guía de inicio. Siempre se utilizarán 2 fulminantes y 2 guías de inicio por si falla una y así, de esta manera asegurar la tronadura.

- Carguío con Emulsión bombeable: el carguío de este explosivo se realiza con una unidad de bombeo de explosivo llamada UBT, este equipo está diseñado para fabricar el explosivo al momento del carguío y bombearlo en las perforaciones por medio de mangueras. Estos se encuentran equipados con un sistema de energía eléctrica independiente, que puede trabajar más de 12 horas continuas y cuenta con tres estanques para transportar los aditivos que conforma el explosivo de forma segregada, el primer contenedor almacena la emulsión base, también llamada matriz UG – 06, el segundo contenedor almacena un modificador de PH denominado N-17 y el tercer contenedor contiene un agente gasificante L-9 que define el grado de sensibilidad del explosivo (Enaex S.A., Manual de descripción del producto UBT 2014)



Figura 11 Fotos de Equipo UBT Empresa Enaex utilizados en primeras pruebas PMCHS

Fuente: autor.

El procedimiento de carguío con emulsión bombeable es el siguiente.

1. Se introduce el cebo al inicio de la perforación
2. Se introduce la manquera de carga de la emulsión junto con el cebo hasta el fondo del tiro.
3. El operador del equipo UBT ingresa las características del explosivo que desea tener para ese tiro de acuerdo a la funcionalidad del tiro (rainura, contorno, zapatera, corona o tiros auxiliares)
4. Ingresados los datos a computador del equipo e introducida el cebo en la perforación se bombea la emulsión de acuerdo a la cantidad calculada.
5. Con el fin de registrar las características de la emulsión cargada en la perforación el operador del equipo UBT debe tomar muestras cada 4 tiros cargados.

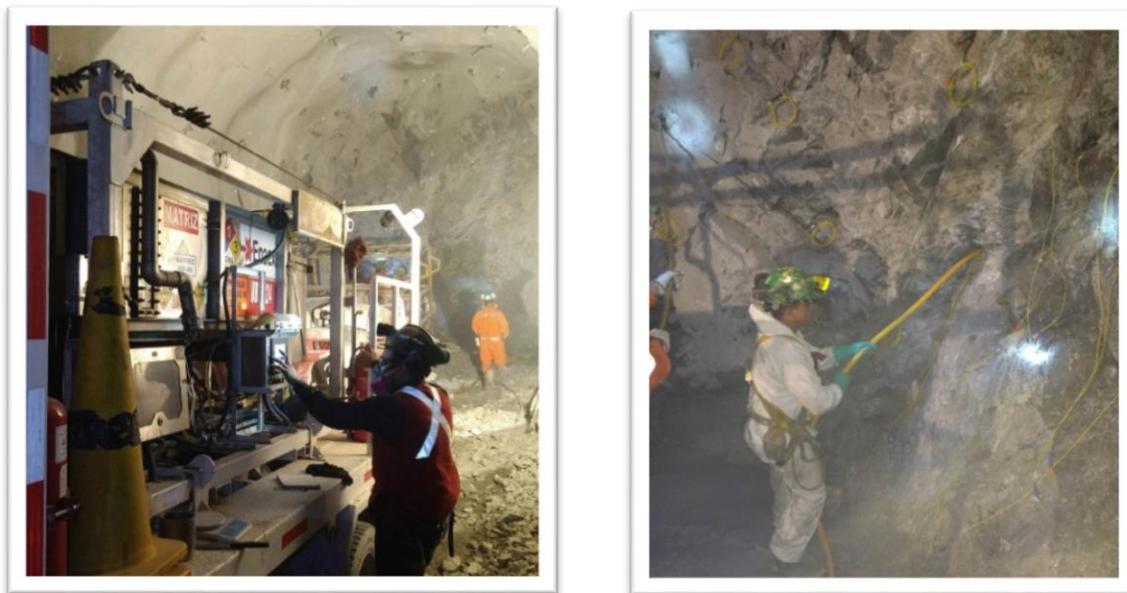


Figura 12 Fotos del Proceso de carguío con emisión bombeable

Fuente: autor

3.1.3 Evacuación

Se sacarán todos los equipos del área a tronar y se evacuará todo el personal, quedando solo dos personas (Capataz y minero) los cuales esperarán la orden de tronar por parte del Jefe de Turno, los cuales tendrán una camioneta a su disposición para la evacuación. El Jefe de Turno o Supervisor coordinará previamente el horario de tronadura con todo el personal involucrado, con otras empresas y otros turnos que se encuentren trabajando en el sector, antes de iniciar la tronadura se dará aviso radial de la evacuación y el supervisor designará personal para verificar que no quede ninguna persona en el área de peligro y segregar esta área con el fin que nadie ingrese a esta.

3.1.4 Tronadura

Una vez realizada la evacuación se debe apagar temporalmente el sistema de ventilación, luego de esto el supervisor de tronadura podrá proceder a dar la autorización para tronar.

Después de tronar, el sistema de ventilación deberá ser vuelto a encender para evacuar los humos, gases y polvo, y restablecer las condiciones ambientales seguras de trabajo

Transcurrido 30 minutos después de realizada la tronadura el supervisor puede ingresar a la frente con el fin de chequear los niveles de gases y realizará una primera inspección del área tronada para verificar el efecto del disparo. El deberá también inspeccionar el área para asegurar que no haya potenciales condiciones peligrosas en el frente tales como bloques de roca inestables.

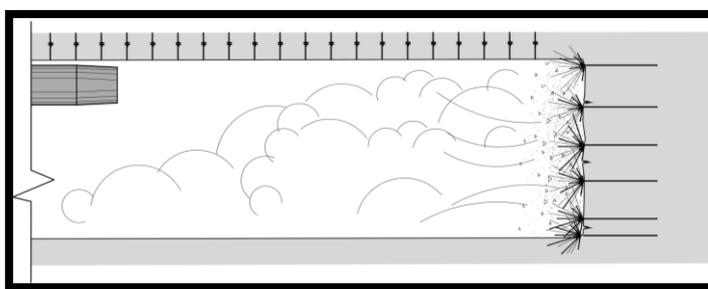


Figura 13 Esquema referencial Tronadura

Fuente: Astaldi

3.1.5 Limpieza de Frente y Acuñadura

Antes de comenzar el retiro del material se debe chequear la frente en búsqueda de bloques inestables y tiros quedados, si todo está bien se procede a regar el material con agua para evitar el polvo en suspensión y desprendimiento de gases y dar paso a la extracción de marina.

Siempre se acuñará el avance después de una tronadura, para desprender todo el material suelto que aún se mantenga suspendido en techo y cajas, material que presente riesgo inminente de desprendimiento y que pueda causar daño al personal, equipos, maquinarias e instalaciones.

La acuñadura se realiza en su mayor parte con sistema mecanizado (Equipo excavadora hidráulica de preferencia montada sobre, equipada con martillo hidráulico), para evitar el

contacto del personal con los lugares que representan peligro. Excepcionalmente se realizará acuñadura manual en secciones inferiores a 4 x 4 m, o en casos puntuales cuando se necesite

3.1.6 Evacuación de Marina

La marina (material excavado) será extrae con equipos LHD, y camiones bajo perfil de 30 o 60 tones (dependiendo del caso). Estos camiones de menor tamaño sacarán las marinas hasta un sector asignado dentro de la mina desde donde será cargada en los camiones de 60 tones, para ser sacada a superficie. El retiro de marina es una de las actividades más largas que afectan la duración total del ciclo de excavación. Desde el frente de excavación los camiones transportan el material excavado hacia el exterior de la Mina, al botadero temporal correspondiente.

3.1.7 Colocación de Shotcrete

También conocido como hormigón proyectado por vía húmeda, este tipo de fortificación se aplica con el fin de sellar la roca evitando la meteorización de la misma y para dar un soporte estructural a las nuevas cargas que se generan producto de la excavación del macizo rocos, para la aplicación de este se utiliza una bomba de hormigón proyectado robotizada, para garantizar una adecuada fijación se debe tener el frente acuñado y lavado con chorros de aire y agua a presión esto se realiza con el fin de remover el polvo, suciedad y todo lo que impida una adecuada adherencia de la capa de hormigón. El shotcrete se proyectará en capas sucesivas hasta lograr el espesor solicitado según plano. En su aplicación se recomienda tener especial cuidado a la continuidad del chorro impulsado evitando la intermitencia.

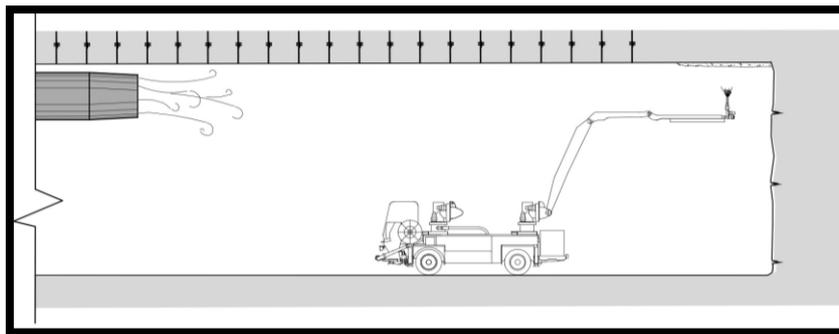


Figura 14. Esquema referencial Proyección de Shotcrete

Fuete: Astaldi

3.1.8 Instalación de Pernos.

La perforación de los pernos se efectúa con el equipo jumbo y de acuerdo a las especificaciones de los planos y recomendaciones del fabricante. El acero de los pernos es de calidad 630-420H, los pernos son del tipo helicoidal. En mayor parte la fijación de los pernos a la roca se realizará con lechada de cemento, de acuerdo a la norma, y en los casos donde se requiera apurar el ciclo de trabajo debido a que no existen frentes simultáneas se asegura los pernos con resina líquida, este producto se caracteriza por su rápido fraguado, prácticamente instantáneo y su modo de aplicación es similar al de la lechada de cemento; se utiliza una bomba con una manguera la que se introduce hasta el fondo de la perforación y se va retirando a medida que se va llenando la perforación con resina, se llena en promedio 2/3 de la perforación ya que al introducir el perno se llena por rebalse el resto. La operación la realiza el equipo de minería apoyado por equipo manipulador telescópico con canastillo acondicionado. Terminado el resinado de la perforación, de inmediato se introducirá manualmente el perno helicoidal que quedará fijo en esta posición. La metodología de lechada de cemento es prácticamente la misma, con la diferencia que el fraguado de la lechada es más lento, el perno se lecha a columna completa. Finalmente se colocará la planchuela y tuerca, la tuerca del perno será ajustada con llave de torque calibrada.

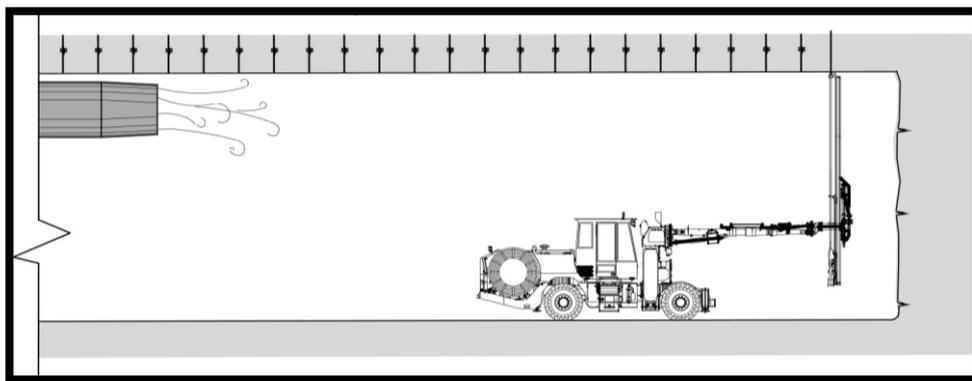


Figura 15. Esquema referencial

Fuente: Empresa Astaldi

4. CARACTERÍSTICAS DE LOS EXPLOSIVOS PROPUESTOS PARA LOS DESARROLLOS HORIZONTALES.

Los explosivos y agentes explosivos convencionales desacuerdo a sus características facilitan la selección de los mismos de acuerdo al uso y condiciones en los que se desean ocupar, entre las características más importantes de los explosivos se encuentran la potencia, la velocidad de detonación, densidad, presión de detonación, resistencia a agua y sensibilidad. Actualmente existe una gran variedad de explosivos a continuación se presentan los explosivos utilizados en el proyecto, actualmente proporcionados por la empresa Enaex.

4.1 Emulsión Encartuchada CN

Emulsión explosiva envasada en diámetros pequeños, sensible a fulmínate N° 8 diseñada para un amplio rango de aplicaciones en voladuras (excepto minas de carbón).

Densidad: $1.05 \pm 4\%$ g/cc

Velocidad de detonación m/s: 4600 ± 600

Energía: 3940 KJ/kg



Figura 16. Emulsión Encartuchada CN

Fuete: Ficha Técnica Emulsiones Enaex

4.2 Tronex Pluss:

Dinamita tipo semigelatina, especialmente diseñada para trabajos de superficie y faenas subterráneas (excepto minas de carbón), en roca sin agua. Esta semigelatina posee una alta velocidad de detonación, incluso en condiciones de confinamiento deficiente, por lo que tiene especial aplicación como carga principal en tunelería y desarrollo de galerías y como iniciador de Anfo en diámetros pequeños.

Velocidad de detonación m/s: 4000

Energía: 4908 KJ/kg



Figura 17. Tronex Plus catalogo dinamitas Enaex

Fuente Catalogo dinamitas Enaex

4.3 APD Cilíndrico

Explosivo usado para iniciar voladuras de roca en minería a cielo abierto y subterránea, su envase plástico le permite mejores propiedades impermeables, ideal para condiciones de terreno severas, no se congela a bajas temperaturas y no exuda peligrosos compuestos explosivos.

Velocidad de detonación: 7200 + 3% m/s

Energía: 5598 kJ /kg.



Figura 18 APD Cilindrico

Fuente: Catalogo Iniciadores APD Booster Enaex

4.4 Softron

Dinamita de bajo poder rompedor, especialmente diseñado para trabajos de voladura controlada donde es necesario obtener un perímetro parejo con un mínimo de sobre-excavación, Permite minimizar el fracturamiento de la roca, más allá de la línea de contorno.

Velocidad de detonación: 3000 m/s

Energía: 4480 KJ/kg.



Figura 19.Softron

Fuente: Ficha Técnica producto Dinamitas Enaex

4.5 Emulsión Bombeable PDBG

Es un agente de voladura a granel para perforaciones de diámetros pequeños, este producto es bombeado de forma mecanizada con equipos móviles del tipo UBT su almacenamiento puede ser en camiones cisternas, en silos o estanques ubicados en la faena.

Densidad 1.05 -1.15 g/cc

Velocidad de detonación: 3600 – 4000 m/s

Energía: 2877 KJ /Kg



Figura 20. Estanques de almacenamiento Emulsión PDBG Enaex

Fuente: (Foto tomada por el autor)

5. DIAGRAMAS DE DISPARO SEGÚN TIPO DE EXPLOSIVO PARA SECCIONES TÍPICAS.

5.1 Patrones De Perforación Y Tronadura

Los patrones de perforación y tronadura se diseñan diferenciados con referencia a la calidad de roca, asociado al tipo de fortificación y sección. En la Tabla 3 se muestran los principales parámetros de los diagramas tipo utilizados en el proyecto para emulsión CN.

Código	BASE	ALTURA	HASTIAL	AREA	N° PERFORACIONES	CONSUMO ESPECIFICO Kg/m3
D.D.1	4,6	4,3	3,4	18,57	50	2,15
D.D.2	5	5,5	4	25,34	62	1,96
D.D.3	6,5	5	4	30,41	74	2,00
D.D.4	8,66	5,66	0	45,78	80	1,33
D.D.5	5,5	5,5	4	27,5	66	1,96
D.D.6	4	4	3	14,8	47	2,53
D.D.7	4,85	6,9	4,55	30,94	67	1,72
D.D.8	4,85	3,9	1,9	16,49	45	2,19
D.D.9	4	5	3,5	18,41	52	2,20
D.D.10	4,5	4,5	2,25	18,08	49	2,19
D.D.11	7	7	3,5	43,74	86	1,56
D.D.12	4,5	5	3	20,36	55	2,06
D.D.13	6,5	6,5	3,2	37,72	82	1,74
D.D.14	7,1	3,55	2,35	22,87	58	2,13
D.D.15	4,5	4	3	16,41	47	2,24
D.D.16	8,7	5,5	4	45,29	85	1,57
D.D.17	7,5	7,5	3,35	50,21	88	1,33
D.D.18	5,7	5,1	2,5	26,65	58	1,76
D.D.19	4,9	4,7	2	20,45	50	1,95
D.D.20	7,1	5,56	4	35,75	76	1,76
D.D.21	9,3	6,2	4,3	47,17	92	1,55
D.D.22	4	4	2	14,8	46	2,52
D.D.23	9,26	5,96	4,6	45,81	91	1,55
D.D.24	10,3	7,65	0	66,58	112	1,43
D.D.25	5	5	2,5	22,32	55	1,96
D.D.26	3,6	3,6	1,8	11,56	43	2,94
D.D.27	6,1	6,05	4	33,46	68	1,63
D.D.28	4,5	4,5	3,8	19,2	51	2,05
D.D.29	5,5	5,5	2,75	27,28	67	2,02
D.D.30	5	6,5	5,3	30,71	68	1,77
D.D.31	7,5	4,2	2,65	26,75	60	1,84
D.D.32	8,74	7,32	5	55,25	100	1,54
D.D.33	5,7	5,85	4	29,19	68	1,86
D.D.34	7,5	6,2	5,1	45,98	86	1,57
D.D.35	5,9	5,7	2,75	29,45	67	1,81
D.D.36	7,1	3,7	2,65	24,26	60	2,02
D.D.37	7	4,55	2,5	28,09	66	1,92
D.D.38	4,1	3,7	2,6	13,8	43	2,26
D.D.39	6,1	5,5	4	28,81	67	1,91
D.D.40	6,2	7,6	4	43	86	1,70
D.D.41	11,87	5,86	0	57,4	102	1,52

D.D.42	8,2	6,1	4	44,93	87	1,61
D.D.43	11,6	4,7	2,5	46,8	85	1,52
D.D.44	8,96	5,81	0	43,66	86	1,65
D.D.45	3,6	6,5	6	23,3	63	2,10
D.D.46	9,66	5,6	0	45,55	85	1,45
D.D.47	8,2	8	3,7	63,92	97	1,24
D.D.48	4	6	4	22,28	59	2,08
D.D.49	8,2	5	6,5	37,92	74	1,50
D.D.50	4,5	6,5	4	27,72	62	1,73

Tabla 3. Tabla resumen Diagramas de voladura

Fuente: Autor

En la gráfica N°2 se muestra la relación que existe entre consumo específico dado en Kg/m³ y el área o sección a excavar donde se demuestra que para un área menor de la sección excavada el consumo específico de explosivo es más alto.

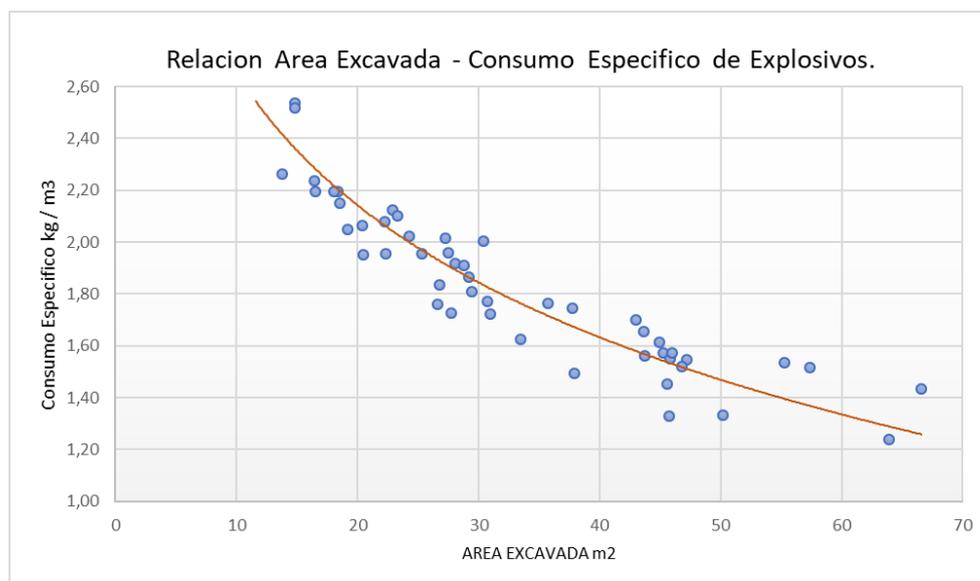


Gráfico 2. Área excavada – Consumo Especifico de Explosivo

Fuente: Autor

5.2 Diagramas de Disparo Correa Nivel 1

5.2.1 Diagrama de Disparo Correa Nivel 1 Emulsión Bombeable PDBG

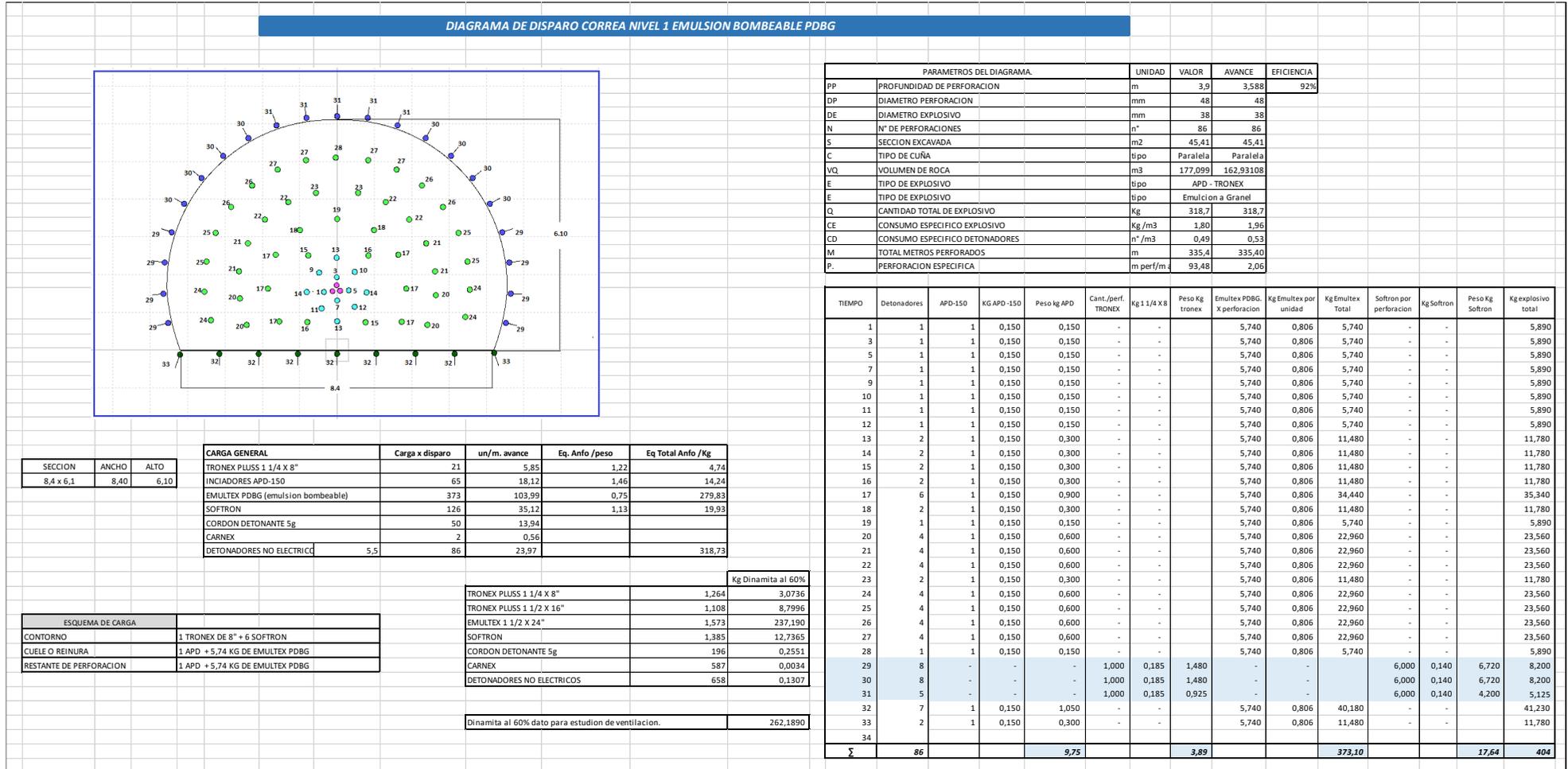


Figura 21. Diagrama de Disparo Correa Nivel 1 Emulsion Bombeable

Fuente: Autor

5.2.2 Diagrama de Disparo Correa Nivel 1 Emulsión Encartuchada CN.

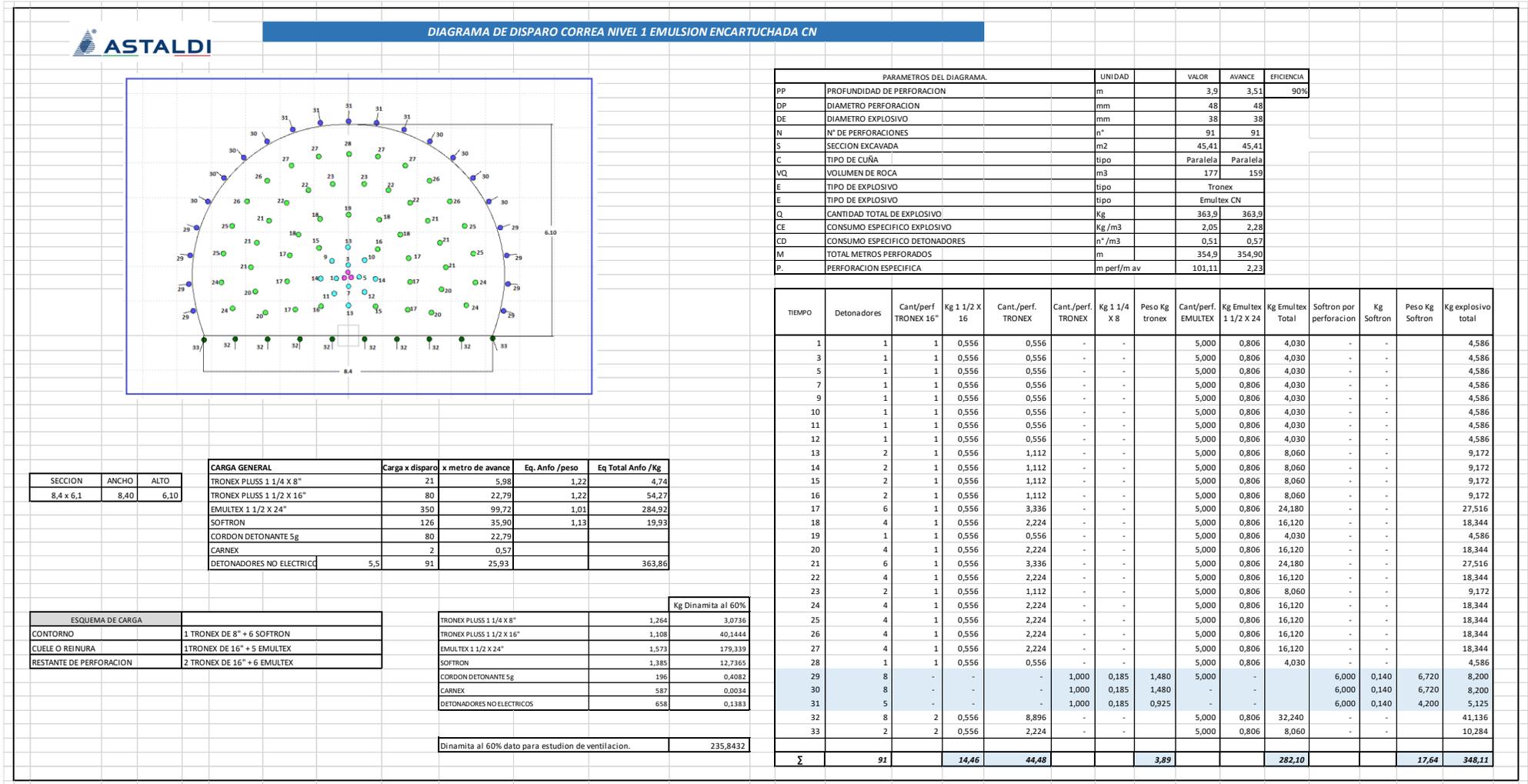


Figura 22. Diagrama de Disparo Correa Nivel 1 Emulsión Encartuchada

Fuente: Autor

6. TIEMPO EFECTIVO DE TRABAJO

Como parte fundamental del análisis económico se debe identificar cual es el tiempo efectivo de trabajo base el cual establece el tiempo efectivo que el personal está trabajando en las frentes de avance.

Actividad que descuenta tiempo efectivo de trabajo en el turno	Duración	Horario Inicio	Horario de Término
	(horas:min)	(horas:min)	(horas:min)
Colación en Campamento	0:40	6:20	6:55
Traslado Campamento RT - Garita Control Acceso Sur	0:35	6:55	7:00
Garita Control Acceso Sur - IIFF Superficie (casa de cambio)	0:05	7:00	7:15
Cambio de Ropa	0:15	7:15	7:20
Traslado IIFF Superficie (casa de cambio) - Garita Control Acceso	0:05	7:20	7:30
Control de personal PMCHS	0:10	7:30	7:35
Traslado Garita Control Acceso Sur - Puerta 4 (división Chuquicamata)	0:05	7:35	7:45
Control Puerta 4 (división Chuquicamata)	0:10	7:45	8:15
Traslado Puerta 4 - Control Ingreso Mina Rajo	0:30	8:15	8:25
Control ingreso Rajo Mina Chuquicamata.	0:10	8:25	8:45
Traslado Control Ingreso Mina Rajo - Portal M3	0:20	8:45	8:55
Control Biométrico Portal M3	0:10	8:55	9:10
Traslado M3 - Barrio Industrial Chancado Interior Mina	0:15	9:10	9:15
Traslado de Barrio Industrial Chancado Interior Mina - Frentes de Trabajo.	0:05	9:15	9:25
Charla de seguridad	0:10	9:25	12:25
Tiempo de Ejecución de Trabajos	3:00	12:25	12:40
Traslado a Comedor desde frente de trabajo	0:15	12:40	13:40
Almuerzo de media Jornada	1:00	13:40	13:55
Traslado Comedor a frente de trabajo	0:15	13:55	17:10
Tiempo de Ejecución de Trabajos	3:15	17:10	17:30
Evacuaciones por tronaduras	0:20	17:30	17:35
Entrega de Turno	0:05	17:35	17:55
Traslado Portal M3 - Control Acceso Mina Rajo	0:20	17:55	18:05
Control Salida Rajo Mina Chuquicamata.	0:10	18:05	18:35
Traslado Acceso Mina Rajo - Puerta 4	0:30	18:35	18:55
Control Puerta 4	0:20	18:55	19:00
Traslado Puerta 4 - Garita Control Acceso Sur	0:05	19:00	19:10
Control Garita Acceso Sur	0:10	19:10	19:15
Traslado Garita Acceso Sur - IIFF Superficie (casa de cambio).	0:05	19:15	19:30
Cambio de Ropa	0:15	19:30	19:35
Traslado IIFF Superficie (casa de cambio) - Traslado Garita Acceso Sur	0:05	19:35	19:40
Control Garita Acceso Sur	0:05	19:40	20:15
Traslado Garita Control Acceso Sur - Campamento RT.	0:35	20:15	6:20
HORAS EFECTIVAS DE TRABAJO	6:15	12:00	

Tabla 4. Tiempo Efectivo de Trabajo

Fuente: autor

7. COMPARATIVO DE EFICIENCIA DE AVANCE POR TIPO DE EXPLOSIVO.

Esta comparativo se desarrolla tomando las mediciones realizadas en terreno por el departamento de Topografía, y los datos consultivos del consumo de explosivos mensual.

La recolección de datos Topográficos está dada por la solicitud de Terreno. Los cuales registran las actividades de avance cuando se ha desarrollado la Acuñaadura o de la frente, previo al lanzamiento de Shotcrete, estos datos obtenidos en terreno por el topógrafo se plasman en un informe topográfico, en el cual viene indicado mediante un código, el nombre del topógrafo, fecha y tipo de levantamiento, el cual constituye el nombre que le dio el topógrafo en el instrumento, también se indica en este documento, nombre y cotas del punto estación, coordenadas y azimut del punto visado, plano de referencia, croquis explicativo y punto de control que permite chequear la información de terreno. Dicha información se va recopilando en una Tabla de avance.

Como se ha mencionado anteriormente la muestra para desarrollar el análisis comparativo es la Galería de Correa de Nivel 1, la cual representa un largo total del 7500 m y hace parte fundamental a nivel industrial de desarrollo del proyecto. Ya que en esta se emplazará parte importante de la correa de extracción de material que sacará el material hacia las plantas de superficie. El rango de datos que se tomó representa los meses de Septiembre Octubre y noviembre del año 2017

En las tablas 6, 7 y 8 se muestra la integración de los siguientes datos

- PK avance - Tabla de avance (Topográficos)
- Tipo de Explosivo - consuntivo del consumo de explosivos (Costos).
- Q de Barton (Geomecánicos).

SEPTIEMBRE Tunel	TIPO DE EXPLOSIVO	P.K. HORIZONTAL INICIO INICIAL	P.K. HORIZONTAL FIN INICIAL	AVANCE (m)	UGTR	Q BARTON
Correa de Nivel 1	PDBG	86,54	90,28	3,75	GES	0,54
Correa de Nivel 1	PDBG	90,28	94,24	3,95	GES	0,50
Correa de Nivel 1	PDBG	94,24	98,03	3,79	GES	0,61
Correa de Nivel 1	PDBG	98,03	101,58	3,55	GES	0,65
Correa de Nivel 1	CN	101,58	105,16	3,58	GES	0,46
Correa de Nivel 1	CN	105,16	109,09	3,93	GES	0,42
Correa de Nivel 1	PDBG	109,09	112,69	3,59	GES	0,64
Correa de Nivel 1	PDBG	112,69	116,57	3,88	GES	1,12
Correa de Nivel 1	PDBG	116,57	120,28	3,71	GES	0,48
Correa de Nivel 1	PDBG	120,28	123,82	3,54	GES	0,54
Correa de Nivel 1	PDBG	123,82	127,94	4,12	GES	0,81

Tabla 5. Avance Correa de Nivel Septiembre

Fuente: autor

OCTUBRE	TIPO DE EXPLOSIVO	P.K. HORIZONTAL INICIO INICIAL	P.K. HORIZONTAL FIN INICIAL	AVANCE (m)	UGTR	Q BARTON
Correa de Nivel 1	CN	146,26	149,46	3,21	GES	0,58
Correa de Nivel 1	CN	149,46	152,98	3,52	GES	0,55
Correa de Nivel 1	PDBG	152,98	156,78	3,80	GES	0,57
Correa de Nivel 1	PDBG	156,78	160,72	3,94	GES	0,54
Correa de Nivel 1	PDBG	160,72	163,85	3,13	GES	0,58
Correa de Nivel 1	PDBG	163,85	166,61	2,75	GES	0,64
Correa de Nivel 1	PDBG	166,61	169,75	3,14	GES	0,58
Correa de Nivel 1	PDBG	169,75	172,56	2,81	GES	0,56
Correa de Nivel 1	CN	172,56	175,50	2,94	GES	0,83
Correa de Nivel 1	CN	175,50	178,39	2,89	GES	0,57
Correa de Nivel 1	CN	178,39	181,09	2,70	GES	0,56
Correa de Nivel 1	PDBG	181,09	184,38	3,29	GES	0,49
Correa de Nivel 1	CN	184,38	187,42	3,04	GES	0,56
Correa de Nivel 1	CN	187,42	190,74	3,32	GES	0,92
Correa de Nivel 1	PDBG	190,74	194,09	3,35	GES	0,83
Correa de Nivel 1	PDBG	194,09	197,54	3,45	GES	0,61
Correa de Nivel 1	PDBG	197,54	201,04	3,50	GES	0,54
Correa de Nivel 1	PDBG	201,04	204,58	3,54	GES	0,51
Correa de Nivel 1	PDBG	204,58	208,30	3,72	GES	0,57
Correa de Nivel 1	PDBG	208,30	211,45	3,14	GES	0,56
Correa de Nivel 1	PDBG	211,45	214,80	3,35	GES	0,80

Tabla 6. Avance Correa de Nivel Octubre

Fuente: autor

NOVIEMBRE	TIPO DE EXPLOSIVO	P.K. HORIZONTAL INICIO	P.K. HORIZONTAL FIN	AVANCE	UGTR	Q BARTON
Túnel		INICIAL	INICIAL	(m)		
Correa de Nivel 1	PDBG	214,80	218,74	3,94	GES	0,61
Correa de Nivel 1	PDBG	218,74	222,31	3,57	GES	0,50
Correa de Nivel 1	PDBG	222,31	225,56	3,25	GES	0,46
Correa de Nivel 1	PDBG	225,56	229,08	3,52	GES	0,46
Correa de Nivel 1	PDBG	229,08	232,02	2,93	GES	0,42
Correa de Nivel 1	PDBG	232,02	234,86	2,85	GES	0,50
Correa de Nivel 1	PDBG	234,86	237,48	2,62	GES	0,51
Correa de Nivel 1	CN	237,48	240,32	2,84	GES	0,57
Correa de Nivel 1	CN	240,32	243,19	2,87	GES	0,58
Correa de Nivel 1	CN	243,19	246,36	3,17	GES	0,62
Correa de Nivel 1	PDBG	246,36	249,61	3,25	GES	0,48
Correa de Nivel 1	CN	249,61	252,78	3,17	GES	0,58
Correa de Nivel 1	PDBG	252,78	255,68	2,90	GES	0,54
Correa de Nivel 1	PDBG	255,68	259,34	3,66	GES	0,50
Correa de Nivel 1	PDBG	259,34	262,11	2,77	GES	0,44
Correa de Nivel 1	PDBG	262,11	265,23	3,12	GES	0,50
Correa de Nivel 1	PDBG	265,23	268,72	3,49	GES	0,42
Correa de Nivel 1	CN	268,72	272,29	3,57	GES	0,50
Correa de Nivel 1	PDBG	218,74	222,31	3,57	GES	0,50
Correa de Nivel 1	PDBG	275,50	279,49	3,99	GES	0,42
Correa de Nivel 1	PDBG	279,49	283,10	3,61	GES	0,58
Correa de Nivel 1	PDBG	283,10	285,88	2,78	GES	0,60
Correa de Nivel 1	PDBG	285,88	288,76	2,88	GES	0,64
Correa de Nivel 1	PDBG	288,76	291,61	2,85	GES	0,58
Correa de Nivel 1	PDBG	291,61	294,60	2,98	GES	0,50
Correa de Nivel 1	PDBG	294,60	297,14	2,54	GES	0,46
Correa de Nivel 1	PDBG	297,14	300,57	3,44	GES	0,41
Correa de Nivel 1	PDBG	300,57	304,43	3,86	GES	0,61
Correa de Nivel 1	PDBG	304,43	308,16	3,73	GES	0,67

Tabla 7. Avance Correa de Nivel Noviembre.

Fuente: autor

Con el fin de realizar un comparacion congruente con respecto a la geomecanica presentada en el desarrollo de el tunel y teniendo en cuenta que en en los meses evaluados el tramo de tunel siempre estuvo definido bajo la misma unidad geotecnica basica GES (Granodiorita Elena Sur) se ha tomado como referencia un rango en el Q de Barton de 0.4 a 0.6. Los datos fuera de este rango han sido identificados en las tablas anteriores y no haran parta de los analisis de comparacion desarrollados.

PROMEDIO PONDERADO LARGO LINEA DE AVANCE POR TIPO DE EXPLOSIVO			
TIPO DE EXPLOSIVO	Mes	Numero de Avances	Promedio Avance Mes
PDBG	Septiembre	6	3,74
PDBG	Octubre	11	3,40
PDBG	Noviembre	21	3,27
Promedio Ponderado Avance Emulsión Bombeable PDBG			3,36
CN	Septiembre	2	3,76
CN	Octubre	5	3,07
CN	Noviembre	3	3,09
Promedio Ponderado Avance Emulsión Bombeable PDBG			3,21

Tabla 8. Promedio de avances.

Fuente: autor

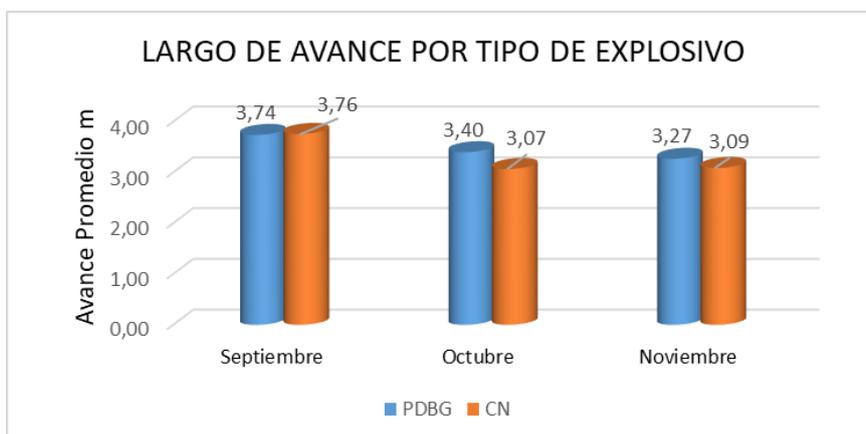


Gráfico 3. Largo de Avance por Tipo de Explosivo Mes.

Fuente: autor

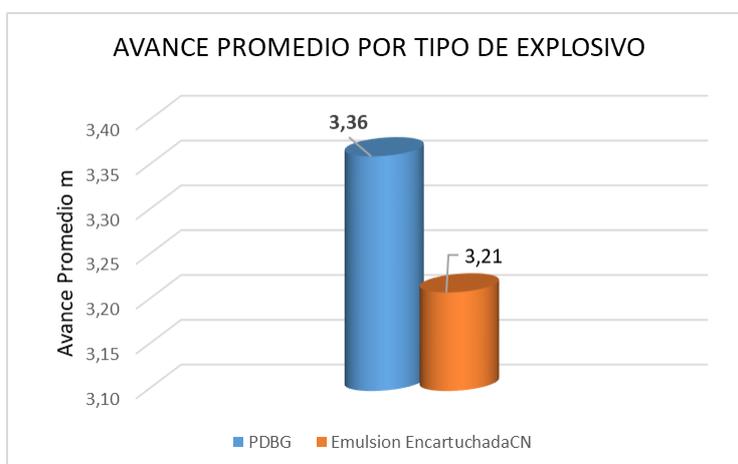


Gráfico 4. Largo de disparo efectivo por tipo de Explosivo.

Fuente: autor

8. COMPARATIVO DE SOBRE EXCAVACIONES POR TIPO DE EXPLOSIVO.

Esta comparativo se desarrolla tomando las mediciones realizadas en terreno por el departamento de Topografía concernientes a los controles transversales de las galerías y los datos consultivos del consumo de explosivos mensual.

La recolección de estos datos topográficos por procedimiento se realiza en una malla de puntos trasversal sobre el perímetro no inferior a 18 puntos y sobre el eje de avance cada metro, dicha información se va recopilando en una Tabla de controles transversales.

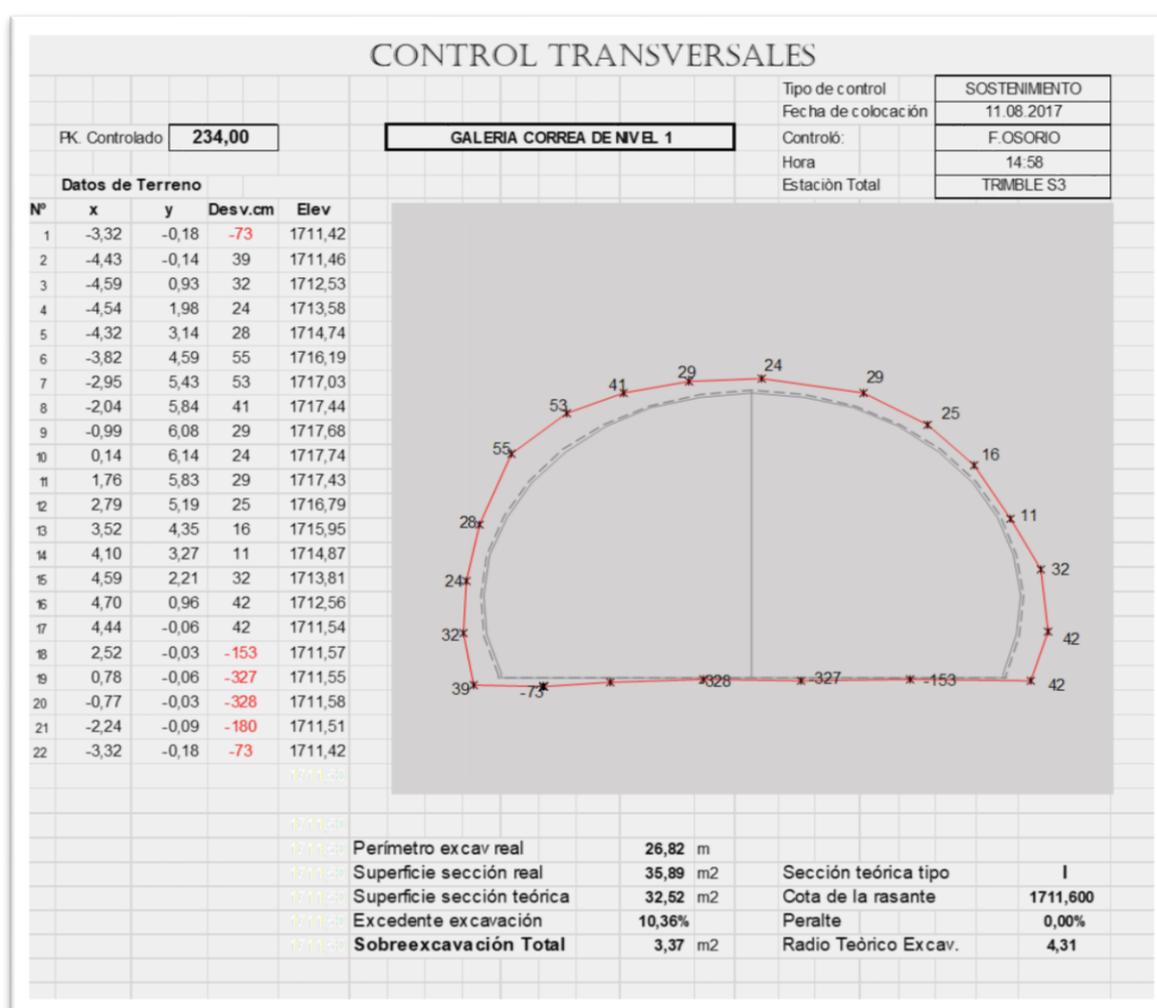


Figura 23. Muestra esquema de sobreexcavación datos de terreno.

Fuente: Astaldi

Para desarrollar el comparativo de estos datos se hace necesario identificar, calcular y asociar la sobre excavación a cada avance, como resultado de esta integración se tienen las tablas 12, 13 y 14

SEPTIEMBRE	TIPO DE EXPLOSIVO CN	AVANCE (m)	UGTR	Q BARTON	Volumen Teórico Excavado por Avance	Volumen Real Excavado por Avance	Sobre- Excavación por Avance
Correa Nivel 1	PDBG	3,75	GES	0,54	121,88	142,26	17%
Correa Nivel 1	PDBG	3,95	GES	0,50	128,58	164,65	28%
Correa Nivel 1	PDBG	3,79	GES	0,61	123,25	160,01	30%
Correa Nivel 1	PDBG	3,55	GES	0,65	115,54	140,65	22%
Correa Nivel 1	CN	3,58	GES	0,46	116,39	131,94	13%
Correa Nivel 1	CN	3,93	GES	0,42	127,87	158,61	24%
Correa Nivel 1	PDBG	3,59	GES	0,64	116,88	152,99	31%
Correa Nivel 1	PDBG	3,88	GES	1,12	126,31	158,50	25%
Correa Nivel 1	PDBG	3,71	GES	0,48	120,49	136,28	13%
Correa Nivel 1	PDBG	3,54	GES	0,54	115,28	129,48	12%
Correa Nivel 1	PDBG	4,12	GES	0,81	133,85	146,89	10%

Tabla 9. Tabla Integral tipo de Explosivo- Sobreexcavacion por avance Septiembre

Fuente: Astaldi

OCTUBRE	TIPO DE EXPLOSIVO	AVANCE (m)	UGTR	Q BARTON	Volumen Teórico Excavado por Avance	Volumen Real Excavado por Avance	Sobre- Excavación por Avance
Correa Nivel 1	CN	3,21	GES	0,58	104,26	118,42	14%
Correa Nivel 1	CN	3,52	GES	0,55	114,31	135,75	19%
Correa Nivel 1	PDBG	3,80	GES	0,57	123,61	149,87	21%
Correa Nivel 1	PDBG	3,94	GES	0,54	128,19	156,71	22%
Correa Nivel 1	PDBG	3,13	GES	0,58	101,79	118,95	17%
Correa Nivel 1	PDBG	2,75	GES	0,64	89,56	97,65	9%
Correa Nivel 1	PDBG	3,14	GES	0,58	102,15	118,56	16%
Correa Nivel 1	PDBG	2,81	GES	0,56	91,45	108,92	19%
Correa Nivel 1	CN	2,94	GES	0,83	95,64	106,37	11%
Correa Nivel 1	CN	2,89	GES	0,57	93,89	103,95	11%
Correa Nivel 1	CN	2,70	GES	0,56	87,90	99,29	13%
Correa Nivel 1	PDBG	3,29	GES	0,49	107,02	117,99	10%
Correa Nivel 1	CN	3,04	GES	0,56	98,89	111,35	13%
Correa Nivel 1	CN	3,32	GES	0,92	107,90	130,60	21%
Correa Nivel 1	PDBG	3,35	GES	0,83	108,78	129,57	19%
Correa Nivel 1	PDBG	3,45	GES	0,61	112,29	137,97	23%
Correa Nivel 1	PDBG	3,50	GES	0,54	113,79	135,71	19%
Correa Nivel 1	PDBG	3,54	GES	0,51	115,15	129,28	12%
Correa Nivel 1	PDBG	3,72	GES	0,57	121,10	131,94	9%
Correa Nivel 1	PDBG	3,14	GES	0,56	102,21	109,63	7%
Correa Nivel 1	PDBG	3,35	GES	0,8	109,07	127,04	16%

Tabla 10. Tabla Integral tipo de Explosivo- Sobreexcavacion por avance Octubre

Fuente: Astaldi

NOVIEMBRE	TIPO DE EXPLOSIVO	AVANCE (m)	UGTR	Q BARTON	Volumen Teorico Excavado por Avance	Volumen Real Excavado por Avance	Sobre- Excavacion por Avance
Correa Nivel 1	PDBG	3,94	GES	0,61	128,29	146,65	14%
Correa Nivel 1	PDBG	3,57	GES	0,5	116,03	123,39	6%
Correa Nivel 1	PDBG	3,25	GES	0,46	105,66	118,76	12%
Correa Nivel 1	PDBG	3,52	GES	0,46	114,57	134,20	17%
Correa Nivel 1	PDBG	2,93	GES	0,42	95,32	112,90	18%
Correa Nivel 1	PDBG	2,85	GES	0,5	92,52	103,11	11%
Correa Nivel 1	PDBG	2,62	GES	0,51	85,07	90,30	6%
Correa Nivel 1	CN	2,84	GES	0,57	92,39	97,46	5%
Correa Nivel 1	CN	2,87	GES	0,58	93,43	98,96	6%
Correa Nivel 1	CN	3,17	GES	0,62	103,22	109,63	6%
Correa Nivel 1	PDBG	3,25	GES	0,48	105,53	116,87	11%
Correa Nivel 1	CN	3,17	GES	0,58	103,12	133,08	29%
Correa Nivel 1	PDBG	2,90	GES	0,54	94,34	112,39	19%
Correa Nivel 1	PDBG	3,66	GES	0,5	118,93	127,59	7%
Correa Nivel 1	PDBG	2,77	GES	0,44	90,24	102,70	14%
Correa Nivel 1	PDBG	3,12	GES	0,5	101,46	120,13	18%
Correa Nivel 1	PDBG	3,49	GES	0,42	113,49	136,86	21%
Correa Nivel 1	CN	3,57	GES	0,5	116,13	137,61	18%
Correa Nivel 1	PDBG	3,57	GES	0,5	116,03	123,39	6%
Correa Nivel 1	PDBG	3,99	GES	0,42	129,72	143,26	10%
Correa Nivel 1	PDBG	3,61	GES	0,58	117,23	129,87	11%
Correa Nivel 1	PDBG	2,78	GES	0,6	90,57	110,03	21%
Correa Nivel 1	PDBG	2,88	GES	0,64	93,79	120,23	28%
Correa Nivel 1	PDBG	2,85	GES	0,58	92,65	108,53	17%
Correa Nivel 1	PDBG	2,98	GES	0,5	96,97	104,68	8%
Correa Nivel 1	PDBG	2,54	GES	0,46	82,63	91,18	10%
Correa Nivel 1	PDBG	3,44	GES	0,41	111,77	130,87	17%
Correa Nivel 1	PDBG	3,86	GES	0,61	125,36	154,27	23%
Correa Nivel 1	PDBG	3,734	GES	0,67	121,43	140,73	16%

Tabla 11. Tabla Integral tipo de Explosivo- Sobreexcavacion por avance Noviembre

Fuente: Astaldi

PROMEDIO PONDERADO SOBRE-EXCAVACION POR TIPO DE EXPLOSIVO		
TIPO DE EXPLOSIVO	Mes	Porcentaje de Sobre Excavación
PDBG	Septiembre	18%
PDBG	Octubre	15%
PDBG	Noviembre	13%
Promedio Ponderado Avance Emulsión Bombeable PDBG		14,2%
CN	Septiembre	19%
CN	Octubre	12%
CN	Noviembre	10%
Promedio Ponderado Avance Emulsión Bombeable PDBG		13,6%

Tabla 12. Tabla resumen sobre-excavacion por tipo Explosivo

Fuente: autor

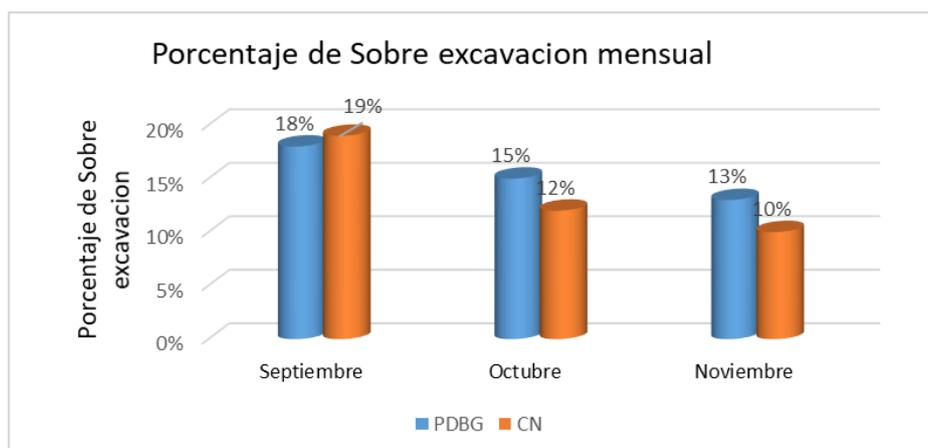


Gráfico 5.. Porcentaje de sobre-excavación – mes – Tipo de Explosivo.

Fuente: autor

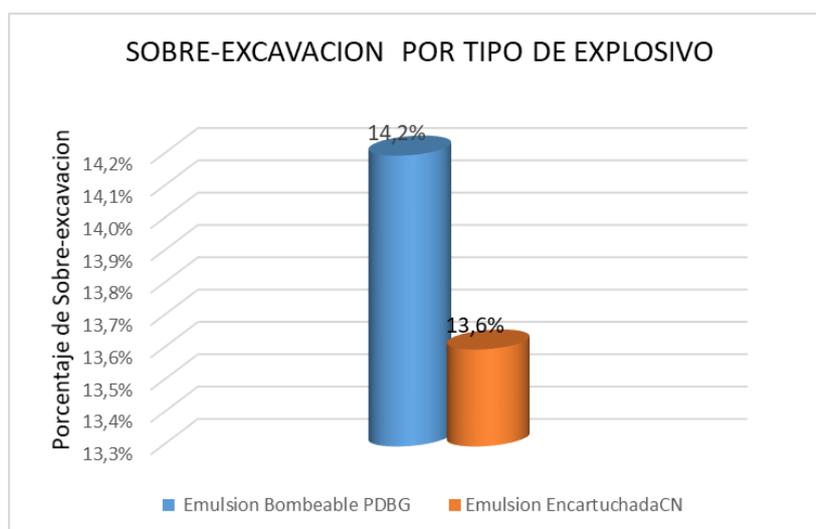


Gráfico 6.Porcentaje de sobre-excavación – Tipo de Explosivo.

Fuente: autor

9. COMPARATIVO DE CICLO MINERO DESARROLLOS HORIZONTALES POR TIPO DE EXPLOSIVO

A continuación de detallar los tiempos resultantes en las actividades del ciclo minero donde el tipo de explosivo representa un cambio tangible en los tiempos de ejecución de la misma.

9.1 Comparativo Actividades Ciclo Minero

9.1.1 Comparativo Perforación y Tronadura.

Perforación y Tronadura		Emulsión Bombeable		Emulsión Encartuchada	
Marcar desarrollo	min		10,00		10,00
Instalación y retiro del equipo	min		15,00		15,00
Perforación					
Nº boomer.	cu		2,00		2,00
Nº tiros d=51 mm	cu		86,00		91,00
Nº tiros d=102 mm	cu	3,00			
Largo.	m		3,90		3,90
Largo de Avance Promedio por tipo de Explosivo			3,36		3,21
Velocidad de perforación 51 mm	m/min	1,59			
Velocidad de perforación 102 mm	m/min	0,54			
Tiempo de empatar/ tiro	min	0,50			
Cambio de bits	min				
Empatar.	min		21,50		22,75
Perforar 51 mm	m/min		105,75		111,90
Perforar 102 mm	m/min		21,78		21,78
Total perforación neto.	hr		2,93		3,06
Eficiencia operacional.	%	85%			
Total perforación	hr		3,45		3,60

Tabla 13. Comparativo Perforación y Tronadura

Fuente: autor

9.1.2 Comparativo Carguío y Tronadura

Carguío y tronadura		Emulsión Bombeable		Emulsión Encartuchada	
Nº operarios emprimando	cu		3,00		3,00
Carguío					
Emprimir min/tiro	min		1,50		1,50
Cargar min/tiro.	min		1,20		1,50
Conectar min/tiro	min		0,45		0,45
Ciclo					
Emprimir	min		19,35		20,48
Cargar min/tiro	min		34,40		45,50
Conectar	min		38,70		40,95
Total Carguío neto	hr		1,54		1,78
Eficiencia operacional CN	%	90%			
Total Carguío	hr		1,71		1,98

Tabla 14. Comparativo Carguío y Tronadura

9.1.3 Extracción de Marina

Extracción de marinas		Emulsión Bombeable		Emulsión Encartuchada	
Volumen de marinas In situ	m ³		169,35		161,70
Toneladas in situ	2,65		448,79		428,51
Coefficiente de Sobre excavación			1,142		1,136
Total marina (incl sobre exc)	tn		512,52		486,79
Equipos de carguío limpieza de la frente					
LHD capacidad	tn		14,00		14,00
Rendimiento de la pala a :	tn/hr		147,69		147,69
Distancia de recorrido (DMT)	m		150,00		150,00
Velocidad	m/min	166,67			
Maniobras	min	1,50			
Carga del balde	min	1,25			
Tiempo del ciclo	min		4,55		4,55
Nº ciclos por hora plausible			10,55		10,55
Equipos de Transporte					
Camión Tipo perfil Bajo 30 ton	tn		54,00		54,00
Coefficiente de llenado	%	90%			
Retiro de marina hasta pique marinas con camión de 30 ton					
Camión Perfil Bajo 50 ton					
Nº ciclos de carga de camión	un		9,49		9,01
Análisis del ciclo del camión PB 50 ton					
Tiempo de ciclo del camión					
Recorrido DMT	m		3.600,00		3.600,00
Velocidad marcha atrás	m/min	166,67			
Posicionamiento del camión	min	1,50			
Nº de ciclos para llenar la tolva					
Llenado tolva	min		21,94		21,94
Total ciclo del camión	min		66,64		66,64
Horas camión de 50 ton	hr		10,54		10,01
Tiempo LHD por recarguío	hr		3,47		3,30
Horas LHD	1		3,47		3,30
Horas LHD.	2				
Horas camión 50 ton			10,54		10,01
Total marinas.	hr		3,47		3,30
Eficiencia operacional Mrn	%	90%			
Total marinas	hr		3,86		3,66

Tabla 15. Comparativo Extracción de Marina

9.1.4 Colocación Shotcrete

Colocación Shotcrete		Emulsión Bombeable		Emulsión Encartuchada	
Perímetro Sh	ml			18,44	19,06
Área por fortificar	m ²			62,00	61,17
Espesor	mm			200,00	200,00
Sobre-volumen	%			1,00	1,00
Volumen teórico	m ³			24,80	24,47
Colocación					
Bomba					
Rendimiento Sh	m ³ /hr	8,00		10,00	10,00
Limpieza cerro	min/m ²	1,00			
Total colocación shotcrete	hr			2,48	2,45
Eficiencia operacional Sh	%	90%			
Total shotcrete	hr			2,76	2,72

Tabla 16. Comparativo Colocacion de Shotcrete

9.1.5 Instalación de Malla

Instalación de Malla		Emulsión Bombeable		Emulsión Encartuchada	
Perímetro	ml			18,44	19,06
Área	m ²			62,00	61,17
Traslape	m ²	0,25		15,50	15,29
Área teórica de instalación	m ²			77,51	76,47
Instalación					
Rendimiento	m ² /hr	15,00			
Total instalación malla				5,17	5,10
Eficiencia operacional	%	90%			
Total malla	hr			5,74	5,66

Tabla 17. Comparativo Instalacion de Malla.

9.2 Resumen Comparativo Ciclo minero Emulsión Bombeable / Emulsión Encartuchada

		Emulsion Bombeable	Emulsion Encartuchada
Ítems	Unidad	Valor	
Descripción de Partida		Excav. y Fortif. Galería Correa de Nivel 1 / Sec.Exc.: 9,06 x 6,11 m / Fortif.: P-M-Sh-Cable	Excav. y Fortif. Galería Correa de Nivel 1 / Sec.Exc.: 9,06 x 6,11 m / Fortif.: P-M-Sh-Cable
Largo del desarrollo	m	3.500,0	3.500,0
Datos Generales			
Área	m ²	50,37	50,37
Perímetro Teórico	m	16,15	16,15
Perímetro FORTIFICADO	m	18,44	18,35
Ciclo de Excavación			
Perforación y Tronadura			
Total perforación	hr	3,45	3,60
Carguío y tronadura			
Total Carguío	hr	1,71	1,98
Evacuar quemar (Incluido en Tiempo Efectivo de Trabajo)	hr	0,50	0,50
Acuñaduras	hr	1,00	1,00
Extracción de marinas			
Total marinas	hr	3,86	3,66
Levantamiento Geotécnico (fotos)	hr	0,50	0,50
Total ciclo de excavación	hr	10,52	10,74
Fortificación			
Perno lechado (PL) A63-42H d=	mm		
Total empernado	hr	2,60	2,60
Perno cable lechado (atrás de la frente)			
Total empernado cables	hr	3,17	3,17
Colocación Shotcrete			
Total shotcrete	hr	2,76	2,72
Instalación de Malla			
Total malla	hr	5,74	5,66
Total Fortificación	hr	11,09	10,98
Total ciclo de avance	hr	21,61	21,72
Tiempo Efectivo de Trabajo	hr	6,15	6,15
Turno requerios por ciclo	turn	3,51	3,53
Rendimiento diario	m/día	1,91	1,82
Duración	Total días	1.829,01	1.925,11

Tabla 18. Resumen Comparativo Ciclo minero Emulsion Bombeable- Emulsion Encartuchada..

Fuente: autor

10. ANÁLISIS DE COSTOS ASOCIADOS A TIPO DE EXPLOSIVO

10.1 Análisis de costo directo.

10.1.1 Costo directo expresado en porcentaje Emulsión Bombeable

Mano de Obra		% sobre el total del costo directo
Chofer Camion Extraccion	HH	3,27%
Operador Manipulador Telescópico	HH	5,16%
Operador Excavadora / C. Frontal	HH	1,20%
Operador Roboshot	HH	2,24%
Operador LHD	HH	1,88%
Operador Jumbo	HH	2,76%
Ayudante minero	HH	4,92%
Maestro Minero	HH	8,09%
Maestro civil	HH	1,46%
Ayudante civil	HH	1,13%
		32,10%

Materiales		
Ventiladore de avance minal x ml mina	un	0,23%
Tuerca barra Helicoidal 22 mm	un	0,16%
Shotcrete c/transporte	m3	23,20%
Planchuela 200x 200 astm a 1010, Espesor 6 mm P 22	un	0,31%
Perno Helicoidal 22mm x 4.0mts / A440-280H	un	1,47%
Materiales electricos desarrollo mina. x ml mina	un	1,16%
Malla Fibra Alta tenacidad	m2	6,50%
Manga de Ventilacion x ml mina	un	0,24%
Lubricantes	u	1,15%
Gastos Oper. Admon	gl	6,37%
Emultex PDBG. Kg. en obra	kg	1,66%
Petróleo Diesel sin impuesto específico	l	1,40%
Elementos Desgaste Mantencion y Reparacion	u	1,94%
Cemento (en Saco)	saco	0,42%
Cañeria Servicios Mina	un	0,12%
Arriendo UBT	gl	3,37%
Arriendo Feder Emulcion	gl	1,65%
Aditivo Acelerante Sikaf fluid	kg	0,05%
Culafin	un	0,14%
Copla	un	0,05%
Barra 4	un	0,27%
Bit 4" (102 mm)	un	0,04%
Bit 2" (51 mm)	un	0,30%
Bit 1.75" (45mm)	un	0,08%
		52,30%

Maquinaria		
Bomba de Inyeccion MAI 400	hr	0,45%
Manipulador telescópico Fijo	hr	2,16%
Roboshot	hr	4,06%
Camion 20 m3	hr	2,08%
LHD ST 14	hr	2,32%
Jumbo Boltec Apernador - malla	hr	1,54%
Jumbo M2C - brazos	hr	2,11%
Acuñador Dossan DX140	un	0,69%
retroexcavadora 312 90HP	hr	0,19%
		15,60%
Total Costo Directo		100,00%

Tabla 19. Analisis de Costo directo expresado en porcentaje Emulsion Bombeable

Fuente: autor

10.1.2 Costo directo expresado en porcentaje Emulsión Encartuchada.

Mano de Obra		% sobre el total del costo directo
Chofer Camion Extraccion	HH	1,39%
Operador Manipulador Telescópico	HH	5,91%
Operador Excavadora / C. Frontal	HH	1,29%
Operador Roboshot	HH	2,50%
Operador LHD	HH	1,92%
Operador Jumbo	HH	3,18%
Ayudante minero	HH	5,57%
Maestro Minero	HH	9,25%
Maestro civil	HH	1,57%
Ayudante civil	HH	1,21%
		33,79%

Materiales		
Ventiladore de avance minal x ml mina	un	0,24%
Tuerca barra Helicoidal 22 mm	un	0,17%
Shotcrete c/transporte	m3	25,77%
Planchuela 200x 200 astm a 1010, Espesor 6 mm P 22	un	0,34%
Perno Helicoidal 22mm x 4.0mts / A440-280H	un	1,58%
Materiales electricos desarrollo mina. x ml mina	un	1,25%
Malla Fibra Alta tenacidad	m2	7,22%
Manga de Ventilacion x ml mina	un	0,26%
Lubricantes	u	1,27%
Petróleo Diesel sin impuesto especifico	l	1,52%
Elementos Desgaste Mantencion y Reparacion	u	2,16%
Cemento (en Saco)	saco	0,45%
Cañería Servicios Mina	un	0,13%
Aditivo Acelerante Sikafluid	kg	0,06%
Culatín	un	0,16%
Copla	un	0,05%
Barra 4	un	0,30%
Bit 4" (102 mm)	un	0,04%
Bit 2" (51 mm)	un	0,34%
Bit 1.75" (45mm)	un	0,09%
Emultex CN 1 1/2 x 24"	un	3,09%
Softron	un	0,34%
Detonador No Eléctrico MS/ LP 4.8m	un	1,05%
Cordón detonante 5gr/m	m	0,11%
Mecha Ensamblada 1 Detonador 3,0m (Carnex)	un	0,01%
Tronex Pluss 1 1/2 x 16"	un	0,89%
Tronex PLus 1 1/4 x 8"	un	0,06%
		48,97%
Maquinaria		
Bomba de Inyeccion MAI 400	hr	0,49%
Manipulador telescópico Fijo	hr	2,47%
Roboshot	hr	4,53%
Camion 20 m3	hr	2,24%
LHD ST 14	hr	2,37%
Jumbo Boltec Apernador - malla	hr	1,74%
Jumbo M2C - brazos	hr	2,47%
Acuñador Dossan DX140	un	0,74%
retroexcavadora 312 90HP	hr	0,20%
		17,24%
Total Costo Directo		100,00%

Tabla 20. Analisis de Costo directo expresado en porcentaje Emulsion Encartuchada.

Fuente: autor

10.2 Comparativo porcentual del costo directo.

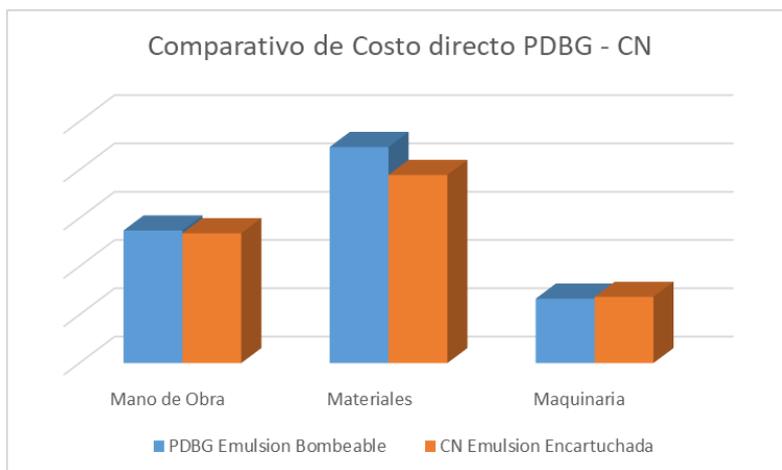


Gráfico 7. Analisis de Costo directo expresado en porcentaje Emulsion Encartuchada.

Fuente: autor

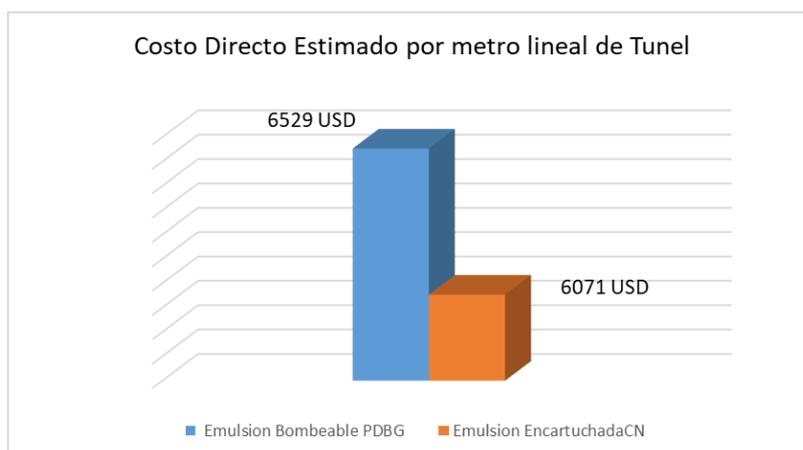


Gráfico 8. Analisis de Costo directo expresado en porcentaje Emulsion Encartuchada.

Fuente: autor

El costo directo por metro lineal de la Galería Correa Nivel 1 se incrementa en un 7,54% con la implementación del método de carguío con emulsión bombeable, esto debido al alto costo de administración y arriendo de equipo UBT.

10.3 Análisis de costo Indirecto.

Los costos indirectos y gastos generales asociados a la galería Correa de Nivel 1 son afectados en relación al tiempo de termino de ejecución del túnel. Del análisis de ciclos se calcula el tiempo de ejecución de la labor, teniendo en orden de magnitudes la siguiente duración.

		Emulsion Bombeable	Emulsion Encartuchada
Ítems	Unidad	Valor	
Descripción de Partida		Excav. y Fortif. Galería Correa de Nivel 1 / Sec.Exc.: 9,06 x 6,11 m/ Fortif.: P-M-Sh-Cable	Excav. y Fortif. Galería Correa de Nivel 1 / Sec.Exc.: 9,06 x 6,11 m/ Fortif.: P-M-Sh-Cable
Largo del desarrollo	m	3.500,0	3.500,0
Datos Generales			
Área	m ²	50,37	50,37
Perímetro Teorico	m	16,15	16,15
Perímetro FORTIFICADO	m	18,44	18,35
Total ciclo de avance	hr	21,61	21,72
Tiempo Efectivo de Trabajo	hr	6,15	6,15
Turno requerios por ciclo	turn	3,51	3,53
Rendimiento diario	m/día	1,91	1,82
Duración	Total días	1.829,01	1.925,11
Duración	mes	61,00	65,00

Tabla 21. Analisis de Costo directo expresado en porcentaje Emulsion Encartuchada.

Fuente: autor

La diferencia de termino de obra entre los dos métodos es de 4 meses. Esta diferencia representa el valor ganado que se genera entre un método de carguío con emulsión bombeable y emulsión encartuchada.

El costo Indirecto y Gastos Generales es de aproximadamente 623 000 USD al mes este análisis se describe a continuación en la Tabla N° 25

DESCRIPCIÓN			
	1	2	3
PERSONAL INDIRECTO			
Gerencia de Proyecto	32.500	39.000	42.900
Dep. Seguridad	22.113	26.536	29.189
Dep. Calidad	18.428	22.113	24.324
Oficina Técnica	22.113	26.536	29.189
Operaciones	25.799	30.958	34.054
Administración y Finanzas	18.428	22.113	24.324
Relaciones Laborales y Recursos Humanos	18.428	22.113	24.324
Procurement	25.799	30.958	34.054
Personal Operación Equipos Indirectos y SSGG	22.500	27.000	29.700
RECURSOS INDIRECTOS			
Requerimientos Personal	25.799	30.958	34.054
Oficinas e Instalaciones	23.956	28.747	31.622
MAQUINARIA Y EQUIPOS			
Arriendo Equipos Indirectos (incluye repuestos)	20.270	24.324	26.757
Combustibles	16.585	19.902	21.892
Acondicionamiento Estandar Codelco	18.428	22.113	24.324
SUBCONTRATOS			
Subcontratos Operativos	25.799	30.958	34.054
Arriendos	28.900	34.680	38.148
Laboratorio (Externo)	22.113	26.536	29.189
Servicio de Externo de mantencion	29.484	35.381	38.919
OTROS GASTOS INDIRECTOS			
Permisos	22.113	26.536	29.189
Asesorías Legales y Consultorías	29.484	35.381	38.919
Arriendo Instalaciones Locales	18.428	22.113	24.324
Total Costo Indirecto y Gasto General mes	487.464	527.542	643.851

Tabla 22. Analisis de Costo directo expresado en porcentaje Emulsion Encartuchada.

Fuente: autor

Descripcion	Unidad	PDBG Emulsion Bombeable	CN Emulsion Encartuchada
Costo directo Unitario Estimado	USD/m	6.529	6.071
Cantidad	m	3.500	3.500
Costo Total Directo	USD	22.852.906	21.249.980
Costo Indirecto	USD/mes	623000	623000
Duracion	mes	61	65
Costo Total Indirecto	USD	38.003.000	40.495.000
Costo total		60.855.905,73	61.744.980,14

Tabla 23. Analisis de Costo Total Emulsion Bombeable y Encartuchada.

Fuente: autor

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

La tabla No 27 presenta el resumen de comparación entre los diferentes tipos de explosivo.

Descripción	Emulsión Bombeable PDBG	Emulsión Encartuchada CN
Avance de disparo	3,36	3,21
Sobre excavación	14,2%	13,6%
Tiempo de Perforación	3,45 hr	3,60 hr
Tiempo de Carguío y Tronadura	1,71 hr	1,98 hr
Extracción de Marina	3,86 hr	3,66 hr
Tiempo Colocación Shotcrete	2,76 hr	2,72 hr
Instalación Malla	5,74 hr	5,66 hr
Costo Directo m	6529 USD	6071 USD
Costo Total m	17387 USD	17641 USD
Consideraciones Ambientales	Humedad y altas temperaturas no desestabilizan las propiedades de los aditivos utilizados para su fabricación	Exuda a altas temperaturas lo que puede resultar dañino para la salud de los trabajadores
Consideraciones de Seguridad	Aditivos de Explosivo se transportan segregados, su manipulación no requiere contacto directo.	trabajo con manipulación directa

Tabla 24. Resumen de Comparacion con resultados obtenidos.

Fuente: autor

Los datos obtenidos permiten afirmar que la emulsión bombeable tiene una mayor eficiencia con respecto a la emulsión encartuchada en termino de más metros de avance por disparo, menor duración del tiempo de carguío y mayor volumen de explosivo cargado a paridad de perforaciones realizadas (desacople muy limitado) es decir se disminuye la relación de vacío entre el volumen perforado y el volumen cargado, de esta manera es posible desarrollar menos perforaciones por avance lo que representa un ahorro en términos de hora máquina trabajada y horas hombre al momento del carguío

La sobre excavación generada con los dos tipos de explosivo es en orden de magnitudes bastante similar. Sin embargo, en el carguío con emulsión bombeable se presenta una mayor sobre excavación probablemente debido a un déficit de control de la densidad de la emulsión en las diferentes clases de taladros (cuele, zapatera, contorno, etc.). Lo anterior a pesar que en los dos tipos de carguío se está cargando el contorno con softron, explosivo que amortigua el choque y favorece el corte.

Con respecto al análisis de costo, se concluye que el precio unitario de Túnel excavado con emulsión bombeable es más elevado por el costo asociado al arriendo del equipo UBT y los costos asociados a la administración y operación del mismo. Este costo es significativo en presencia de un solo frente de trabajo, donde el costo del equipo es amortizado exclusivamente sobre ello. esto nos indica que el sistema de carguío con emulsión bombeable es económicamente viable cuando es utilizado en desarrollo de gran minería subterránea donde hay avance multi-frente y por lo tanto el equipo UBT desarrolla mayor número de carguíos por turno de tal manera que su costo de arriendo es amortizado sobre una mayor producción diaria de avance.

Finalmente, no sobra destacar que, aun cuando la emulsión bombeable resulte más costosa en determinadas condiciones (limitados frentes de trabajo), resulta más segura y confiable, pues los riesgos inherentes al trabajo con explosivos se ven disminuidos al ser ella menos sensible al choque, golpes y a la temperatura de la mina permitiendo un traslado del explosivo de forma mucho más segura.

BIBLIOGRAFIA

Barton, N., By, T.L., Chryssanthakis, L., Tunbridge, L., Kristiansen, J., Løset, F., Bhasin, R.K., Westerdahl, H. and Vik, G. 1992. Comparison of prediction and performance for a 62 m span sports hall in jointed gneiss. Proc. 4th. int. rock mechanics and rock engineering conf., Torino. Paper 17.

Barton, N., Løset, F., Lien, R. and Lunde, J. 1980. Application of the Q-system in design decisions. In Subsurface space, (ed. M. Bergman) 2, 553-561. New York: Pergamum.

Barton, N.R., Lien, R. and Lunde, J. 1974. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. Rock Mech. 6(4), 189-239.

Corporación Nacional del Cobre. Codelco, disponible en :
https://www.codelco.com/division-chuquicamata/prontus_codelco/2011-02-25/122331.html

Métodos Perforación de túneles, disponible en
<https://civilgeeks.com/2011/09/22/metodos-de-perforacion-de-tuneles/>