

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**



**"ANÁLISIS Y OPTIMIZACIÓN DE COSTOS DE PERFORACIÓN Y  
VOLADURA EN LA CONSTRUCCIÓN DEL CANAL SAN ANTONIO  
DE MIÑA"**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. IRVING RONY MAMANI NEYRA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO DE MINAS**

**PROMOCIÓN 2011-I**

**PUNO - PERÚ**

**2016**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**

**"ANÁLISIS Y OPTIMIZACIÓN DE COSTOS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA  
EN LA CONSTRUCCIÓN DEL CANAL SAN ANTONIO DE MIÑA"**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. IRVING RONY MAMANI NEYRA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO DE MINAS**

**APROBADA POR JURADO REVISOR CONFORMADO POR:**

**PRESIDENTE**

:

**M. Sc. Ing. Henry Arnaldo, Tapia Valencia**

**PRIMER MIEMBRO**

:

**M. Sc. Ing. Jorge Durant Broden**

**SEGUNDO MIEMBRO**

:

**Ing. Americo Arizaca Avalos**

**DIRECTOR**

:

**Dr. Fernando Benigno, Salas Urviola**

**ASESOR**

:

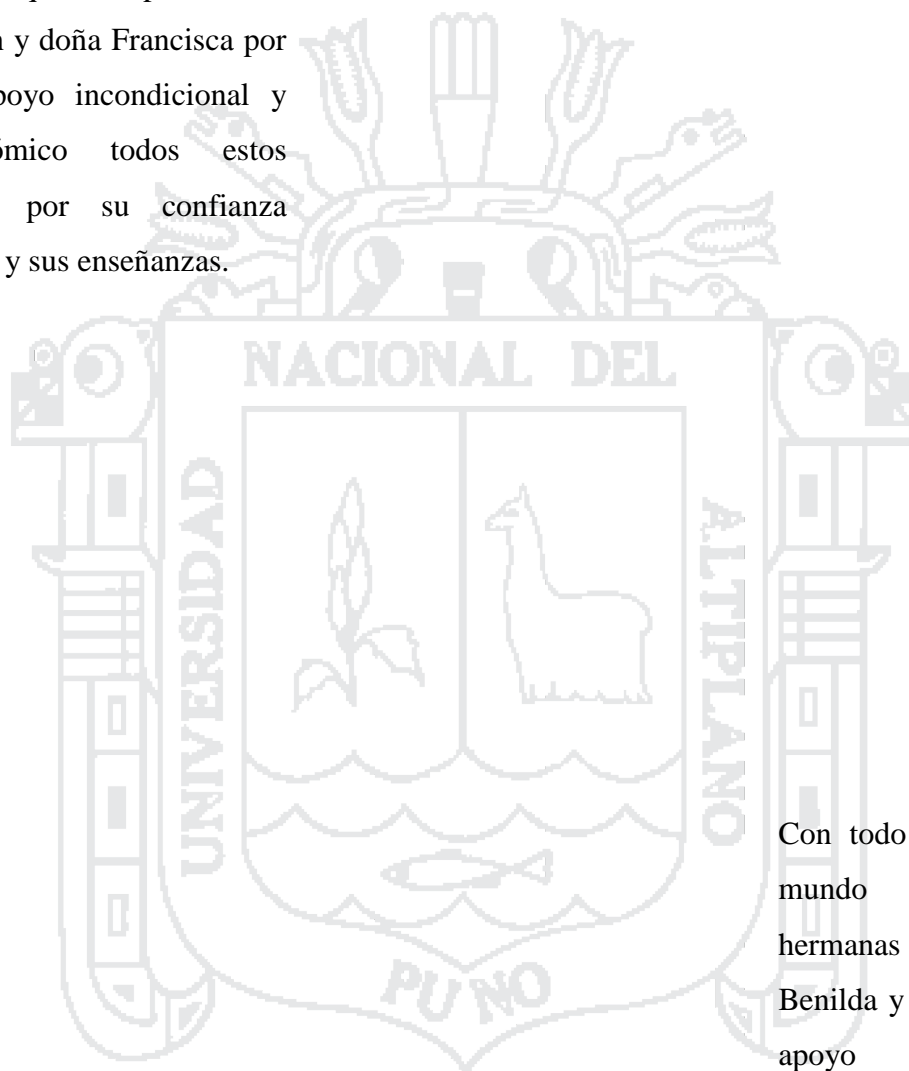
**Ing. Stive Velarde Ochoa**

**ÁREA:** Ingeniería de Minas.

**TEMA:** Análisis de Costos Mineros y Comercialización de Minerales.

## DEDICATORIA

A mis queridos padres don Julián y doña Francisca por su apoyo incondicional y económico todos estos años, por su confianza plena y sus enseñanzas.



Con todo el afecto del mundo a mis y hermanas Teresa y Benilda y amigos por su apoyo moral que incondicionalmente me demostraron todos estos años.

## AGRADECIMIENTO

En el siguiente suscrito deseo expresar mi más sincero y profundo agradecimiento a:

- A mi alma mater la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, a cada uno de mis catedráticos y todo el personal administrativo que labora en mi prestigiosa facultad quienes guiaron mis pasos no solo dentro del aula sino en el día a día con su orientación académica, ética y moral.
- A mis compañeros de promoción y mi facultad por todos los años de alegrías, tristezas y esperanza que compartimos en todos estos años donde más que amigos nos convertimos en hermanos.
- Agradezco infinitamente a los miembros del jurado revisor, director y asesor de la presente tesis, quienes me brindaron su enseñanza y orientaron mis pasos académicos para la culminación de la presente tesis y me mostraron su apoyo incondicional en cada momento.
- Finalmente agradezco a Dios por concederme salud y perseverancia para seguir caminando por este mundo aprendiendo y enseñando, para el desarrollo de mi país y sobre todo enseñarme que si me rindiera no tendría sentido haber nacido hombre.

## ÍNDICE

DEDICATORIA .....	2
AGRADECIMIENTO .....	4
RESUMEN .....	14
Introducción .....	14

### CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	16
1.1. Descripción de la problemática.....	16
1.2. Formulación del problema.....	17
1.2.1. Problema general.....	17
1.2.2. Problemas específicos.....	17
1.3. Objetivos de la investigación .....	18
1.3.1. Objetivo general .....	18
1.3.2. Objetivos específicos.....	18
1.4. Justificación de la investigación.....	18
1.5. Limitaciones del estudio.....	19
1.6. Viabilidad del estudio.....	19

### CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO .....	21
2.1. Antecedentes de la investigación.....	21
2.2. Bases teóricas.....	25
2.3. Construcción y descripción de beneficios del canal.....	25
2.3.1. Características agroeconómicas .....	26
2.3.1.1. Área agrícola potencial total y área aprovechada .....	26

2.3.1.2. Estructura y forma de tenencia de la tierra.....	27
2.3.2. Cultivos principales y rendimientos.....	27
2.4. Influencia del macizo rocoso en los costos de perforación y voladura.....	28
2.4.1. Clasificación geomecanica RMR (Bieniawski).....	28
2.5. Mallas de perforación.....	31
2.5.1. Selección de diámetro de taladros para perforación de bancos.....	31
2.5.2. Formulas la para selección de burden.....	32
2.5.3. Calculo de sub perforación.....	34
2.5.4. Distancia del taco.....	35
2.6.1. Malla de perforación para zanjas.....	36
2.6.2. Diámetro de perforación de la zanja.....	38
2.7. Explosivo y agentes de voladura.....	39
2.7.1. ANFO.....	39
2.7.2. Booster.....	42
2.7.3. Componentes y especificaciones técnicas del booster.....	43
2.8.1. Sistema de perforación a percusión.....	44
2.8.2. Perforadoras con martillo en cabeza.....	45
2.8.3. Características del equipo ECM 720.....	46
2.9. Costos de perforación y voladura.....	47
2.9.1. Costos fijos.....	49
2.9.1.1. Valor de adquisición (Va).....	50
2.9.1.2. Vida económica útil (VEU).....	50
2.9.1.3. Valor de rescate (Vr).....	50
2.9.1.4. Depreciación (D).....	51
2.9.1.5. Costo financiero total (CFT).....	51

2.9.1.6. Seguros.....	52
2.9.1.7. Impuestos. ....	52
2.9.2. Costo variable o coste variable .....	53
2.9.2.1. Combustibles.....	53
2.9.2.2. Lubricantes.....	54
2.9.2.3. Grasas .....	54
2.9.2.4. Explosivos y accesorios. ....	54
2.9.2.5. Aceros de perforación. ....	54
2.10. Elaboración de precios unitarios. ....	55
<b>CAPÍTULO III</b>	
<b>PARÁMETROS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA.....</b>	<b>56</b>
3.1. Parámetros de la roca .....	56
3.1.1. Resistencia de la roca intacta .....	58
3.1.2. Rock quality designation (RQD).....	58
3.1.3. Separación entre diaclasas.....	60
3.1.4. Estado de diaclasas.....	60
3.1.5. Agua freática. ....	60
3.2. Parámetros de equipos de perforación. ....	61
3.2.1. Análisis de costo horario de perforación.....	61
3.2.2. Rendimientos de perforación. ....	63
3.2.2.1. Evacuación de detrito .....	63
3.2.2.2. Tiempo de perforación. ....	65
3.2.3. Aceros de perforación .....	66
3.2.3.1. Parámetros en la operación de perforación para la optimización. ....	68
3.3. Parámetro de diseño de banco.....	70



3.3.1. Influencia y dimensiones de diseño de malla.....	72
3.3.1.1. Sub perforación.....	72
3.3.1.2. Influencia del burden y espaciamiento.....	73
3.3.1.3. Taco de taladro.....	76
3.4. Parámetro de explosivos y accesorios.....	77
3.4.1. Criterio de selección de explosivos y accesorios.....	77
3.4.1.1. Características ambientales.....	79
3.4.1.2. Carga de taladro mecanizado.....	80
3.5. Parámetros para la perforación y voladura de la zanja.....	81
3.5.1. Máquina perforadora convencional.....	81
3.5.2. Parámetros de diseño de la zanja.....	82
3.5.3. Parámetros de explosivos y accesorios para voladura de zanja.....	83
<b>CAPÍTULO IV</b>	
<b>CUANTIFICACIÓN DE COSTOS Y EVALUACIÓN DE RENDIMIENTOS .....</b>	<b>87</b>
4.1. Rendimientos y costos de perforación mecanizada.....	87
4.1.1. Costos fijos de operación de perforación mecanizada.....	88
4.1.2. Costos variables de operación de perforación mecanizada.....	89
4.1.3. Costos totales y rendimientos de operación de perforación mecanizada.....	90
4.2. Rendimientos y costos de perforación convencional.....	92
4.2.1. Costos fijos de perforación convencional.....	92
4.2.2. Costos variables de perforación convencional.....	93
4.2.3. Costo total de perforación convencional.....	94
4.3. Costos de voladura.....	94
4.3.1. Costos de voladura mecanizada.....	94
4.3.2. Costos de voladura convencional.....	96



4.4. Costo total de perforación y voladura mecanizada. ....	96
4.5. Costo total de perforación y voladura convencional.....	97
4.6. Ritmo de producción.....	98
4.7. Marco conceptual.....	99
4.7.1. Conceptos de perforación y voladura.....	99
4.7.2. Conceptos de costos y presupuestos.....	101
4.8. Formulación de la hipótesis.....	103
4.8.1. Hipótesis general.....	103
4.8.2. Hipótesis específicas.....	103
4.8.3. Variables.....	103
<b>CAPÍTULO V</b>	
<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>105</b>
5.1. Metodología de la investigación.....	105
5.1.1. Tipo de investigación.....	105
5.1.2. Nivel de investigación.....	105
5.2. Diseño de investigación.....	105
<b>CAPÍTULO VI</b>	
<b>EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>108</b>
6.1. Reducción de costos en perforación y voladura.....	108
7.1.1. Aplicación de parámetros en voladura de canal San Antonio de Miña.....	108
6.2. Resultados de optimización.....	109
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>112</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>113</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>114</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>116</b>

ANEXO N°01 .....	116
MATRIZ DE CONSISTENCIA, .....	116
Anexo N°02 .....	118
Reporte trabajos de perforación.....	118
Anexo N°03 .....	119
FORMATO DE REPORTE DE PERFORACION.....	119
Anexo N°04 .....	120
Vida Económica Útil de equipos .....	120
Anexo N°05 .....	120
Consumo de Combustible, Lubricantes y Grasa.....	120
Anexo N°06 .....	121
Instrumentos y equipos utilizados para el desarrollo de la investigación.....	121
Anexo N°07 .....	122
Cuadro de distribución de costos de operación de perforación mecanizada. ....	122
Anexo N°08 .....	123
Cuadro de Velocidad de barrido de detritus según la densidad de roca a una profundidad de 10 metros.....	123
Anexo N°09 .....	124
Planos del Canal San Antonio de Miña .....	124

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro N° 1: Costos de producción y rendimientos agrícolas. ....	27
Cuadro N° 2: Índice de la calidad de la roca. ....	29
Cuadro N° 3: Valoración según calidad de roca. ....	31
Cuadro N° 4: Relación de velocidad de detonación y diámetro de taladro. ....	42
Cuadro N° 5: Características de los taladros hechas por la perforadora. ....	46
Cuadro N° 6: Clasificación de calidad de roca. ....	59
Cuadro N° 7: Mapeo de progresivas. ....	60
Cuadro N° 8: Escenario de costos, comparación de máquinas perforadoras. ....	62
Cuadro N° 9: Máquinas perforadoras, diámetros y modelos. ....	63
Cuadro N° 10: Comparación de rendimientos de máquinas perforadoras. ....	65
Cuadro N° 11: Tiempos de perforación de taladros. ....	66
Cuadro N° 12: Rendimientos en tiempos por pie avanzado. ....	66
Cuadro N° 13: Rendimiento de recursos usados. ....	67
Cuadro N° 14: Formulas para diseño de mallas de perforación. ....	71
Cuadro N° 15: Resultados obtenidos para el diseño de malla en metros. ....	71
Cuadro N° 16: Características de los explosivos y accesorios. ....	78
Cuadro N° 17: Datos de canal para la elección del explosivo. ....	79
Cuadro N° 18: Observaciones del terreno y elección del explosivo. ....	80
Cuadro N° 19: Cargas explosivas en los dos escenarios. ....	81
Cuadro N° 20: Explosivos para voladura convencional. ....	84
Cuadro N° 21: Estándar de carguío para la zanja. ....	86
Cuadro N° 22: Calculo de costos fijos y costos variables que intervienen en la perforación mecanizada. ....	90
Cuadro N° 23: Rendimientos y costos de perforación. ....	91
Cuadro N° 24: Comparación de costos y rendimientos de perforación mecanizada. ....	91
Cuadro N° 25: Numero de taladros y costo por metro. ....	92
Cuadro N° 26: Análisis de costos fijos y costos variables de la perforación convencional .....	94
Cuadro N° 27: Costos de voladura mecanizada incluyendo ANFO y emulsión. ....	95
Cuadro N° 28: Costos de voladura mecanizada utilizando ANFO. ....	95
Cuadro N° 29: Costos de voladura convencional. ....	96

Cuadro N° 30: Costos de perforación mecanizada con sus respectivos recursos..... 97

Cuadro N° 31: Costo total de perforación y voladura convencional. .... 98

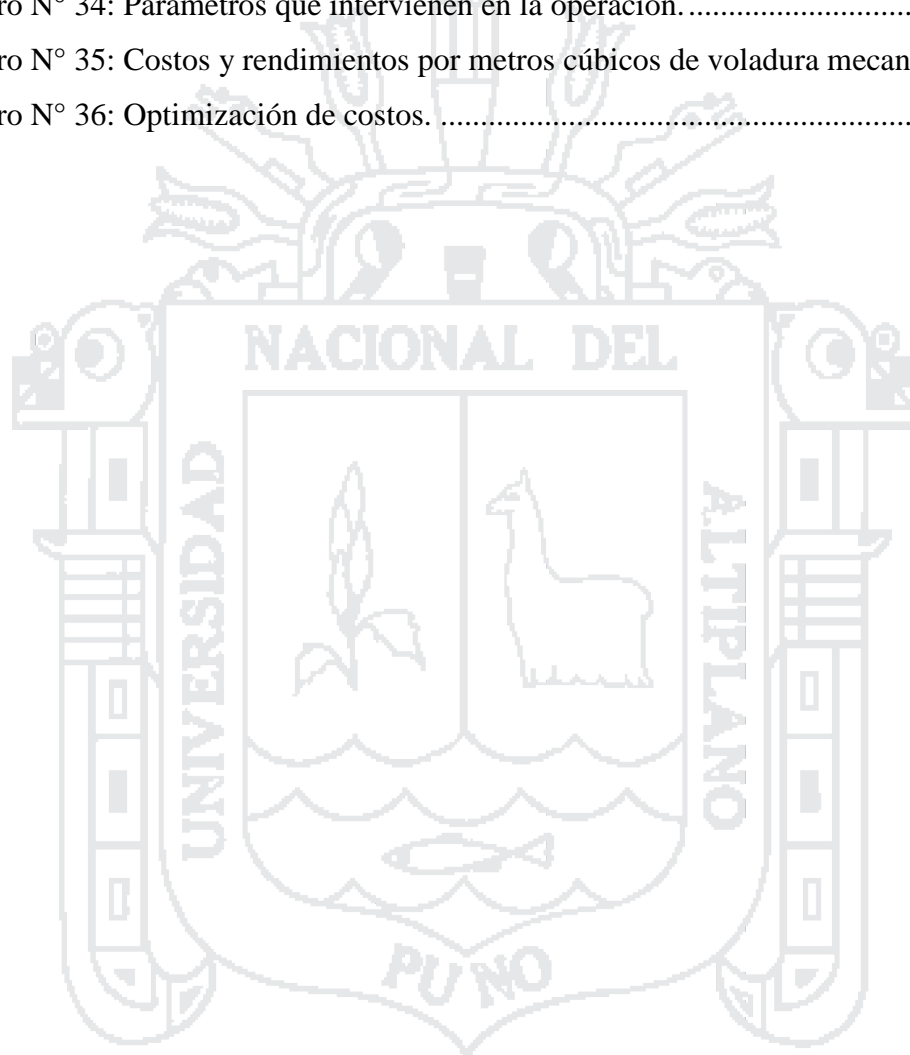
Cuadro N° 32: Avance de perforación y voladura de la plataforma..... 99

Cuadro N° 33: Variables que intervienen en la investigación. .... 104

Cuadro N° 34: Parámetros que intervienen en la operación..... 106

Cuadro N° 35: Costos y rendimientos por metros cúbicos de voladura mecanizada. .... 111

Cuadro N° 36: Optimización de costos. .... 111



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1 Diseño de voladura de banco .....	26
Figura N° 2: Taco de taladro para carguío.....	36
Figura N° 3: ANFO mezclado con emulsión.....	40
Figura N° 4 ANFO prills .....	41
Figura N° 5: Booster famosa para carguío de taladros.....	44
Figura N° 6: Bases de taladros, roca suelta y roca compacta.....	57
Figura N° 7: Sistema de mapeo de RQD, dimensionando la roca.....	59
Figura N° 8: Broca utilizada para la perforación.....	67
Figura N° 9: Mala práctica de percusión.....	68
Figura N° 10: Acople de viga de taladro para perforación.....	69
Figura N° 11: Desviación de taladro.....	69
Figura N° 12: Desviación de taladro debido a fallas de la roca.....	70
Figura N° 13: Nomenclatura y descripción de los detalles del banco.....	72
Figura N° 14: Carga de fondo y subperforación.....	73
Figura N° 15: Área de influencia de taladro hacia la cara libre.....	74
Figura N° 16: Diseño de malla de perforación.....	75
Figura N° 17: Diseño de malla de perforación con sus medidas.....	75
Figura N° 18: Malla de perforación, con los materiales requeridos.....	76
Figura N° 19: Diseño para perforación de zanja y construcción del canal.....	85
Figura N° 20: Carga explosiva para taladro convencional.....	85
Figura N° 21: Distribución de taladros para voladura convencional.....	86
Figura N° 22: Comparación de escenarios en perforación y voladura mecanizada .....	110
Figura N° 23: Comparación de escenarios en perforación y voladura convencional.....	110

## RESUMEN

Esta tesis que lleva por título "**Análisis y Optimización de Costos de Perforación y Voladura en la Construcción del Canal San Antonio de Miña**" tiene como objetivo exponer como y mediante qué medios se puede optimizar los costos de perforación y voladura, realizando el análisis de cada proceso. Recolectando datos en campo, tomando en cuenta rendimientos y eficiencias de cada actividad involucrada e identificando la variación de rendimientos a lo largo del canal. El desarrollo del trabajo expone inicialmente las características del macizo rocoso como se sabe es una variable aleatoria que influye directamente en las demás variables, para lo cual se realizó el mapeo geomecánico utilizando el método RMR; también se consideró el diseño del canal y de esta forma poder elegir la máquina más adecuada para realizar la perforación y los agentes de voladura a utilizarse; de esta forma realizar un trabajo donde se gaste menos recursos económicos, diseñar la malla de perforación más adecuada sin que sea necesario invertir en voladura secundaria y acelerar el ritmo de producción de la plataforma y zanja para la construcción del canal. Finalmente se darán a conocer los resultados que se obtienen al tomar en cuenta los parámetros de perforación y voladura e integrarlos demostrando de esta manera cómo influyen en la operación, para hacerlos conocer al personal mediante estándares, de esta manera se vean reflejados en la reducción de costos operativos en base a los datos considerados. Al exponer el ritmo de producción óptimo considerando tiempo nos da una herramienta muy útil para la toma de decisiones y se espera que esta tesis pueda servir como guía a los ingenieros dedicados a esta rama de la ingeniería basada en costos.

**Palabras claves:** Costos de perforación, costos de voladura, diseño de canales, optimización de costos de minado.

## Introducción

En la construcción de accesos carreteras, minas a tajo abierto, voladura en canteras, construcción de represas y todo tipo de trabajos donde se realice voladura de rocas, es necesario realizar un estudio que abarque variables las cuales puedan ayudarnos a la toma de decisiones, como el explosivo óptimo, y el tiempo de operación de minado. El cual tendrá diferentes etapas, este tendrá que incluir costos y presupuestos para un periodo de tiempo determinado detallando algunos aspectos; para organizar y controlar el programa de producción, también a la elaboración de precios unitarios; en la industria minera y de la construcción se realizan operaciones unitarias y en este estudio mencionaremos las operaciones de perforación y voladura de un canal, estas operaciones deben de ser analizadas de un punto de vista técnico económico para la asignación de costos y presupuestos de operación para cada etapa y actividad.

Para la toma de decisiones óptimas y oportunas se debe de hacer un análisis muy minucioso de las variable involucradas en las operaciones de perforación y voladura, el presente trabajo se enfatiza en analizar los parámetros de perforación y voladura tomando en cuenta el tipo de terreno que viene hacer una variable aleatoria; conociendo y analizando estos parámetros nos darán herramientas para crear modelos medibles que nos ayudaran a resolver problemas, como cuál es el equipo más óptimo y cuál es el explosivo debe emplearse, para la elaborar precios unitarios en este proceso, tomando en cuenta los todos los parámetros ya mencionados.

En la elaboración del estudio buscamos obtener patrones para la reducción de costos operativos de perforación y voladura, considerando las variables y parámetros involucrados, es importante planificar el proceso operativo integrando la información de precios que ayudaran a la toma de decisiones para la elección de equipos; cálculo de rendimientos y eficiencias, cada etapa debe ser registrada costeadada y analizada para realizar la mejora continua optimizar costos y obtener mejores resultados pues su desconocimiento puede acarrear riesgos en una empresa, e incluso como se ha visto en casos llevarlo a la desaparición.



## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1. Descripción de la problemática

En el departamento de Arequipa provincia de Castilla distrito de Choco la compañía de minas Buenaventura viene realizando trabajos de perforación y voladura para la construcción del canal San Antonio de Miña, con el propósito de llevar agua a la comunidad de Miña con fines de irrigación, esto en el marco de responsabilidad social y desarrollo sostenible impartido por la política de la empresa.

La operación de perforación y voladura consiste en realizar una primera perforación para realizar un banco de la altura de doce metros para llegar a la cota donde se encuentra el río y luego realizar la voladura de una zanja de metro y medio de profundidad para la construcción del canal San Antonio de Miña con fines de encausar el agua, esto en un tramo de 4620 metros lineales donde la voladura del banco debe de crear un acceso de 10 metros y sobre el empezar la ejecución de la zanja para el canal con una profundidad de 1.50 metros y un ancho de canal de 2 metros, pero en la ejecución del estudio preliminar no se consideró las características geomecánicas del terreno que es una variable aleatoria. El equipo óptimo y la cantidad de explosivo que son variables controlables para realizar todo el plan de minado; el cual en el primer tramo, la voladura tiene deficiencias pues solo improvisó el trabajo teniendo deficiencias y variaciones en los costos de producción "perforación y voladura"; el presupuesto asignado se excedió en 12% como consecuencia de la voladura secundaria, por no considerar algunas variables que afectan la perforación y voladura, consecuencia de ello se llegó a improvisar las actividades y de esa manera se afecta todo el proceso de perforación y voladura afectado causando problemas en el área de costos y planeamiento.

El avance por disparo es inferior al que se tenía programado, en el primer tramo del canal producto de estas voladuras deficientes se observa rocas de gran dimensión denominadas "bolones" consecuentemente realizando voladura secundaria debido a una mala distribución de carga explosiva, en algunas zonas se detecta un excesivo consumo de explosivos pues no se consideran longitudes de carga explosiva que a comparación de lo planeado existen diferencias; también se observa deficiencias en el proceso de perforación, tiempos de perforación más prolongados, tiempos que no se tenían programados, atascamiento de barras en los taladros de perforación; y costos elevados con respecto a los trabajos realizados en ciertas zonas del canal e inadecuado control de aceros de perforación.

Deficiente estimación del presupuesto destinado al proceso de perforación y voladura que no va con el estimado de producción, perjudicando la operación directamente, no dando un aproximado de producción para poder programar trabajos de limpieza y planeamiento a corto plazo, para hacer más dinámico el proceso.

Existen varios factores, entre los cuales se puede decir afectan la perforación y voladura los que también determinan el performance de avance rendimientos y eficiencias es importante enfatizarnos y entender que el macizo rocoso es una variable aleatoria al igual que el rendimiento de la máquina perforadora y el explosivo adecuado en los 4620 metros; a simple vista se puede observar que la masa rocosa varía en ciertos tramos concertando con los reportes de perforación y voladura.

## **1.2. Formulación del problema.**

### **1.2.1. Problema general.**

¿Cuáles son los parámetros para el análisis y optimización de los costos de perforación y voladura en el proceso de la construcción del Canal San Antonio de Miña?

### **1.2.2. Problemas específicos.**

¿Cuáles son los parámetros que influyen en la perforación y voladura en la construcción del canal San Antonio de Miña?

¿Cuál es la reducción de costos en la perforación y voladura en la construcción del canal San Antonio de Miña?

### **1.3. Objetivos de la investigación**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Analizar y optimizar los costos en perforación y voladura mediante el análisis de los parámetros identificados que influyen en la operación.

#### **1.3.2. Objetivos específicos.**

- Identificar los parámetros que influyen en la perforación y voladura en el proceso de construcción del canal San Antonio de Miña.
- Cuantificar la reducción de costos en el proceso de perforación y voladura de la construcción del canal San Antonio de Miña.

### **1.4. Justificación de la investigación.**

El sustento del trabajo de investigación de análisis y optimización de costos de perforación y voladura en la construcción del canal San Antonio de Miña; nace en la necesidad de contribuir académicamente a los estudiosos de los temas de perforación, voladura y los costos de cada uno de estos respectivamente, en la voladura bancos y canales. Por otra lado también, es necesario reducir los costos de producción y organizar de la mejor manera posible el proceso de voladura del Canal; en este caso, la perforación y voladura a su vez muestra un análisis que toma en cuenta las características geomecánicas del macizo rocoso, el rendimiento de la máquina perforadora ECM 720 Atlas Copco y la eficiencia rompedora del nitrato de amonio "ANFO" y como estas influyen directamente en los costos operativos tomando datos de tiempos de perforación y recursos utilizados registrando cada uno de ellos, ahora en este trabajo se procederá analizar como varían los costos de perforación y voladura dependiendo de las zonas donde se realizan los trabajos para poder destinar recursos, optimizar costos y realizar la programación de minado sin tener tiempos muertos en los procesos operativos.

Actualmente la industria minera y la industria de la construcción busca mayor eficiencia y rendimiento en cada uno de sus procesos operativos para poder alcanzar mayor productividad esto genera que algunas áreas tengan que desligar algunas tareas y

actividades para poder llevar un orden por etapas para alcanzar objetivos en cada una de ellas algunas incluso son encargadas por áreas específicas que se dedican a un trabajo determinado. Obteniendo datos más reales recopilados en campo y mediante reportes estos nos darán una herramienta para asignar recursos y distribuir trabajos directamente relacionadas a la operación de producción.

Este proyecto pretende contribuir al crecimiento académico referente al área de costos aumentando la productividad mediante la reducción de los costos de producción, generando una situación de optimización enfatizándonos en los parámetros detectados en la operación de perforación y voladura

### **1.5. Limitaciones del estudio.**

El análisis del costo total de perforación tiene algunas limitaciones que influyen en el resultado pero el proceso y seguimiento del mismo no serán afectados en su totalidad.

Dificultad para obtención datos geomecánicos exactos a falta de perforaciones diamantinas que influyen en la perforación debido a que no se tiene un estudio detallado en los aspectos de la hidrología y niveles freáticos. De la misma manera en este estudio no se tomara en cuenta los detalles de la construcción del canal San Antonio de Miña solo nos basaremos en las operaciones de perforación y voladura y los parámetros que influyen en la operación mencionada.

No se enfatizó en el costo de piezas pequeñas de desgaste y filtros de la máquina perforadora ECM 720 Atlas Copco, en ese concepto solo se tomó en cuenta los datos de costos de mantenimiento en general y el desgaste de las piezas fundamentales de la perforadora como el shank, adaptadores, amortiguadores, barras y brocas.

Solo nos enfatizaremos en los costos involucrados en el proceso de perforación y voladura; más no en el proceso de toda la construcción del canal pues es un costo que se considerara muy desligado de la primera operación ya mencionada.

### **1.6. Viabilidad del estudio.**

Este estudio es viable ya que las empresa actualmente busca analizar monitorear y optimizar cada uno de sus procesos y obtener datos lo más exactos posibles para realizar la

programación de trabajos de minado ya sea en mina y obras civiles, donde se vea por conveniente realizar el proceso de perforación con datos más aproximados a la realidad en el proceso de perforación son de precisa importancia para organizar y destinar recursos.

Por otra parte se cuenta con los recursos necesarios como para realizar el pedido de maquinaria necesaria para realizar la perforación, facilidad para realizar un estudio de la estructura del macizo rocoso y finalmente seleccionar el explosivo adecuado para realizar la reestructuración del plan de minado y la estructuración de presupuestos basándonos en factores medibles, para finalmente analizarlos y optimizarlos, pero antes se debe de incluir un estudio basado en los parámetros que influye en la operación de perforación y voladura y obtener presupuestos más aproximados a la realidad.



## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

En este capítulo se exponen los diferentes aspectos teóricos en los que se ha basado la investigación. Por otra parte se presentan las fuentes de donde se obtuvo información para la realización del proyecto teorías y fórmulas para determinar la ejecución y decisiones para poner en marcha el proyecto.

#### **2.1. Antecedentes de la investigación.**

Italo Farje Vergaray (2006) tesis "Planificación de perforación y voladura" Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geografía Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

El cálculo de las cantidades, del total de combustible, accesorios, explosivos y aceros de perforación son indicadores que nos dan una respuesta más clara como y de qué forma se encamina nuestra gestión de costos basados en la operación; también se debe de considerar el tipo de roca donde se va perforar pues ignorar estas variables pueden llevar al fracaso del proceso de minado.

José Delgado Vega (2010) en la tesis "planificación en minería subterránea y superficial" Universidad de Antofagasta Chile.

La recopilación de información en una base de datos de los recursos utilizados nos ayuda a tener registro real de consumo de recursos para realizar la toma de decisiones al momento de generar un plan de minado y asignar recursos; una vez que se ha obtenido el flujo de caja de un proyecto, se debe de emplear un criterio para decidir si el proyecto es

rentable o no, existe algunos criterios para tomar en cuenta si se quiere tener liquidez en el proceso de operación, tiempo de recuperación de la inversión y razón costo beneficio,

La administración de recursos se puede entender como un desarrollo racional, mediante el cual los recursos humanos, físicos y financieros son orientados hacia la materialización de un objetivo previamente definido. Dicho de otro modo, es investigar para generar opciones, elegir una de ellas y preparar tareas pertinentes para aquello que se busca realizar. Este desarrollo se traduce en un proceso constituido por un conjunto de tareas tales como la planificación, organizar dirigir y controlar; encausadas a un óptimo rendimiento conforme a una filosofía ligada a la satisfacción de los diferentes actores involucrados integrando diferentes actores los cuales están ligados operativamente.

Teniendo en cuenta todo el proceso operativo es importante desglosar las operaciones unitarias estableciendo costos unitarios para que se nos sea más fácil obtener datos de los recursos utilizados en el proceso y el retorno de inversión en el tiempo que dure la operación, sea cual sea el proceso o la actividad.

Carlos Reátegui Ordoñez (2011) Costos de perforación y voladura en minería superficial Cámara Minera Del Perú, Diplomado Gestión de Costos en Minería.

La elaboración de precios unitarios en minería es una herramienta la cual dinamiza nuestro trabajos dando un valor y clasificando los costos involucrados para poder analizarlos interpretarlos y optimizarlos la hoja de cálculo es muy importante, nos permite tener una serie de datos de van asociados a la operación, la perforación y voladura dan inicio al proceso de minado o arranque de material al menor costo posible.

La variabilidad del lugar donde se perfora afecta directamente a los costos de operación no es lo mismo perforar en una roca competente que una roca incompetente o realizar limpieza de material bien granulado y bolones de roca los cuales hacen que los equipos se esfuerces consuman más combustible y desgasten piezas de maquinarias prematuramente.



Oscar Alberto Jáuregui Aquino (2009) Reducción de los Costos Operativos en Mina, mediante la optimización de los Estándares de las operaciones unitarias de Perforación y Voladura Pontificia Universidad Católica Del Perú.

La Reducción total en costos operativos por la optimización de las operaciones unitarias de minado y por los ahorros en la eliminación de la voladura secundaria y el incremento en la vida de los aceros. Los principales factores de éxito para concretar la optimización de los estándares de perforación y voladura y en general del ciclo de minado, son el seguimiento y control operativo y la capacitación y creación de conciencia.

El seguimiento y control operativo de la perforación y voladura debe abarcar el control del diseño de la malla de perforación según el tipo de roca y cumplimiento del mismo, control del modo de perforación (paralelismo en la perforación, perforación de todo el barrenos) y de la adecuada demarcación o delineado de la malla de perforación (puntos de perforación al espaciamiento y burden establecidos en la malla de perforación), control y verificación de un adecuado secuenciamiento de los retardos (tiempos de retardo en los faneles) con respecto a la cara libre en la malla de voladura. Además el control de la distribución de la carga explosiva eliminar el exceso de explosivos y accesorios despachados y asegurar toda devolución de remanente.

Carlos Carhuavilca Mechato (2010) “Elementos para determinación del costo horario de los equipos y maquinaria del sector construcción” Exposición Sobre Los Alcances de la Norma Técnica Resolución Directoral N° 035-2010.

El costo horario de Posesión y de Operación de la maquinaria, se define como la cantidad de dinero necesaria que permita: adquirirla y operarla, es decir; hacerla funcionar, realizar los trabajos para lo cual fue adquirida, mantenerla en buen estado de conservación antes, durante y después de su uso, con un adecuado programa de mantenimiento; a lo que habría que agregar que dicha maquinaria deberá estar debidamente depositada y custodiada, contar con los seguros correspondientes y pagar los impuestos que indique la legislación vigente.

Las maquinarias debido a su uso tienen un desgaste natural y van perdiendo su valor a través del tiempo, se les efectúe un adecuado mantenimiento o no, la productividad de las

mismas tiende a disminuir y por ende los costos de mantenimiento y reparación son cada vez mayores, hasta llegar a un momento en que estas se consideren obsoletas; por lo que su propietario deberá preparar sistemáticamente un fondo de reserva, que permita restituir oportunamente dicho equipo; por uno nuevo o por cualquier otro equipo. Es importante indicar, así mismo, que para el análisis del costo de hora-máquina que se divulgan en las diferentes publicaciones especializadas; se consideran condiciones medias o promedio de trabajo; por lo que, cada vez que se está presupuestando un proyecto de obra, será necesario estudiar con cuidado las condiciones de trabajo y hacer las correspondientes modificaciones a las tarifas; utilizando para ello la experiencia y el sentido común del ingeniero encargado de elaborar el presupuesto correspondiente.

Cristian Daniel Villero Venegas (2009) en la tesis "Diseño del Esquema de Perforación y Voladura para el Mejoramiento de la Fragmentación de la Caliza en el Frente Uno de Explotación de Argos Planta Tolcemento" Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia Escuela de Ingeniera de Minas.

Las propiedades estructurales del macizo rocoso son las que más afectan la perforación y voladura el rendimiento de estas operaciones se ve afectado en gran proporción por la presencia de numerosas zonas críticas que disminuyen la velocidad de perforación y hacen excesivo el trabajo de carga de explosivos

Las características geomecánicas del macizo rocoso son un conjunto de propiedades que no podemos cambiar en el diseño de la voladura el esquema que se debe amoldar a dichas propiedades de manera que sea óptimo, esto se logra calculando parámetros controlables de la voladura.

El burden y el espaciamiento son parámetros muy importantes en la elaboración de la malla de perforación, por ello se debe medir de forma correcta. Topografía debe medir la malla, indicar los puntos establecidos para la perforación de los barrenos, y entregar el plan de perforación de los trabajadores encargados de esta operación.

## 2.2. Bases teóricas.

En esta parte de citaran todas las bases teóricas utilizadas en la investigación estas son teorías ya existentes y definidas, como el estudio considera el macizo rocoso que vendría a considerarse como una variable aleatoria, de la misma forma las teorías de los distintos tipos de malla de perforación, explosivos y accesorios que vendrían a ser variables independientes las cuales debemos de estudiar conocer para poder aplicar a nuestra hipótesis propuesta.

## 2.3. Construcción y descripción de beneficios del canal.

Miña como comunidad campesina, es un anexo del Distrito de Choco, en la provincia de Castilla, de la Región Arequipa, comunidad que en su mayoría se dedica a la agricultura, y en menor porcentaje a la crianza de ganado vacuno, es poseedora de tierras agrícolas de bastante productividad, que no son muy bien aprovechadas por falta de una buena infraestructura de riego para una distribución y captación óptima del agua que se pierde en el curso de las quebradas aledañas, la mayor parte son canales de tierra.

Por esto se ha visto la necesidad urgente del presente proyecto a nivel de expediente técnico de un canal principal de concreto llamado “Canal principal Miña San Antonio I Etapa”, que con setenta litros llega hasta la toma existente de la Irrigación San Antonio, para irrigar conjuntamente con el sistema de riego existente más de 100 has.

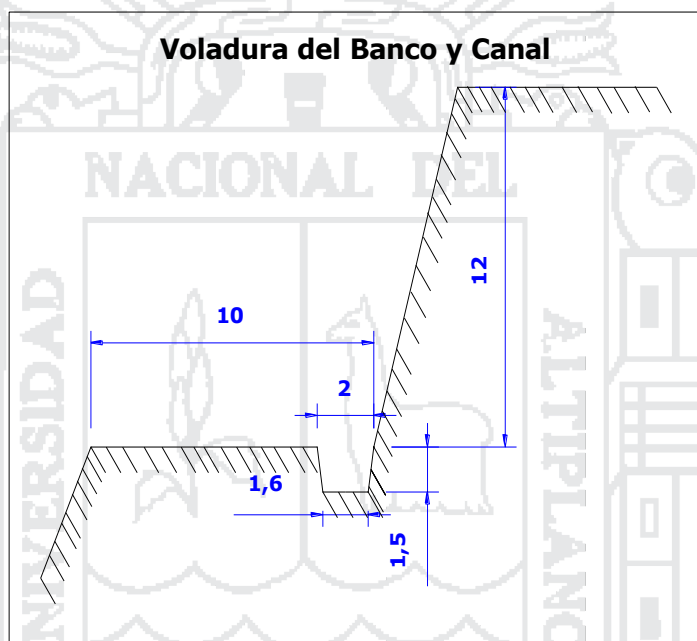
El presente estudio se elaboró a solicitud de Compañía de Mimas Buenaventura, en coordinación con las autoridades de la comunidad de Miña.

La necesidad específica de este proyecto, como principal objetivo es la ampliación de la frontera agrícola de esta comunidad, con la construcción de la bocatoma y canal proyectado, con lo que se pretende mejorar los ingresos económicos mínimos vitales de los comuneros beneficiados contrarrestando la extrema pobreza que azota el sector y así poder mejorar su calidad de vida.

La obra concretará la construcción de una bocatoma, construcción de 4,620.00 metros de canal de conducción de concreto de sección trapezoide de 1.00 metro la base, altura de 1.20 metros y parte superior del canal de 1.50 metros, sobre su base, transiciones

de ingreso y salida, transportando un caudal total de 70 l/s ; habiendo previsto un saldo de más de 10 l/s para satisfacer y preservar la flora y la fauna del sector comprendido, según disposición del Ministerio del medio ambiente; incrementando por tanto los ingresos propios de cada familia y mejorando por consiguiente los niveles y expectativas de vida de esta comunidad.

En la Figura N° 1 demuestra el diseño y corte transversal de la voladura necesaria, para la apertura de la plataforma y posteriormente el canal.



**Figura N° 1** Diseño de voladura de banco  
**Fuente:** Autor de tesis

### 2.3.1. Características agroeconómicas

#### 2.3.1.1. Área agrícola potencial total y área aprovechada

En la Comunidad de Miña se tiene potencialmente 180 hectáreas de terreno. De los cuales 80 hectáreas de terreno. Pertenecen al anexo de Miña y 100 hectáreas que es la beneficiada con el proyecto; de esta cantidad de hectáreas en Miña un buen porcentaje sufre actualmente un deficiente sistema de riego, por las dificultades que se dan. Ante las deficientes infraestructuras hidráulicas con que se cuentan y por la falta misma de éstas. Con la ejecución del presente proyecto se mejorarán las hectáreas que corresponden al sector alto de Miña, con lo que se mejorará los rendimientos agrícolas, por el mejor riego

que se proporcionará a los campos. Teniéndose entonces una área agrícola de 80 has. Completa y convenientemente explotadas.

### 2.3.1.2. Estructura y forma de tenencia de la tierra

La tenencia de la tierra es privada, individual y comunitaria, los terrenos han sido divididos en topes, con un rango en promedio de 1/2 a 2 topes por familia, teniendo excepciones de tenencia de 12,10 y hasta 1.5 hectáreas, según el padrón de riego de toda la Comunidad de Miña.

### 2.3.2. Cultivos principales y rendimientos

Los cultivos, rendimientos y costos de producción más importantes, existentes en el ámbito del proyecto en años normales según información de los pobladores se presentan en el siguiente cuadro:

En el Cuadro N° 1 de rendimientos y costos de producción agrícola de la comunidad de Miña.

**Cuadro N° 1:** Costos de producción y rendimientos agrícolas.

CULTIVO	Época de Siembra y Cosecha	RENDIMIENTO TM/ha/Campaña	N° Cosechas Por año	Costo de producción S/.
Papas	Set/Mar	11.00	1	3,288.98
Alverjón	Dic/Jun	1.90	1	1,505.20
Cebada	Dic/Jul	2.50	2	565.95
Avena Forraje	Dic/Jul	1.00	2 Cortes	565.95
Maíz	Mar/Jun	2.20	1	1,612.61
Alfalfa	Mar/Jun	11.20	4 Cortes	622.83

**Fuente:** (Gamsur Ingenieros S.R.L., 2014)

## 2.4. Influencia del macizo rocoso en los costos de perforación y voladura.

Para realizar el mapeo geológico y geomecánico de las discontinuidades del macizo rocoso, es necesario clasificar y cuantificar sus efectos en el proceso de perforación, tomando en cuenta también otros factores como tenacidad, dureza altura de banco y otros.

A nivel mundial, existen diversos sistemas y caracterización del macizo rocoso los cuales si son analizados y estudiados darán una herramienta las cuales son de gran utilidad para determinar cómo es que influyen en el proceso de perforación; estos se basan en los mapeos geomecánicos a continuación citaremos los tipos de mapeo utilizados para el estudio.

- RMR desarrollado por el sudafricano Z. T. Bieniawski en 1973 y posteriormente modificada en 1976 y en 1979, también es conocido como CSIR (consejo de África del Sur para la investigación científica e industrial).

### 2.4.1. Clasificación geomecánica RMR (Bieniawski)

Los valores posibles del RMR son una variable aleatoria; pueden ser posibles resultados en un experimento realizado y los posibles valores de una o varias cantidades cuyo valor actualmente o indiferentemente existente, como resultado de medición incompleta o imprecisa. Intuitivamente, una variable aleatoria puede tomarse como una cantidad cuyo valor no es fijo pero puede tomar diferentes valores; una distribución de probabilidad se usa para describir la probabilidad de que se den los diferentes valores.

Las variables aleatorias suelen tomar valores reales, pero se pueden considerar valores aleatorios como valores lógicos, funciones. El término elemento aleatorio se utiliza para englobar todo ese tipo de conceptos relacionados. Un concepto relacionado es el de proceso estocástico, un conjunto de variables aleatorias ordenadas (habitualmente por orden o tiempo).

El sistema de clasificación Rock Mass Rating o sistema RMR fue desarrollado por Z.T. Bieniawski durante los años 1972-73, y ha sido modificado en 1976 y 1979, en base a más de 300 casos reales de túneles, cavernas, taludes y cimentaciones. Actualmente se usa la edición de 1989, que coincide sustancialmente con la de 1979.

Para determinar el índice RMR de calidad de la roca se hace uso de los cinco parámetros del terreno aquí los citaremos los siguientes:

- La resistencia a compresión simple del material
- El RQD (Rock Quality Designation)
- El espaciamiento de las discontinuidades
- El estado de las juntas
- La presencia de agua

El RMR se obtiene como suma de unas puntuaciones que corresponden a los valores de cada uno de los seis parámetros enumerados. El valor del RMR oscila entre 0 y 100, y es mayor cuanto mejor es la calidad de la roca. Bieniawski distingue cinco tipos o clases de roca según el valor del RMR:

El Cuadro N° 2 indica la valorización de los índices de la calidad de roca y su descripción según la clasificación.

**Cuadro N° 2:** Índice de la calidad de la roca.

CLASE	Índice	Calidad de roca
CLASE I	RMR>80	Roca muy buena
CLASE II	80>RMR>60	Roca buena
CLASE III	60>RMR>40	Roca media
CLASE IV	40>RMR>20	Roca mala
CLASE V	RMR<20	Roca muy mala

**Fuente:** (Bieniawski)

En las tablas adjuntas se indican los criterios de valoración utilizados para los distintos parámetros. Hay que hacer las siguientes consideraciones:

a) RESISTENCIA DE LA ROCA: Tiene una valoración máxima de 15 puntos, y puede utilizarse como criterio el resultado del Ensayo de Resistencia a Compresión Simple (en laboratorio) o bien el Ensayo de Carga Puntual (Point Load). En campo puede obtenerse como primera aproximación a partir del rebote del esclerómetro (martillo Schmidt) o con unas tablas semicuantitativas empíricas en función del golpeo del martillo de geólogo.



b) RQD: Tiene una valoración máxima de 20 puntos. Se denomina RQD de un cierto tramo de un sondeo a la relación en tanto por ciento entre la suma de las longitudes de los trozos de testigo mayores de 10 cm y la longitud total del sondeo.

c) SEPARACIÓN ENTRE JUNTAS: Tiene una valoración máxima de 20 puntos. El parámetro considerado es la separación en metros entre juntas de la familia principal de diaclasas de la roca.

d) ESTADO DE LAS DIACLASAS: Es el parámetro que más influye, con una valoración máxima de 30 puntos. Pueden aplicarse los criterios generales se descompone en otros cinco parámetros: persistencia, apertura, rugosidad, relleno y alteración de la junta.

e) PRESENCIA DE AGUA: La valoración máxima es de 15 puntos. Ofrece tres posibles criterios de valoración: estado general, caudal cada 10 metros de la labor y relación entre la presión del agua y la tensión principal mayor en la roca.

En el Cuadro N° 3 se muestra el mapeo geomecánico considerando la resistencia de la roca, RQD, separación entre juntas, estado de diaclasa, resistencia de la roca, calidad de roca y presencia de agua.

**Cuadro N° 3:** Valoración según calidad de roca.

1	Resistencia roca intacta	Ensayo de carga puntual (Mpa)	≥ 10	4 -- 10	2--4	1--2	valores bajos, efectuar ensayos de compresion uniaxial		
		Compresion simple (Mpa)	≥ 250	100 - 250	50 - 100	25 - 50	5 --25	1 --5	≤1
<b>Valoracion</b>			<b>15</b>	<b>12</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
2	RQD		90% - 100%	75% - 90%	75% - 50%	25% - 50%	≤25%		
	<b>Valoracion</b>		<b>20</b>	<b>17</b>	<b>13</b>	<b>6</b>	<b>3</b>		
3	Separacion entre diaclasas (m)		≥2	0.6 - 2	0.2 - 0.6	0.2 - 0.06	≤0.06		
	<b>Valoracion</b>		<b>20</b>	<b>15</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>5</b>		
4	Estado de diaclasas		Muy rugosos discontinuas cerradas rugosos, bordes sanos y duros	Algo rugosas separacion ≤ 1 mm, bordes duros	Algo rugosas separacion ≤ 1 mm, bordes blandos	Espejos de falla relleno ≤ 5mm separacion 1-5 mm, diaclasas continuas	Relleno blando ≥ 5 mm, separacion ≥5mm, diaclasas continuas		
	<b>Valoracion</b>		<b>30</b>	<b>25</b>	<b>20</b>	<b>10</b>	<b>0</b>		
5	agua freatica	Caudal/10m longitud	nulo	≤10	10 --25	25 -- 125	≥125		
		Presion de agua		0 0 -0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	≥0.5		
		Estado general	seco	ligeramente humedo	humedo	goteando	fluyendo		
	<b>Valoracion</b>		<b>15</b>	<b>10</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>0</b>		

**Fuente:** (Bieniawski)

- Sistema de clasificación Q conocida también como el Q de Barton, este sistema tiene una interrelación entre el sistema RMR desarrollado por Barto Lien y Lunden investigadores del NGI ( Norwegian Geotechnical Institute) que basaron sus extensivos estudios en macizos rocosos.

**2.5. Mallas de perforación.**

Existen distintos tipos y diseños de mallas de perforación, cada uno toma consideraciones similares en este caso se consideraran algunos autores, (Konya, 2002), (Lopez Jimeno, 1994) (Ash y Ash Modificado) y de forma muy aparte se consideraran algunos criterios muy diferentes para las mallas de perforación de zanjas y trincheras.

**2.5.1. Selección de diámetro de taladros para perforación de bancos.**

El primer paso para el proceso de perforación, es seleccionar el diámetro del taladro más apropiado; existe un axioma; "mientras más grande el diámetro del taladro, menor el costo de perforación por unidad de producción, en la practica el aumento del diámetro de

taladro reduce el total de costo de perforación; sin embargo se pierde, algún grado de control de fragmentación que incrementa los costos de excavación y transporte; además pueden generarse bloques sobre dimensionados que pueden requerir voladura secundaria.

La forma más sencilla de determinar el diámetro de taladro es relacionar la altura de banco, como una guía empírica el diámetro del taladro deberá de estar entre %0.05 y %1 largo requerido de la perforación.

- Una formula sugerida por (Mckenzie, 2000) es:

$$d = H/0.150$$

d = diámetro (mm)

H = Altura de banco (m)

- Si relacionamos el burden (B) y el espaciamiento (E) al diámetro de taladro.

$$B = (20 \text{ a } 40) d$$

$$E = 1.15 B \text{ (para malla alterna o triangular)}$$

El tamaño de las perforadoras que se encuentran en el mercado está relacionado al rango del diámetro del taladro que pueden perforar, al uso de la industria y el sistema de perforación usado.

### 2.5.2. Formulas la para selección de burden.

Existen varios autores los cuales toman distintas variables con respecto al cálculo del burden a continuación se expondrán algunas de estas fórmulas, para luego seleccionar cual es la que se ajusta más a nuestras necesidades.

#### Fórmula de ASH

Considera una constante kb que depende de la clase de roca y tipo de explosivo empleado:

$$B = \frac{(Kb) * \emptyset}{12}$$

Dónde:

B = Burden.

Ø = Diámetro de taladro.

Kb = Constante, según el siguiente cuadro:

### Teoría de Richard Ash modificado

La fórmula propuesta por Richard Ash, fue modificado en 1980, en el cual incorpora la velocidad sísmica del macizo rocoso, para calcular el burden y es como sigue:

$$B = \frac{K_b x d}{12} \left[ \frac{dr1}{dr2} \right]^{\frac{1}{3}} x \left[ \frac{SG2 x (V2)^2}{SG1 x (V1)^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

Donde:

B = Burden (pies)

Kb = Estándar del burden.

d = Diámetro del taladro.

dr1 = Densidad de roca promedio (2.7 gr/cc).

dr2 = Densidad de roca a disparar.

SG1 = Densidad del explosivo referencia (1.39 gr/cc).

SG2 = Densidad del explosivo a utilizar.

V1 = VoD del explosivo referencia (3 660.6 m/seg).

V2 = VoD del explosivo a usar.

### Teoría de López Jimeno

$$B = 0.012 * \left( \frac{2 * SGe}{SGr} + 1.5 \right) * Dc$$

Donde:

B= burden en (metros)

S<sub>Ge</sub> = Gravedad específica del explosivo (gr/cm<sup>3</sup>)

S<sub>Gr</sub> = Gravedad específica o densidad de la roca (gr/cm<sup>3</sup>)

D<sub>c</sub> = diámetro del carga del explosivo (mm)

### Teoría de C. Konya.

Basándose como en teorías del Dr. Ash determinando el burden en base entre relación del diámetro de carga explosiva y la densidad tanto como del explosivo como de la roca.

$$B = 3.15 * \phi * \sqrt[3]{\frac{Pe}{Pr}}$$

Donde:

B = burden (pies)

∅ = diámetro de explosivo (pulg)

Pe = densidad del explosivo (gr/cm<sup>3</sup>)

Pr = densidad de la roca (gr/cm<sup>3</sup>)

### 2.5.3. Calculo de sub perforación.

El término sub perforación se utiliza comúnmente para definir la profundidad a la cual se perforará el barreno por debajo del nivel de piso propuesto, en este caso el banco de 12 metros, para asegura que el rompimiento efectivo de la voladura sea a nivel. Los barrenos normalmente no rompen la profundidad total. En la mayoría de las obras de construcción y minería se utiliza la sub-perforación, a menos que, por coincidencia, exista un estrato suave o que una junta de dos estratos se localice al nivel de piso. Si esto ocurre, no se utilizará la sub perforación. De hecho, los barrenos pueden rellenarse una distancia equivalente de 6 a 12 diámetros de la carga, para confinar los gases y mantenerlos

alejados del estrato suave. Por otro lado, si existe un estrato suave a corta distancia por encima del nivel de piso propuesto y por debajo de éste existe roca masiva, es común encontrar sub-perforación más profundas de manera de poder romper el material por debajo del estrato suave. En este caso, se deja una sub- perforación igual a la dimensión del burden por debajo del nivel de piso para asegurar el rompimiento a nivel. En la mayoría de los casos la sub- perforación. Se calcula de la siguiente manera (Konya, 2002):

$$J = 0.3 \times B$$

Donde:

J: Sub-perforación (m)

B: Burden (m)

#### 2.5.4. Distancia del taco.

La distancia del taco se refiere a la porción superior del barreno que normalmente se rellena con material inerte, para confinar los gases de la explosión. Para que una carga de alto explosivo funcione adecuadamente sea más eficiente y libere el máximo de energía, la carga debe encontrarse confinada dentro del barreno. El confinamiento adecuado también es necesario para controlar la sobrepresión de aire y la roca en vuelo. La relación común para la determinación del taco es:

$$T = 0.7 \times B$$

Donde:

T: Taco (m)

B: Bordo (m)

En la mayoría de los casos, una distancia de taco de  $0.7 B$  es adecuada para evitar que salga material prematuramente del barreno. Debe recordarse que la distancia del taco es proporcional al burden y, por lo tanto, al diámetro de la carga, a la densidad del explosivo y a la densidad de la roca, ya que todos estos son necesarios para determinar el burden. La distancia del taco es también función de estas variables. Si la voladura tiene un diseño pobre una distancia del taco de  $0.7 B$  puede no ser adecuada para evitar que el material se

escopeteo. De hecho, bajo condiciones de un diseño deficiente, el doblar; triplicar o cuadruplicar la distancia del taco, no asegura que los barrenos funcionen correctamente, por lo tanto, la distancia del taco promedio discutida arriba solamente es válida si la voladura está funcionando adecuadamente.

Sí las distancias de los tacos son excesivas, se obtendrá una fracturación muy pobre en la parte superior del banco y la cantidad de rompimiento trasero se incrementará. Cuando una voladura funciona apropiadamente, la zona del taco se levantará suavemente y caerá en la pila de roca después de que el borde se ha movido hacia fuera (Konya, 2002).

En la Figura N° 2 se muestra el exceso de taco mencionado en el párrafo anterior demostración de un buen taco y un taco pobre.

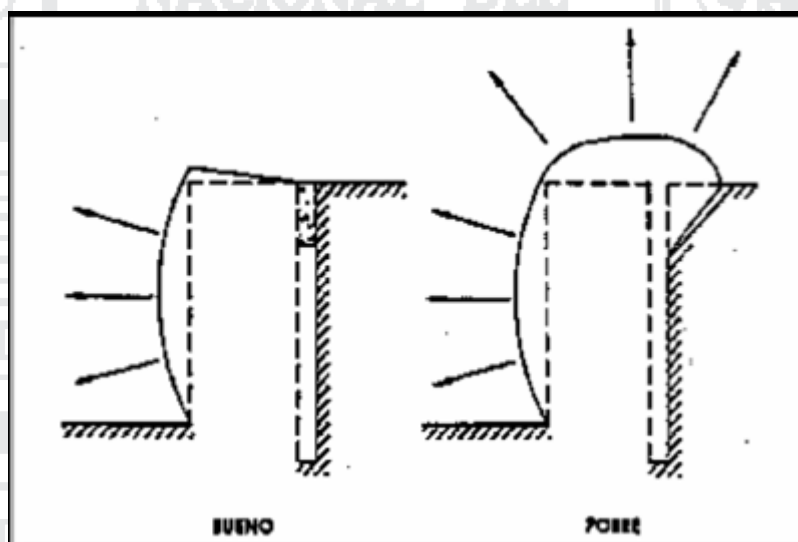


Figura N° 2: Taco de taladro para carguío.  
Fuente: (Konya, 2002)

### 2.6.1. Malla de perforación para zanjas.

Las voladuras en zanja podrían, por su apariencia, asimilarse a las voladuras en banco, pero presentan respecto a éstas una serie de particularidades, que requieren un tratamiento aparte. En primer lugar este tipo de voladuras dispone de una anchura de frente muy pequeña, generalmente comprendida entre 1 y 3 metros. Así mismo la profundidad de la excavación suele ser pequeña, inferior normalmente a los 5 metros en esta ocasión para



el canal San Antonio de Miña es de 1.5 metros. Todo ello supone una menor superficie de reflexión (cara libre) disponible y un mayor grado de fijación al terreno del macizo a volar.

Por otra parte, dado los pequeños volúmenes de excavación en esta clase de voladuras, una operación eficiente exige, por lo general, que esté constituida por un número mucho mayor de filas que de barrenos por fila.

En definitiva, la voladura ha de realizarse en condiciones de mucho mayor confinamiento de la roca. Las fuerzas de rozamiento del macizo rocoso con los hastiales de la excavación son grandes y su arranque requiere una mayor energía. Así, es necesario un diseño especial que permita que el perfil final de la excavación y la fragmentación obtenida sean los adecuados. Los barrenos de cada fila pueden disponerse alineados o bien con los barrenos centrales algo adelantados respecto a los de contorno. Esta última disposición práctica muy similar a la de los barrenos centrales, por lo que las cargas explosivas de ambos han de ser también similares. La disposición alineada, en cambio, deja a los barrenos de contorno una “piedra” práctica inferior a la de los barrenos centrales, por lo que se suelen cargar con aproximadamente un 20% menos de explosivo que éstos. De esta forma se evitan en parte las sobrexexcavaciones y se consigue un perfil final de excavación más regular y parecida al teórico. Por otra parte, la pequeña altura de banco de que se dispone en estas voladuras deberá proporcionar una longitud de barreno suficiente para poder dimensionar tanto la carga explosiva como el retacado. Por dicha razón y porque aumenta la superficie de cara libre disponible, es muy recomendable perforar los barrenos con una cierta inclinación. La concentración de carga de fondo por metro lineal suele ser del orden de 0,8 a 0,9 B2 y la de la carga de columna, en el supuesto de que como antes se apuntaba haya suficiente longitud de barreno para ella, un 40 o 50% de carga de fondo. De todo ello resulta una carga específica de 0,8 a 1,2 kg/m<sup>3</sup>.

La voladura de zanjas y de canales menores para irrigación y drenaje, es una alternativa cuando la excavación mecanizada no es imposible por falta de equipo, o impracticable por presencia de rocas. Esta excavación puede ser efectuada en diversos tipos de suelo, pero su practicabilidad sólo puede ser determinada mediante pruebas. La cantidad de carga, profundidad y distancia entre taladros deberá ajustarse en cada caso a las

condiciones propias del lugar. Como regla general se estima que esta voladura es más efectiva en margas, arcillas húmedas y tierra compacta, mientras que usualmente es inefectiva en arena, gravas y tierra suelta. En todos los casos es importante el sellado de los huecos con taco inerte. Se aplican dos métodos: convencional y de propagación, siendo lo usual disparar una sola fila de taladros, por tandas.

De acuerdo a las condiciones del terreno podrá aplicarse Exadit o Semexsa, sólo en condiciones de exceso de agua será necesaria una Gelatina Especial 75 o Gelatina Especial 90. Las cargas se ceban individualmente, lo que es la característica del método, y se disparan en forma simultánea para producir el zanjado, ya que no se requiere efecto secuencial. El material volado se desplazará a los flancos. Para el encendido es preferible el empleo de cordón detonante, aunque también pueden usarse detonadores eléctricos o no eléctricos tipo Nonel, instantáneos. Si sólo se dispone de los de retardo se usarán todos del mismo número, que pueden ser entre el número 1 y el número 10 (EXSA, 2010).

Se denominan zanjas a aquellas obras lineales de superficie con una anchura comprendida entre 0,6 y 3 m y una profundidad que puede oscilar entre 0,5 y 5 m. Cuando exceden estas dimensiones pasan a denominarse excavaciones en trinchera. La voladura en zanjas presenta mayor factor de carga relativa, lo que a su vez incrementa la proyección de fragmentos y la vibración.

### **2.6.2. Diámetro de perforación de la zanja.**

Debe ser cuidadosamente determinado para cada trabajo, así diámetros menores (32 a 45 mm) permiten ajustar espaciamientos, lo que es favorable para zanjas angostas, menores a 0,6 metros. Por otro lado taladros de 50 a 75 mm (2" a 3") pueden crear efecto de sobrerotura lateral, proyección de fragmentos y vibración, debido al mayor factor de carga. Normalmente la selección del diámetro es un compromiso entre alta producción y costo final del trabajo. Como regla para voladura convencional de canal podemos considerar que (EXSA, 2010):

$$\text{Øt} = (w/60)$$

Donde:

$\varnothing$  : diámetro de taladro a seleccionar, en mm.

w : ancho proyectado del canal, en mm de donde

Se puede considerar lo siguiente

## 2.7. Explosivo y agentes de voladura.

### 2.7.1. ANFO.

El ANFO es una mezcla explosiva de un oxidante y un combustible; el oxidante es el nitrato de amonio (AN) y el combustible en este caso es el petróleo diesel N° 2 (FO). La proporción de la mezcla está dada en porcentajes (teórico) por peso de los ingredientes (Camac Torres, 2014):

$$\text{AN} = 94.48\% \text{ y FO} = 5.52\%$$

El producto ANFO más ampliamente usado en la práctica es una mezcla a granel balanceado en oxígeno y con un ligero exceso de combustible, o sea de AN =94% y FO = 6%, otros ingredientes son añadidos al ANFO como el aluminio para formar un producto conocido como ALANFO, nitrato de sodio para formar el producto SANFO, con emulsiones para formar el Heavy ANFOs.

El nitrato de amonio ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ), es una sal amoniacal, es producido por la neutralización del ácido nítrico con amoníaco. El resultado de la solución es evaporado y convertido en forma de escamas o granos sólidos de nitrato de amonio.

En la línea de reducir el contenido en nitroglicerina (o nitroglicol) del explosivo para incrementar su seguridad, surgieron los explosivos tipo ANFO (Ammonium Nitrate + Fuel Oil), explosivos compuestos por un 94 % aproximadamente de nitrato amónico que actúa como oxidante y en torno a un 6 % de gasoil que actúa como combustible. Las características de este explosivo son las siguientes (Camac Torres, 2014):

- Muy baja densidad (0,8).
- Nula resistencia al agua, ya que el nitrato amónico es soluble en agua y pierde su capacidad de detonar.

- Baja velocidad de detonación (2.000 - 3.000 m/s).
- No son sensibles al detonador, por lo que necesitan de otro explosivo para iniciarse correctamente, lo que puede conseguirse con cordones detonantes, cebos de dinamita gelatinosa, cartuchos de hidrogel.

Debido a su consistencia granular y a la solubilidad del nitrato amónico, no resisten al agua, por lo que su aplicación en barrenos que contengan este elemento está totalmente desaconsejada. Por el contrario, esta consistencia granular hace que el explosivo ofrezca una importante ventaja, y es la de que resulta muy fácil la carga mecanizada del mismo.

En ocasiones se introduce cierta cantidad de polvo de aluminio metal, cuya oxidación durante la detonación es la de incrementar el calor de explosión y, por tanto, la potencia del explosivo. Se obtiene así el producto denominado ALANFO (ALuminium + Ammonium Nitrate + Fuel Oil).

En la Figura N° 3 se aprecia ANFO mezclado con emulsión la mezcla que alcanza el 1gr/cc a 1.1gr/cc de densidad generalmente este se utiliza en zonas donde existe presencia de agua.



**Figura N° 3:** ANFO mezclado con emulsión.  
**Fuente:** Autor de tesis

ANFO con 0.85 gr/cc en la Figura N° 4 se observan los prills los cuales tienen gran capacidad de absorción como se ve en la imagen los prills son como pequeñas billas de baja densidad pero gran capacidad de absorción.



**Figura N° 4** ANFO prills

**Fuente:** Autor de tesis

Las influencia de las propiedades físicas y químicas del nitrato de amonio (AN) juegan un rol importante en el diseño y formulación de los agentes de voladura, los diversos tipos de nitrato de amonio en el mercado pueden diferir en sus propiedades físicas, pero químicamente son similares.

Densidad y absorción de petróleo los prills de nitrato de amonio (AN) para voladura son generalmente menos densos, más porosos y tienen menos recubrimiento que los granulados fertilizantes, los poros en los prills de AN cumplen dos funciones:

- Permiten a los prills absorber y retener el combustible o petróleo de manera uniforme.
- Mejorar la sensibilidad.

La densidad del ANFO a granel depende de la densidad y tamaño de partícula del nitrato de amonio (AN) en la mezcla. La mayoría de los ANFOs tienen una densidad de vaciado (free flowing) de 0.80 a 0.88 g/cc

En general la velocidad de detonación en los explosivos crece linealmente con el aumento de la densidad, por consiguiente se recomienda utilizar productos más densos; sin embargo un incremento de la densidad de los prills de nitrato de amonio, es acompañado

con un decrecimiento en la capacidad de absorción del petróleo y como consecuencia un decrecimiento de la sensibilidad. Dependiendo del tamaño de la partícula del nitrato de amonio, método de carguío y empaçado, la máxima densidad práctica de las mezclas de ANFO varía de 1.10 g/cc a 1.2 g/cc la sensibilidad del ANFO decrece rápidamente y no detonará eficientemente y podrán no ser iniciados.

En el Cuadro N° 4 Velocidad de detonación del ANFO y su relación con el diámetro del taladro donde se aprecia que al tener mayor diámetro mayor velocidad de detonación posee.

**Cuadro N° 4:** Relación de velocidad de detonación y diámetro de taladro.

<b>Velocidad de detonación VS Diámetro de taladro</b>	
Diámetro de taladro en pulgadas	Velocidad de detonación (pies/Segundos)
1.50	8000
2.50	11600
3.00	12000
6.50	13900
9.00	14500
15.00	15000

Fuente: (Camac Torres, 2014)

### 2.7.2. Booster.

Son conocidos también con el nombre de "primer" o "cebos" son explosivos de alta potencia y gran seguridad, se utilizan para iniciar los agentes de voladura, slurries y emulsiones donde un fulminante simple o el poder explosivo de un cordón detonante no inicia al explosivo, en otros casos se usa como explosivo rompedor normalmente se utiliza en taladros de gran diámetro (Camac Torres, 2014).

La iniciación de la columna explosiva sucede de la siguiente manera: Cuando detona el explosivo iniciador, genera una presión de detonación en forma de energía mecánica, esta energía se transforma súbitamente en energía calorífica en forma de "puntos calientes" que hace reaccionar a la masa explosiva.

Los booster más conocidos son los cilíndricos, conteniendo una masa de alto explosivo estos accesorios, poseen dos orificios pasantes paralelos al eje, de esta manera se facilita en ensamble con el cordón detonante aparte posee gran resistencia a la fricción y a



golpes lo cual ofrece una mayor seguridad, también es resistente al agua y al aceite lo cual lo hace más confiable este es el explosivo iniciador de la columna explosiva que se utilizara para la voladura de la columna explosiva.

### **2.7.3. Componentes y especificaciones técnicas del booster.**

El booster tiene los principales componentes, pentolite (50% petn, 50% RDX), TNT. La presentación del booster es en forma cilíndrica con coberturas de cartón esta viene en distintas dimensiones y pesos pero la que elegiremos para la voladura requerida será el booster de 3 libras (Camac Torres, 2014).

Se ha realizado estudios para demostrar científicamente cual debe ser la mejor ubicación del booster o iniciador dentro de la columna explosiva según estudios de la mecánica de rocas se ha determinado que la ubicación del "primer " o booster tiene un efecto directo en la magnitud y forma de la honda de esfuerzo de la roca. Esfuerzo máximo normalmente ocurre en la dirección que detona la columna explosiva, la intensidad y forma de esta onda de esfuerzo está relacionada con la velocidad a la que viaja la onda en la roca y a la velocidad de detonación del explosivo.

Existen varias normas que pueden guiarnos para una mejor ubicación. De acuerdo a la experiencia y criterio practico, se debe seguir como norma "colocar el iniciador en la zona de más difícil rotura" lo que generalmente ocurre en el fondo del taladro. En voladura, aparte de los niveles de esfuerzo, existen otros factores que se debe considerarse para decidir la ubicación del "primer" o booster en el fondo del taladro o en la parte superior. Sin embargo el cebado en el fondo del taladro ofrece la ventaja de que los gases de la explosión se confinan durante más tiempo.

Cuando se utilizan explosivos relativamente insensibles como los agentes de voladura secos, slurries y emulsiones, debe de considerarse el iniciado o cebado múltiple para asegurar de que el explosivo detone a todo lo largo del taladro.

En la Figura N° 5 se observa el booster de famesa a utilizarse para la voladura de bancos donde también se aprecia los tamaños de orificios para el amarre del encendido.





**Figura N° 5:** Booster famesa para carguío de taladros.  
**Fuente:** Famesa.

### 2.8.1. Sistema de perforación a percusión

Esta denominación engloba todas aquellas formas de perforación en las que la fragmentación de la roca se produce básicamente por impacto de un útil de filo más o menos aguzado sobre la misma.

Los sistemas que se van a abordar en éste estudio y que se utilizan actualmente son rotopercusivos, en los que además de la percusión proporcionan al útil de corte un movimiento de rotación y una relativamente pequeña fuerza de empuje para una transmisión de la energía más eficaz.

En estos sistemas la velocidad de perforación es proporcional a la potencia de percusión (producto de la energía de impacto por la frecuencia de golpes). En cambio, la rotación y el empuje son meras acciones auxiliares que, siempre y cuando se superen unos valores mínimos necesarios para espaciar convenientemente los puntos de incidencia de los impactos y mantener el útil de perforación en contacto con la roca, influyen relativamente poco en la velocidad de perforación.

El martillo es el elemento que proporciona la percusión mediante el movimiento alternativo de una pieza de choque, que es el pistón, que sucesivamente golpea sobre el utillaje de perforación. El pistón puede ser accionado por aire comprimido (perforación neumática) ó por aceite hidráulico (perforación hidráulica).

Dado que la única forma técnicamente aceptable de valorar un martillo perforador es su potencia de percusión y su eficiencia, es conveniente describir y analizar los aspectos que definen ésta potencia, las distintas formas que existen de medirla y los parámetros de los que depende.

La figura 1 representa esquemáticamente el mecanismo de percusión de un martillo. Este mecanismo consta de una pieza móvil (pistón) que se desplaza con un movimiento de vaivén en el interior de una cámara (cilindro) por la acción que un fluido a presión (aire ó aceite) ejerce sobre una determinada superficie (área de trabajo). La longitud de este desplazamiento que en general es una constante de diseño se denomina carrera.

### **2.8.2. Perforadoras con martillo en cabeza.**

Son perforadoras cuyo martillo está diseñado para trabajar mediante aire a 7 - 8 bar de presión máxima. Como consecuencia, y al objeto de disponer de una energía de impacto suficiente, el área de trabajo del pistón ha de ser grande (ténganse en cuenta que la energía de impacto viene dada por el producto de tres factores: presión efectiva, área y carrera del pistón). El perfil longitudinal del pistón tiene por tanto forma de T, incorpora también el mecanismo de rotación que a su vez puede ser independiente o no del de percusión en función de los tamaños y diseños.

El empuje lo proporciona el motor de avance (neumático) que a su vez acciona una cadena a la que va enganchado el martillo y que de esta forma desliza sobre un bastidor denominado “corredera” o “deslizadera”. El conjunto generalmente queda montado sobre un chasis que sirve de portador para el resto de elementos que proporcionan todos los movimientos de posicionamiento y traslación.

La fuente de energía primaria para la percusión es el aire comprimido que a su vez es suministrado por un compresor incorporado en el equipo de perforación. En modelos más antiguos, el aire comprimido era suministrado desde una unidad compresora independiente y remolcable, ya que disponía de sus propias ruedas y que se conectaba a la perforadora mediante una manguera. Esta unidad podía situarse a una distancia de unos 20 – 40 m de la perforadora para que las pérdidas de presión no fueran excesivas.

### 2.8.3. Características del equipo ECM 720.

La máquina perforadora ECM 720 tiene las siguientes características cabe mencionar que este equipo se utiliza para la construcción de accesos, voladura en construcción, minerales industriales como canteras de calizas, canteras de rocas para construcción y otros, también se utiliza en minería de oro por su control de diámetro de taladro y aceros cambiables y manipulables para el diseño de mallas de distintos tipos, A continuación presentamos las características de la máquina perforadora ECM 720 Atlas Copco.

- Manejo de barras Mecanizada
- Motor de aceleración automática
- Sistema de bloqueo contra Progresista (estratos sentido)
- Sistema hidráulico de detección de carga
- Puertos de prueba del sistema hidráulico central
- Control del ventilador de refrigeración de velocidad variable
- Perforación de la roca dispositivo lubricador automático

En el Cuadro N° 5 se observa la descripción de algunos atributos de la máquina perforadora ECM 720 Atlas Copco.

**Cuadro N° 5:** Características de los taladros hechas por la perforadora.

<b>Gama de agujero recomendado</b>	
102 -140 mm	4 - 5.5 pulg
<b>Profundidad del agujero</b>	
29.5 m	97 pulg

**Fuente:** Atlas Copco

Especificaciones del compresor

- Dos etapas, tornillo tipo de compresor
- Presión de trabajo, Max..... 10,3 bar 150 psi
- FAD, a presión normal de trabajo ..... 226 l / s 480 cfm
- sistema hidráulico

## Especificaciones de volúmenes

- Depósito de aceite hidráulico ..... 568 l 150 US gal
- Sistema hidráulico,..... total de 795 l 210 US gal
- Aceite del compresor ..... 62,5 l 16,5 US gal
- Aceite del motor Diésel ..... 26,5 l 7 US gal

La fase de perforación es la más costosa y debe de ser precisa esta tiene factores los cuales podemos obtener con cálculos y formulas citaremos algunas para determinar tiempo y algunos que influirán directamente a los costos de perforación para la elaboración de precios unitarios y determinación de tiempos de perforación.

**2.9. Costos de perforación y voladura.**

La perforación y voladura son las actividades unitarias que da inicio al proceso de minado o arranque de material, los costos son valores recursos reales o financieros utilizados para la producción en un determinado tiempo también podemos asegurar que los costos son la mejor información para la toma de decisiones, para el análisis de costos los dividimos en dos: costos fijos y costos variables.

La perforación es realizar una cantidad de taladros diseñados y localizados estratégicamente para que contengan una cantidad de explosivo; la actividad de perforación es la más costosa pues se involucran varios factores los cuales involucran costos variables tomando en cuenta la variable aleatoria como es el macizo rocoso, si la perforación no se hace adecuadamente no importa que si el explosivo es de alta potencia la voladura final resultara deficiente por eso se reitera que la perforación es la actividad inicial más importante en el proceso de perforación y voladura. De esta actividad también da origen al planeamiento a corto y largo plazo cabe señalar que de esta actividad depende el éxito o fracaso del proceso de producción.

La maquinaria para las actividades de la perforación es uno de los bienes de capital más costoso; por ello, quien posee ésta debe tener en cuenta que el capital que ha invertido en su adquisición, debe de ser un dinero susceptible de ser recuperado con una utilidad razonable, gracias al trabajo realizado por la máquina misma. Conviene resaltar que la

recuperación del capital invertido antes indicado, conlleva a que el valor de reposición de la maquinaria sea permanentemente actualizado a fin de evitar que factores tales como: la devaluación de la moneda, inflación, etc., que son problemas muy comunes y a su vez no impida restituir la maquinaria usada una vez concluida su vida útil.

El costo horario de posesión y de operación de la maquinaria, se define como la cantidad de dinero necesaria que permita: adquirirla y operarla, es decir; hacerla funcionar, realizar los trabajos para lo cual fue adquirida, mantenerla en buen estado de conservación antes, durante y después de su uso, con un adecuado programa de mantenimiento; a lo que habría que agregar que dicha maquinaria deberá estar debidamente depositada y custodiada, contar con los seguros correspondientes y pagar los impuestos que indique la legislación vigente.

Las maquinarias debido a su uso tienen un desgaste natural según el trabajo que realizan y van perdiendo su valor a través del tiempo, se les efectúe un adecuado mantenimiento o no, la productividad de las mismas tiende a disminuir y por ende los costos de mantenimiento y reparación son cada vez mayores, hasta llegar a un momento en que estas se consideren obsoletas; por lo que su propietario deberá preparar sistemáticamente un fondo de reserva, que permita restituir oportunamente dicho equipo; por uno nuevo o por cualquier otro equipo.

Existen diversos métodos para el cálculo del costo de posesión y operación de la maquinaria; pero estos solo tratan de obtener el costo que más se aproxime a la realidad; el costo real de operación sólo se obtendrá con los datos reales obtenidos de la obra; es muy poco probable que algún método dé resultados iguales a los que arroja los obtenidos de la obra, la idea es que al presupuestar un proyecto es necesario tener costos horarios preliminares de las maquinarias que se utilizaran en el desarrollo de la obra, los que se deberán comparar con los que se obtengan durante el desarrollo de la obra; para tomar las medidas necesarias que permitan obtener el resultado económico previsto para la obra.

Los costos horarios de posesión y operación de la maquinaria, varían debido a diferentes factores, tales como: valor de adquisición, tipo y condiciones de trabajo, precios

de los combustibles y lubricantes, las tasas de interés a las cuales se adquieren las maquinarias, las condiciones tributarias, las prácticas de mantenimiento y reparaciones, etc.

En minería no existe una clasificación pero generalmente según las clasificaciones del macizo rocoso se aceptan generalmente que los trabajos se puedan clasificar en 3 categorías: condiciones suaves, condiciones medias y condiciones severas, estas también pueden ser modificadas siempre avalados por un estudio que demuestre que las condiciones de trabajo son uniformes, pero esto es poco frecuente pues en minería generalmente las condiciones de terreno varían lo cual repercute en los costos pero podemos adecuarnos según los datos aleatorios que podamos disponer a favor de nuestro estudio.

Es importante indicar, así mismo, que para el análisis del costo de hora-máquina que se divulgan en las diferentes publicaciones especializadas; se consideran condiciones medias o promedio de trabajo; por lo que, cada vez que se está presupuestando un proyecto de obra, será necesario estudiar con cuidado las condiciones de trabajo y hacer las correspondientes modificaciones a las tarifas; utilizando para ello la experiencia y el sentido común del ingeniero encargado de elaborar el presupuesto correspondiente pues muchas empresas por no haber realizado estudios detallados no considerando ciertas variables cometen errores al momento de cálculo de costos.

En los análisis de precios unitarios, el costo horario de la maquinaria, interviene como la suma de los costos de posesión y operación. Resulta de vital importancia mantener estadísticas de los costos de las obras anteriores; dado que las mismas servirán como base de los nuevos cálculos, pero será necesario tener presente que los proyectos por mas similares que sean, no siempre producen costos iguales; lo mismo que sucede con la maquinaria similar, es poco probable que se obtengan costos iguales en obras diferentes, porque las condiciones de trabajos son casi siempre diferentes.

### **2.9.1. Costos fijos.**

Aquellos que por su naturaleza son independientes a la producción que no tienen relación con la producción podemos mencionar algunos como por ejemplo: seguros, intereses una máquina.



### 2.9.1.1. Valor de adquisición (Va)

Es el precio actual en el mercado y se obtiene solicitando cotizaciones a los proveedores sobre la venta de maquinaria. Este costo depende si el equipo es de fabricación nacional ensamblado o extranjera, y se deben tener en cuenta todos los gastos incurridos en la adquisición de la maquinaria., tales como: fletes, seguros, embalajes, impuestos, aduanas, etc.

### 2.9.1.2. Vida económica útil (VEU)

La vida económica útil de una máquina para minería y construcción pueden definirse como el período durante el cual dicha máquina trabaja con un rendimiento económicamente justificable. Generalmente, los manuales de los fabricantes y libros técnicos estiman la vida útil en horas totales, a título indicativo se pueden dar los siguientes ratios, solo como ejemplo para que se tenga como referencia:

- **Maquinaria pequeña:** 6,000 horas de trabajo; 3 años de duración.
- **Maquinaria de obra pesada:** 10,000 horas de trabajo; 5 años de duración.
- **Maquinaria de obra extraordinariamente pesada:** 16,000 horas de trabajo; 8 años de duración.

### 2.9.1.3. Valor de rescate (Vr)

El valor de rescate llamado también valor de recuperación, valor residual ó salvataje, se define como el valor de reventa que tendrá la máquina al final de su vida económica útil. Generalmente, el valor de rescate que se puede considerar fluctúa entre 20 a 25% del valor de adquisición para maquinarias pesadas (cargadores, mototraíllas, tractores, etc.) en países en desarrollo como el nuestro; en otros países donde se producen maquinarias y equipos este valor es significativamente menor al señalado anteriormente. Asimismo, debemos señalar que para maquinarias y equipos livianos (compresoras, mezcladoras, motobombas, etc.), el valor de rescate puede variar del 10% al 20% del valor de adquisición.



#### 2.9.1.4. Depreciación (D)

La máquina al trabajar se desgasta y por consiguiente se devalúa, tanto así que aun no trabajando la maquinaria se devalúa; para cubrir esta devaluación progresiva, está la depreciación (anual, mensual diaria u horaria), que deberá ser obtenida del mismo resultado económico que esa maquinaria consigue con su trabajo, cuya acumulación hasta el final de la vida útil de la misma, deberá proporcionar fondos para adquirir otra, llegado ese día final. La depreciación es un concepto que pertenece a varios ámbitos, entre los que podemos citar: el de la contabilidad, el derecho tributario, el técnico...etc., desde el punto de vista contable la “depreciación consiste en reconocer que con el paso del tiempo y el uso que se le da a ciertos activos, estos van perdiendo o disminuyendo su valor. Por ello debe registrarse en la contabilidad de las organizaciones económicas este ajuste que sufren los activos fijos”; esto se refiere a la disminución legal que se puede efectuar en la contabilidad de las empresas, la misma que se genera desde el inicio de la compra de la maquinaria, teniendo en consideración su valor de adquisición, los fletes, seguros, embalaje...etc.; y es vigente durante todo el periodo de su vida económica de la maquinaria. La depreciación se refleja en los balances de las empresas, como se puede apreciar en los activos fijos de un balance.

Formula a emplearse para la depreciación

$$D = \frac{Va - Vr}{VEU}$$

D = Depreciación hora de trabajo

Va = Valor de adquisición.

Vr = Valor residual o valor de recuperación.

VEU = Vida económica útil expresada en horas.

#### 2.9.1.5. Costo financiero total (CFT).

En las operaciones de préstamo es común hallar que el costo financiero total difiere de la tasa de interés inicialmente pactada como consecuencia de la incorporación de conceptos que, en algunos casos incrementan los desembolsos periódicos que tienden a cancelar el valor del préstamo y en otros son deducciones del valor originalmente pactado.

Es la principal variable que debe tener en cuenta al elegir un préstamo personal, prendario o hipotecario, ya que es el mejor indicado del costo global que deberá afrontar el cliente. Es en cierta medida, el único dato que tiene un cliente para comparar los precios de los créditos.

Fórmula empleada para el costo financiero total.

$$CFT = \frac{((N + 1)2N) * Va * i * N}{VEU}$$

CFT = Costo financiero total.

Va = Valor de adquisición.

i = interés.

VEU = Vida económica útil expresada en horas.

N = vida económica en años.

#### 2.9.1.6. Seguros.

Se considerará la tasa anual que debe pagar el propietario a una compañía de seguros para proteger la maquinaria contra todo riesgo, este es un costo que estará perfectamente determinado por el valor de la póliza con que se protegen los equipos, dicho monto deberá ser convertido a un costo horario, en la medida que se está tratando de determinar el costo horario de las maquinarias; sin embargo para una primera aproximación para la determinación del cálculo del costo horario de la maquinaria, por este concepto se puede considerar un porcentaje que varía entre el 2 y 3% de la Inversión Media Anual .

#### 2.9.1.7. Impuestos.

Es la tasa anual de los impuestos exigidos por el gobierno, los que se aplican sobre el bien adquirido; este monto también se encuentra determinado por la Legislación Tributaria vigente, pero como en el caso anterior se puede considerar para una primera aproximación un porcentaje de la Inversión Media Anual.

## 2.9.2. Costo variable o coste variable

Es aquel que se modifica de acuerdo a variaciones del volumen de producción (o nivel de actividad), se trata tanto de bienes como de servicios. Es decir, si el nivel de actividad decrece, estos costos decrecen, mientras que si el nivel de actividad aumenta, también lo hace esta clase de costos.

### 2.9.2.1. Combustibles.

Este es un consumible muy importante debido a su alto valor; la cantidad y precio de los combustibles consumidos variará con la potencia, ubicación, clase de trabajo y tipo de maquinaria a utilizarse; el consumo de combustible también dependerá de la habilidad del operador, por lo que resulta importante capacitarlos periódicamente cada vez que de adquieran nuevos equipos.

La forma más exacta de conocer el valor del consumo del combustible es tomar el dato directamente de la obra, sin embargo como en todo proyecto, al momento de presupuestarlo, se utilizan valores iniciales, que son proporcionados por los manuales técnicos de los equipos, o por la experiencia del profesional que elabora el presupuesto o con los datos estadísticos de obras similares; de obtenerse el contrato para la ejecución de la obra, dichos valores que deberán ser comparados con los valores que se van reportando en el desarrollo de la obra, lo que permitirá tener valores reales de consumo de combustible en obra, y de ser el caso tomar las acciones correctivas correspondientes. Resulta necesario precisar, que debido al incremento en el costo del barril del petróleo; los fabricantes de maquinarias vienen ofreciendo maquinarias con diferentes componentes y tipos de motores, tendientes a un menor consumo de combustible; por lo que será imprescindible recurrir a los manuales de los fabricantes, en donde se detalla en forma pormenorizada el gasto de combustible para sus maquinarias teniendo en consideración diferentes situaciones tales como tipo o clase de trabajo, altura a la cual se desarrolla la obra, etc. Otro elemento importante para la determinación del consumo de los combustibles es conocer la política de mantenimiento de la empresa, ya que esta es de vital importancia, una mala calibración del sistema de inyección o no cambiar oportunamente los filtros de aire, traerán como consecuencia un mayor consumo de combustible.

### **2.9.2.2. Lubricantes.**

El método más exacto para averiguar el costo hora del consumo de cada uno de los aceites, consiste en tomar el dato de la capacidad en galones del depósito de aceite o cárter para los motores y el de los tanques, depósitos de aceite o capacidad del sistema para los aceites hidráulicos, de transmisión mandos finales y reductores, multiplicar este dato por el valor del galón de aceite respectivo y dividir todo en las horas recomendadas para cada cambio correspondiente.

El ambiente de trabajo (seco, húmedo, tropical, con polvo, etc.) obligan a cambiar los lubricantes con más frecuencia, por lo que será necesario determinar estas variaciones extraordinarias que de ninguna manera pueden reflejarse en una simple fórmula por lo que será siempre necesario llevar una estadística que nos permita determinar con mayor exactitud el momento del cambio de lubricantes. Finalmente conviene advertir que es muy importante la calidad de los lubricantes, en base de lo señalado precedentemente puede estimarse el costo de lubricación entre el 10 y 15% del consumo del carburante en motores diésel.

### **2.9.2.3. Grasas**

La cantidad de grasa que se va a usar depende del tipo y tamaño de la máquina, para tener un dato más exacto se debe recurrir a los datos que suministra el fabricante para cada máquina específica.

### **2.9.2.4. Explosivos y accesorios.**

Los explosivos utilizados de alguna forma no son ajenos a la variación de sus costos pues estos van sujetos a la variable aleatoria como es el macizo rocoso entonces depende de esta la cantidad de explosivo o el costo de explosivos a utilizarse, el cálculo que se hace solo es referencial pues siempre en voladura ocurre algunos contratiempos sujetos a que operaciones unitarias varíen en algún grado sus costos.

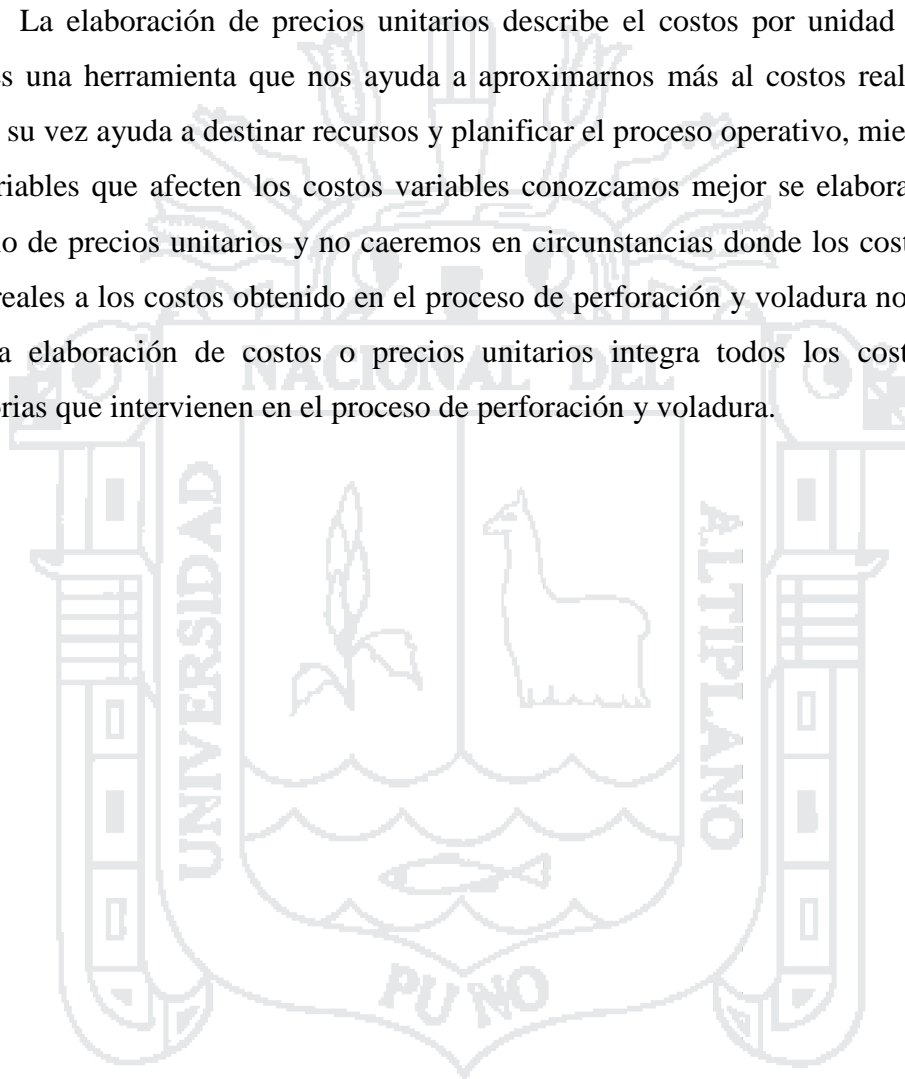
### **2.9.2.5. Aceros de perforación.**

El costo de los aceros de perforación es sin duda el costo que más varía en estas operaciones pues esta depende de varios factores, desde la habilidad del operador hasta las

condiciones geomecánica del terreno y la disponibilidad y eficiencia del equipo en su conjunto.

### **2.10. Elaboración de precios unitarios.**

La elaboración de precios unitarios describe el costos por unidad de producción, esta es una herramienta que nos ayuda a aproximarnos más al costos real de producción esto a su vez ayuda a destinar recursos y planificar el proceso operativo, mientras más datos y variables que afecten los costos variables conozcamos mejor se elaborara las hojas de cálculo de precios unitarios y no caeremos en circunstancias donde los costos unitarios no sean reales a los costos obtenido en el proceso de perforación y voladura no nos olvidemos que la elaboración de costos o precios unitarios integra todos los costos y variables aleatorias que intervienen en el proceso de perforación y voladura.



## CAPÍTULO III

### PARÁMETROS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA.

La fase de perforación y voladura debe de ser la más precisa, ya que una perforación incorrecta puede ser la causa de aumento de costos a largo plazo en las otras actividades como la limpieza y transporte, para la programación de perforación y voladura se requerirá la información de otras áreas, se debe de considerar los parámetros geométricos de minado que son determinantes en el momento de la selección de perforadoras y explosivos también se debe de considerar la secuencia de minado tanto con los rendimientos y eficiencias.

#### 3.1. Parámetros de la roca

Para poder empezar el proceso de la selección de máquina perforadora y el explosivo a utilizarse en el proceso de perforación y voladura, se tiene que considerar algunos parámetros del macizo rocoso, pues por ser una variable aleatoria tendrá una influencia determinante a lo largo de todo el proceso de voladura.

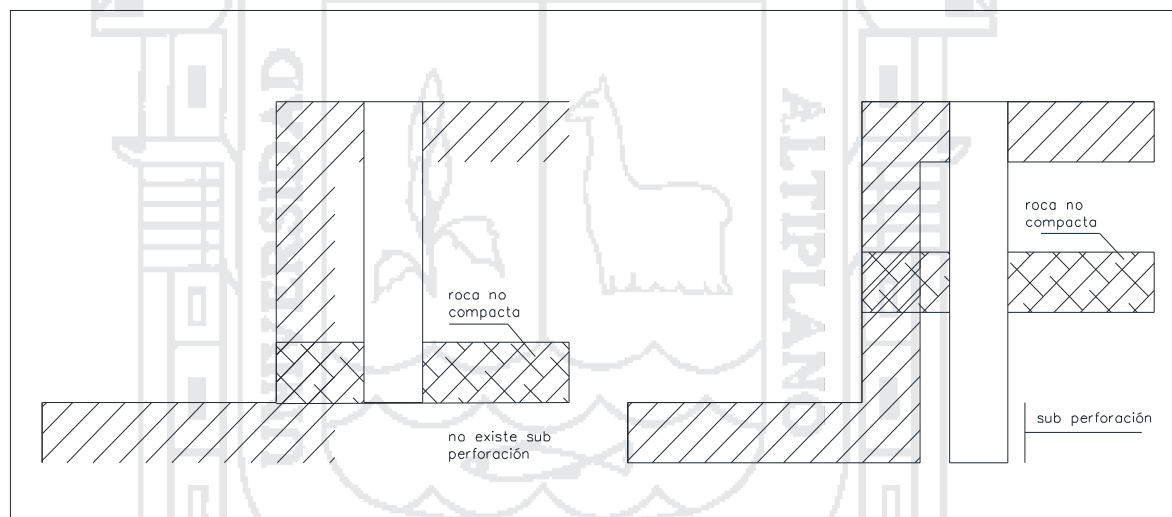
También es necesaria esta información para los parámetros geométricos de diseño de malla de perforación pues como ya se comentó la roca es una variable aleatoria que va influir a lo largo de todo el proceso de perforación y voladura del canal.

Para poder obtener datos que contribuyan a lo largo de la operación se realizara un método de mapeo geomecanico de (Bieniawski) quien considera algunos parámetros que en el proceso de esta investigación también se utilizaran; otras consideraciones que se tomaran en cuenta para poder tener más información referente al macizo rocoso con el objetivo de determinar el largo de perforación y la carga explosiva. Se realizara el mapeo a lo largo de todo el canal desde la progresiva 0 000 hasta la progresiva 4 620 esto con el fin de clasificar las zonas donde hay presencia de agua discontinuidades y rocas alteradas pues se

puede colocar cargas explosivas insuficientes lo cual nos ocasionaría bolones y costos adicionales, o por otro lado carga excesiva de explosivo lo cual ocasionaría sobre ruptura y costos adicionales a limpieza.

Como se muestra en la Figura N° 6 algunos parámetros de roca por sus características no necesitan sobre perforación en el caso del canal San Antonio de Miña se observa el tipo de terreno de la derecha lo cual significa de que tiene que realizarse perforaciones mayores a 12 metros pues se perforara la altura del banco más la sobre perforación.

Perforación de bancos con sobre perforación sin sobre perforación en ambos casos muestra una masa de roca no compacta.



**Figura N° 6:** Bases de taladros, roca suelta y roca compacta.

**Fuente:** (EXSA, 2010)

La toma de datos para el mapeo geomecanico se realizara cada 50 metros en forma lineal a lo largo del canal, de encontrarse variaciones estas se reducirán cada 20 metros para poder encontrar y zonificar las zonas según sus características geomecanicas para facilitarnos los trabajos referidos a la perforación y voladura.

La roca predominante es la andesita; pero al observar el terreno se puede percibir a simple vista variaciones, con respecto a la calidad de la roca esto dará una oportunidad



para poder aplicar las teorías ya existentes y demostrarlas, también se observa la variación de costos con respecto a la variación de la calidad de roca

### 3.1.1. Resistencia de la roca intacta

De las muestras de rocas intactas tomadas en el canal San Antonio de Miña; la andesita fue llevada a laboratorios obteniendo datos de entre 120 mega pascales la mínima y 138 mega pascales la máxima, en las pruebas de compresión simple estas muestras fueron tomadas de distintas progresivas del canal para poder tener datos más reales, pero estas pruebas con respecto al mapeo de (Bieniawski) no tendrá mucha incidencia pues en la tabla los valores de 100 mega pascales a 250 mega pascales toman un valor de 12 en la tabla de valoración de (Bieniawski)

### 3.1.2. Rock quality designation (RQD).

A diferencia de la resistencia de la roca intacta el RQD contribuirá más aun en la medida que se consideren y clasifiquen; los datos del RQD tiene una fórmula que según las muestras de las perforaciones diamantinas, pero también se puede utilizar otro tipo de mapeo para calcular el RQD. Los valores que abarcan son desde 0% considerando muy mala y 100% considerando calidad muy buena, eso dentro de los valores de RQD, en la clasificación donde se considera el mapeo de (Bieniawski) sus cifras alcanzan valores desde el 3 al 20, más adelante se observaran en los parámetros de perforación y voladura como es que estos valores inciden y hacen variar los costos de producción.

El RQD se define como el porcentaje de testigos recuperados con una longitud mayor de 10 cm.

$$RQD = \frac{\sum \text{Longitud total de testigos} \geq 10\text{cm}}{\text{Longitud Total}} * 100$$

Basándose en las valoraciones de RQD, el macizo rocoso puede ser caracterizado según la valoración siguiente.

En el cuadro N° 6 se observa la clasificación del RQD según la calidad de roca.

**Cuadro N° 6:** Clasificación de calidad de roca.

RQD (%)	Calidad de roca
100 - 90	Muy buena
90 - 75	Buena
75 - 50	Media
50 - 25	Mala
25 - 0	Muy mala

**Fuente:** (Bieniawski)

En el estudio no se cuenta con suficientes testigos y testigos adecuados también se propuso otra forma del cálculo del RQD definiendo un RQD superficial según la siguiente expresión matemática.

Donde:

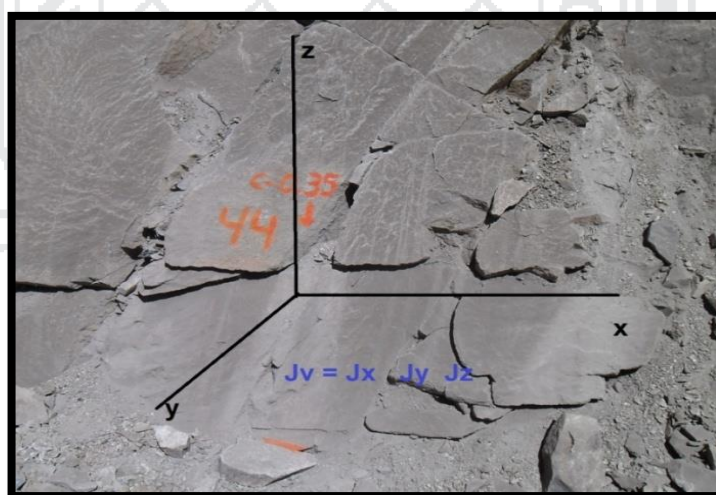
Jv: Numero de contactos por m<sup>3</sup>

Jv: Jx + Jy + Jz

Para: Jv ≤ 5 RQD = 100

$$RQD = 115 - 3.3 * Jv (\%)$$

En la Figura N° 7 se observa el macizo rocoso para cálculo de RQD tomando en cuenta los ejes X, Y, Z



**Figura N° 7:** Sistema de mapeo de RQD, dimensionando la roca.

**Fuente:** Autor de tesis

### 3.1.3. Separación entre diaclasas.

La separación de estas diaclasas se toman en cuenta y se registran para poder observar cómo estas también inciden en los costos de producción, la toma de datos se realizan midiendo la distancia entre diaclasas si estas se encuentran cerca una de otra tomaran cifras de 5 a 20 estas también estarán registradas para poder considerarse en el proceso de operación de perforación y voladura la toma de datos se hará con cinta métrica anexo N°6.

### 3.1.4. Estado de diaclasas.

La toma de datos de las diaclasas se toman valores desde 0 a 30 estos valores también tendrán gran importancia pues al haber aberturas entre diaclasas estas pueden hacer que los explosivos se consuman más de lo programado pues pueden escurrir por espacios vacíos o tener repercusiones en la perforación la toma de datos se realizara por medio de mediciones con el pie de rey anexo N°6.

### 3.1.5. Agua freática.

La toma datos considera las condiciones del terreno donde las cifras fluctúan con valores de 0 a 15, donde los valores consideran desde la fluidez del agua por capas freáticas hasta condiciones donde no hay presencia de agua esto también influye en las variables de explosivos que se verán más adelante pues en donde se encuentra presencia de agua, no es posible utilizar cierto tipo de explosivo y agentes de voladura.

En el Cuadro N° 7 se observa la clasificación del RQD, resistencia, separación de diaclasa, presencia de agua con sus valores para el uso de ANFO o ANFO pesado.

**Cuadro N° 7:** Mapeo de progresivas.

Progresiva		Resistencia roca intacta	RQD	Separación entre diaclasa	Estado de diaclasas	Agua freática	RMR
0	970	12	6	15	25	4	62
970	1500	12	6	15	25	15	73
1500	3200	12	6	8	10	15	51
3200	4150	12	6	15	25	10	68
4150	4620	12	13	15	20	15	75

**Fuente:** Autor de tesis

Los datos del macizo rocoso obtenidos en el terreno; proporciona información esencial para la perforación y voladura; en algunos casos donde la operación lo requiera se utilizara cierto tipo de explosivo esta información se usa para realizar voladura a lo largo del canal para darle dinamismo a la operación, de esta manera se elegirá el explosivo y los accesorios adecuados para la operación.

### **3.2. Parámetros de equipos de perforación.**

La elección del equipo de perforación debe de hacerse en función a los requerimientos de perforación y los volúmenes sugeridos o destinados a mover, de esta manera se considera que la altura de banco requerida es de 12 metros donde no se encuentra una capa de estratos en la base y al no haber una capa de estratos en la base; se necesita perforar más de 12 metros pues siempre se considera una sobre perforación o también llamada sub perforación para que al final resulte un banco de altura de 12 metros esto ya se verá más adelante en los parámetros geométricos o parámetros de diseño.

Elección de equipo de perforación se basara en la longitud requerida para perforar según los cálculos obtenidos una perforadora tienen ciertas características las cuales pueden definir o contribuir a que sean elegidas para el trabajo a realizarse

#### **3.2.1. Análisis de costo horario de perforación.**

La inversión realizada en cualquier equipo sea o no de perforación considera algunos aspectos, como por ejemplo el costo por año o por mes del equipo incluyendo la inversión realizado en los seguros y otros impuestos que sean obligados por las legislaciones actuales, en los costos de perforación se realizó tratando de optimizar costos en esta área pero se tiene que tomar en cuenta ciertos aspectos técnico y el rendimiento de estos equipos de perforación para ello será necesario realizar algunas modificaciones, con respecto a los presupuestos del perforación.

El presupuesto para la máquina perforadora que se asigna es de 82.62 dólares por hora de perforación pero en el nuevo presupuesto que se plantea será de 97.82 dólares por hora de perforación esto significa un incremento de 18.37% más de los asignado inicialmente por hora operativa del equipo de perforación.

En el Cuadro N° 8 se observa la comparación de costos entre las máquinas perforadoras, Sandvix DX 800 y Atlas Copco ECM 720 en dólares por hora.

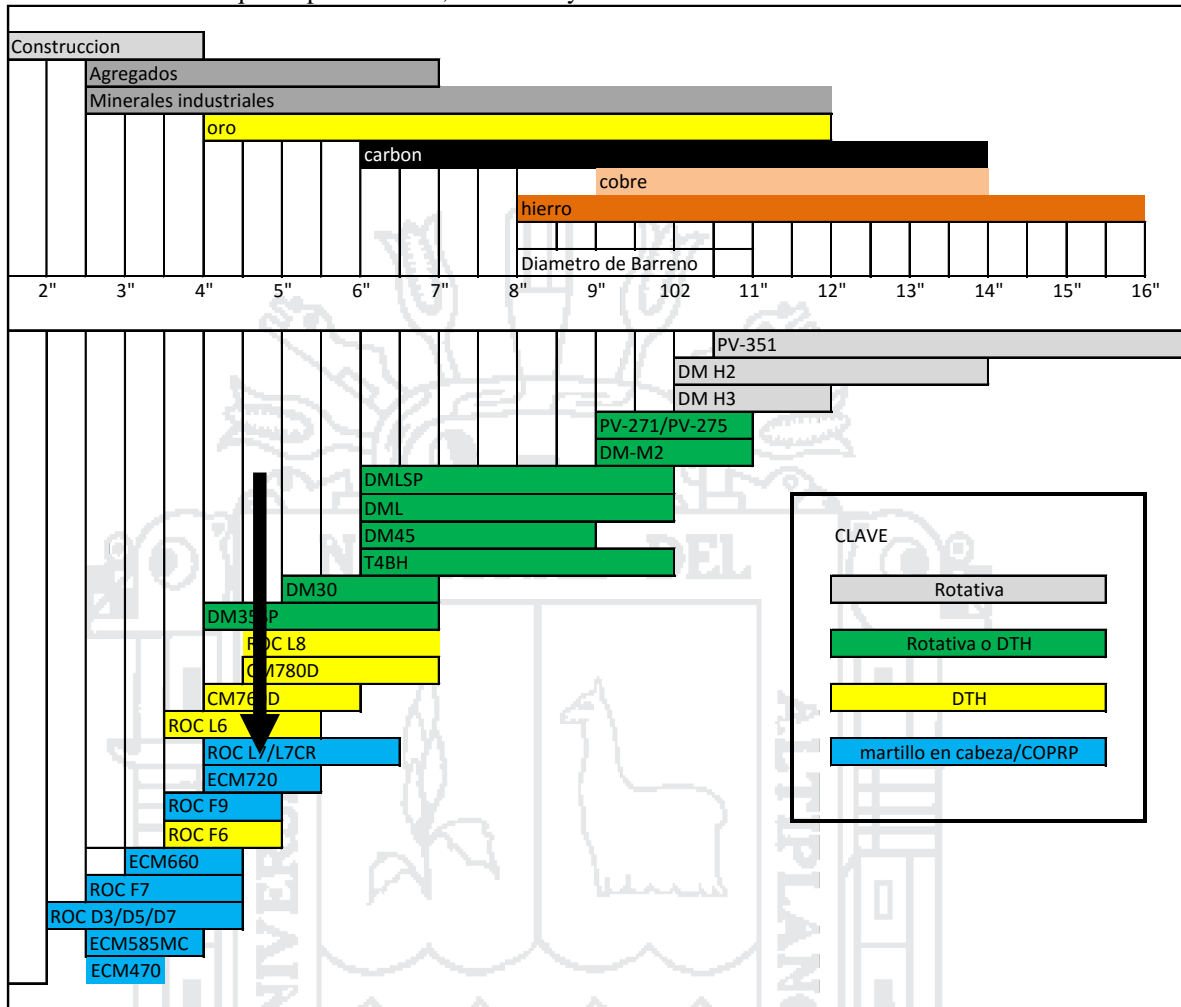
**Cuadro N° 8:** Escenario de costos, comparación de máquinas perforadoras.

<b>CUADRO DE COMPARACIÓN DE COSTOS</b>		
<b>Máquina perforadora</b>	<b>Escenario 1</b>	<b>Escenario 2</b>
	<b>Sandvix DX 800</b>	<b>Atlas Copco ECM 720</b>
Costos de depreciación en US\$	29.50	37.50
Costos financieros en US\$	13.12	16.88
Costos de operación en US\$	40.00	43.45
Costo Total en US\$	82.62	97.83

**Fuente:** Autor de tesis

En el Cuadro N° 9 se observa la selección de máquina perforadora según sus especificaciones técnicas. En el siguiente cuadro se muestra algunas máquinas perforadoras con sus respectivos atributos y sistemas de perforación al igual que los diámetros de taladros que pueden realizar que en este caso tiene que fluctuar valores de entre 0.5% y el 1% del largo requerido de la perforación.

**Cuadro N° 9:** Máquinas perforadoras, diámetros y modelos.



Fuente: (Reategui Ordonez, 2011)

### 3.2.2. Rendimientos de perforación.

Para una eficiente perforación hay varios aspectos que deben de ser tomados en cuenta pues no es solo escoger la máquina de más alto costo o la menos costosa; pues el hecho de optimizar los costos trata de colocar la maquina más adecuada para el trabajo, en otras palabras la más eficiente al menor costo para obtener mejores resultados.

#### 3.2.2.1. Evacuación de detrito

Cualquiera de los sistemas de perforación sólo puede ser eficaz si los esfuerzos mecánicos generados se aplican sobre un fondo de barreno limpio y libre de detritus, pues

de otro modo, se estaría desperdiciando energía en una innecesaria generación de un colchón de fragmentos que ya han sido previamente arrancados.

Para una eficiente perforación se tiene que evacuar el detritus de roca formados por la perforación, los cuales se encuentran dentro de los taladros deben ser inmediatamente evacuados para evitar que sean triturados por los elementos rotativos y cortadores de roca pues por más potente que se la fuerza de perforación en mención de percusión y rotación no se tendrá el avance deseado si no se realiza la evacuación del detritus.

Para ello se debe de suministrar una adecuada circulación de aire para evacuar dichos detritus a la parte superior del taladro; también debe suministrarse suficiente agua para controlar el polvo.

Los insertos de la broca son refrigerados por el volumen suficiente de aire suministrado, que debe proveerse, una serie de pruebas de varios investigadores han deducido que se han obtenido buenos resultados con velocidades mayores o iguales a 5000 pies /min en rocas de alta densidad, para evacuar la roca que tenemos en este caso la andesita su densidad fluctúa entre 2.2 y 2.79 g/cc para ello necesitamos velocidades de entre 2 000 pies/min a 2 500 pies/min para un buen avance y evacuación adecuada de detritus. Por otra parte, para que la perforación progrese adecuadamente, es también necesario disponer de algún sistema que garantice o mejore la estabilidad de las paredes del taladro, evitando su desmoronamiento o la eventual formación de cavidades o huecos de diámetro sensiblemente superior al del barreno.

Un barrido insuficiente no permite la correcta evacuación del detritus y como consecuencia:

- Se reduce la velocidad de perforación.
- Se aumenta el riesgo de atranques.
- Se aumenta el desgaste del útil de corte.

Por otra parte, un barrido excesivo puede:

- Erosionar y socavar las paredes del sondeo
- Producir abrasión del varillaje.

La evacuación de detritus de las máquinas perforadoras están relacionas a la capacidad de barrido de las compresoras y estos en el medio en el cual se desempeñan (Bauer, 1975).



$$Bv = \frac{185.18 * (Q)}{(D^2 - d^2)}$$

Bv : Velocidad de barrido.

Q: Capacidad del aire comprimido.

D: Diámetro del Taladro.

d : Diámetro del barreno.

En el Cuadro N° 10 se observa la comparación de eficiencia de barrido de detritus entre máquinas perforadoras.

**Cuadro N° 10:** Comparación de rendimientos de máquinas perforadoras.

<b>Cuadro de rendimientos</b>		
<b>Máquina perforadora</b>	<b>Escenario 1 Sandvix DX 800</b>	<b>Escenario 2 Atlas Copco ECM 720</b>
Capacidad del compresor CFM	207.35	348.00
Tiempo de perf/taladro	25 minutos	20 minutos
Diámetro de barreno	2.5 pulg.	2.5 pulg.
Diámetro de taladro	5 pulg.	5.5 pulg.
<b>Velocidad de barrido</b>	<b>2044.38 pies/min</b>	<b>2685.11 pies/min</b>

Fuente: Autor de tesis

### 3.2.2.2. Tiempo de perforación.

Para tener en cuenta el rendimiento de una máquina perforadora se debe de considerar los tiempos con una base de datos que contengan tiempos de perforación por taladro o por metros para poder programar trabajos y destinar recursos, en base a los taladros realizados por guardia y no improvisar la producción.

En el Cuadro N° 11 se observa los tiempos tomados a la máquina perforadora ECM 720 Atlas Copco.

**Cuadro N° 11:** Tiempos de perforación de taladros.

Actividad	Tiempos
Mover al siguiente taladro	1',00"
Perforar el primer barreno (2.1 m)	2',30"
Añadir el segundo barreno	0',30"
Perforar el segundo barreno(2.8 m)	2',30"
Añadir el tercer barreno	0',30"
Perforar el tercer barreno (2.8 m)	2',30"
Añadir el cuarto barreno	0',30"
Perforar el cuarto barreno (2.8 m)	2',50"
Añadir quinto barreno	0',30"
Perforar quinto barreno (2.8 m)	3',00"
Regresar los barrenos	0',10"
Desacoplar la perforadora	3',00"
Desacople final	0',10"
<b>Tiempo total</b>	<b>19',40"</b>

**Fuente:** Autor de tesis

En base al tiempo que se tiene registrado por perforación de taladro se realizara un programa de producción considerando taladros mínimos por guardia para realizar la programación de voladura.

En el Cuadro N° 12 se observa la comparación de máquinas perforadoras al perforar un taladro.

**Cuadro N° 12:** Rendimientos en tiempos por pie avanzado.

Cuadro de rendimientos		
Máquina perforadora	Escenario 1 Sandvix DX 800	Escenario 2 Atlas Copco ECM 720
Tiempo de perf/taladro	25 minutos	20 minutos
velocidad de barrido	1995.00 Pies/min	2685.11 Pies/min
Diámetro de taladro	5 pulg	5.5 pulg

**Fuente:** Autor de tesis

### 3.2.3. Aceros de perforación

El uso de aceros de perforación en el desarrollo de las operaciones de perforación y voladura tienen un alto costo en el mercado, estos son de carburo de tungsteno los insertos o dientes son colocados en las brocas cuando estos están en temperaturas muy por debajo de los 0° grados centígrados pues al dilatarse llegan a insertarse perfectamente en la broca.

Por otro lado las barras de perforación tienen dos funciones esenciales; transferir la fuerza de rotación y percusión y llevar el fluido refrigerante a la broca, estas tienen distinto

diámetro y longitudes, para dinamizar el trabajo elegiremos las más adecuada y la cual realizara una perforación de calidad a menor costo y el menor tiempo posible, el rendimiento de los aceros de perforación dependerá de la calidad de barrido dentro del taladro.

En el Cuadro N° 13 se observa la comparación de rendimiento de los aceros de perforación de las máquinas perforadoras.

**Cuadro N° 13:** Rendimiento de recursos usados.

<b>Cuadro de rendimientos</b>		
<b>Máquina perforadora</b>	<b>Escenario 1 Sandvix DX 800</b>	<b>Escenario 2 Atlas Copco ECM 720</b>
Diámetro de broca utilizada	5 pulg	5.5 pulg
Vida útil de broca en teoría	300 metros	300 metros
Vida útil de broca en real	280 metros	316 metros
Diámetro de barra	2.5 pulg	2.5 pulg
Numero de barras	5 unidades	5 unidades
Vida útil por barra teoría	700 metros	700 metros
Vida útil por barra real	670 metros	732 metros

**Fuente:** Autor de tesis

En la Figura N° 8 se observa la broca con insertos de carburo de tungsteno y cobalto utilizado para la perforación de taladros donde también se observa los agujeros de donde fluye agua y aire para el barrido y sistema de enfriamiento de la broca.



**Figura N° 8:** Broca utilizada para la perforación.

**Fuente:** (Reategui Ordóñez, 2011)

### 3.2.3.1. Parámetros en la operación de perforación para la optimización.

Cuando la perforadora percute en vacío, las brocas sufren el desprendimiento de los insertos de carburo de tungsteno, es lo mismo cuando se percute en espacios donde no se encuentra roca o no hay una buena calidad de roca, en las consideraciones con respecto a los costos se deberán colocar las observaciones y reducir la vida útil con respecto al tipo de roca en otras palabras menor vida útil de los aceros es directamente proporcional la calidad del terreno.

En la Figura N° 9 se observa la percusión en vacío causara la salida de los insertos como se muestra en la imagen no se recomienda la percusión en vacío pues los insertos pueden salir como proyectiles.

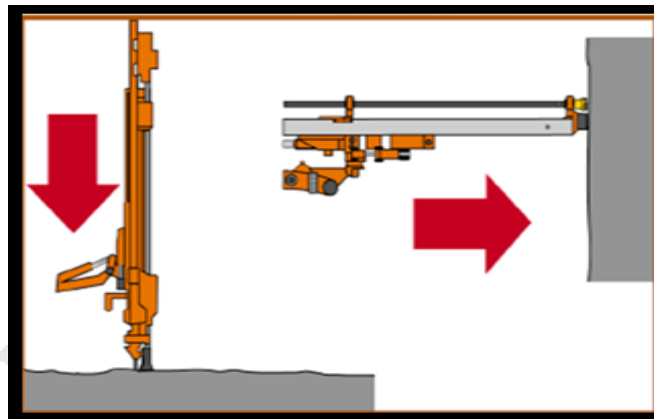


**Figura N° 9:** Mala práctica de percusión.

**Fuente:** (Reategui Ordonez, 2011)

Entre otras consideraciones a tomar en cuenta también se debe de colocar o fijar bien las vigas con respecto al terreno a perforar, pues una viga mal colocada producirá desviación de taladros y desgaste prematuro de las brocas de perforación, pues los insectos no se fijaran de manera adecuada a la roca y esto también generar vibraciones reduciendo significativamente la vida útil de los aceros de perforación.

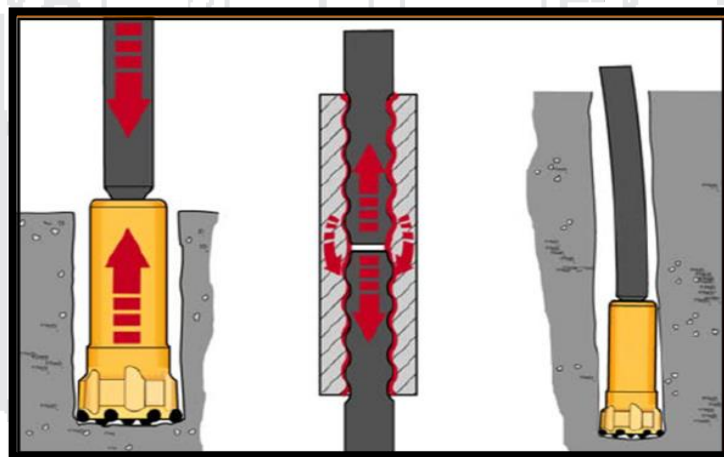
Como se muestra en la Figura N° 10 se observa la operación que consiste en fijar la viga a la roca de tal forma que no exista movimiento, vibraciones de la viga o brazo del equipo en la perforación.



**Figura N° 10:** Acople de viga de taladro para perforación.

**Fuente:** (Reategui Ordóñez, 2011)

En la Figura N° 11 se observa como la barra vibra al no estar bien posicionada desde en principio esto reduce significativamente la vida útil de los aceros de perforación y en algunas ocasiones se produce atascamiento de barra.



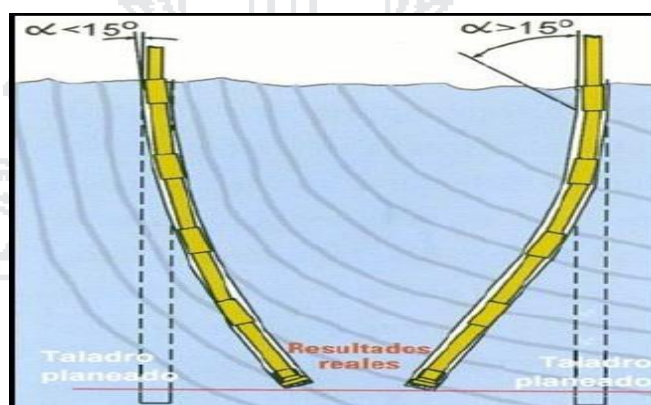
**Figura N° 11:** Desviación de taladro.

**Fuente:** (Reategui Ordóñez, 2011)

Existen también otros factores que pueden influir en la perforación; por ser una variable aleatoria la roca presenta una serie de factores los cuales pueden afectar directamente a la perforación, pues de lo que se tenía previsto no se realiza por una serie de deficiencias ocasionadas por el terreno donde se perfora el macizo rocoso, por eso es recomendable

conocer más qué características tiene la roca para no cometer errores al momento de la perforación.

En la Figura N° 12 se observa cómo es que el macizo rocoso influye en la perforación, desviando los taladros variando la longitud de perforación y el paralelismo.



**Figura N° 12:** Desviación de taladro debido a fallas de la roca.

**Fuente:** Autor de tesis

### 3.3. Parámetro de diseño de banco.

Las variables de diseño también llamadas variables geométricas, son variables controlables para hacer más eficiente la distribución de taladros de perforación y voladura, una buena distribución de taladros en el terreno distribuirá el poder de detonación del explosivo adecuadamente, obteniendo como resultado una voladura óptima sin necesidad de realizar voladuras secundarias que atrase la operación.

Existen varias teorías para poder calcular el burden adecuado de perforación, también es posible adecuar algunas de estas sin exagerar o esforzar las teorías propuestas, de la misma forma para el cálculo de las demás variables de diseño.

En el cuadro se observa las formulas usadas para el diseño de malla se muestra el resultado de el calculo de burden de segun los distintos autores.

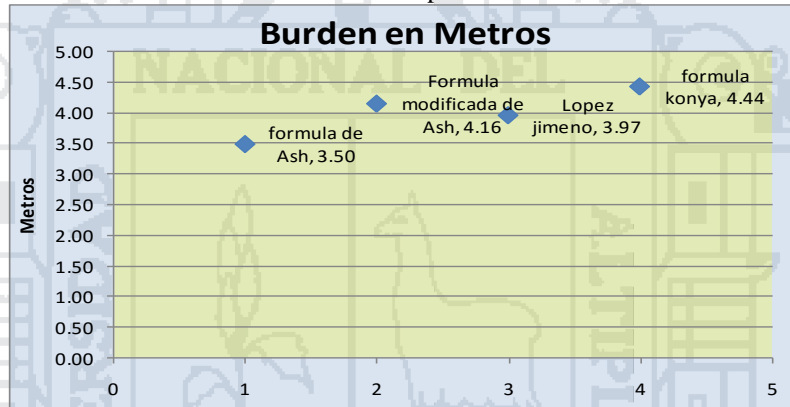
**Cuadro N° 14:** Formulas para diseño de mallas de perforación.

Métodos y formulas	Burden
formula de Ash	3.50 metros
Formula modificada de Ash	4.16 metros
López Jimeno	3.97 metros
formula de Konya	4.44 metros

**Fuente:** Autor de tesis

En el Cuadro N° 15 se observa valores que asume el burden utilizando cuatro teorías distintas.

**Cuadro N° 15:** Resultados obtenidos para el diseño de malla en metros.



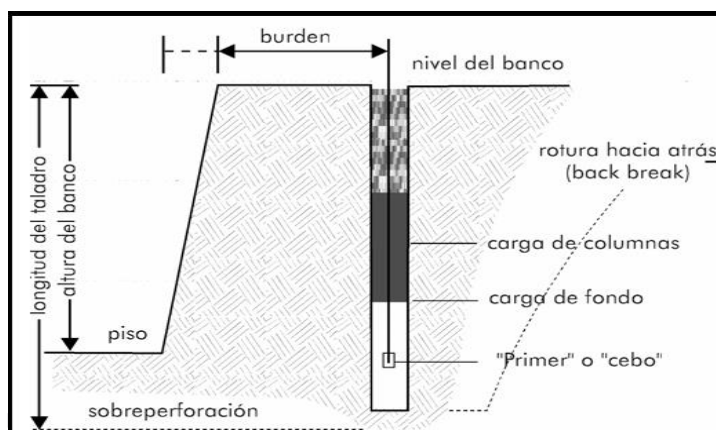
**Fuente:** Autor de tesis

Para poder adecuar una de estas mallas a los requerimientos de operación de perforación, se puede elegir uno de estos métodos, sin forzarlo, o exceder la longitud de burden, tampoco reducirla pues esto también representaría un problema.

En las variables de diseño también se debe de considerar algunos datos que se colocaran en la figura N° 13 Las cuales deben de estar bien definidas con sus medidas respectivas para iniciar el proceso de perforación.

En la siguiente Figura N° 13 se muestra la nomenclatura de la voladura de bancos con sus nombres respectivos que se utilizaran en el desarrollo del trabajo.





**Figura N° 13:** Nomenclatura y descripción de los detalles del banco.

**Fuente:** Autor de tesis

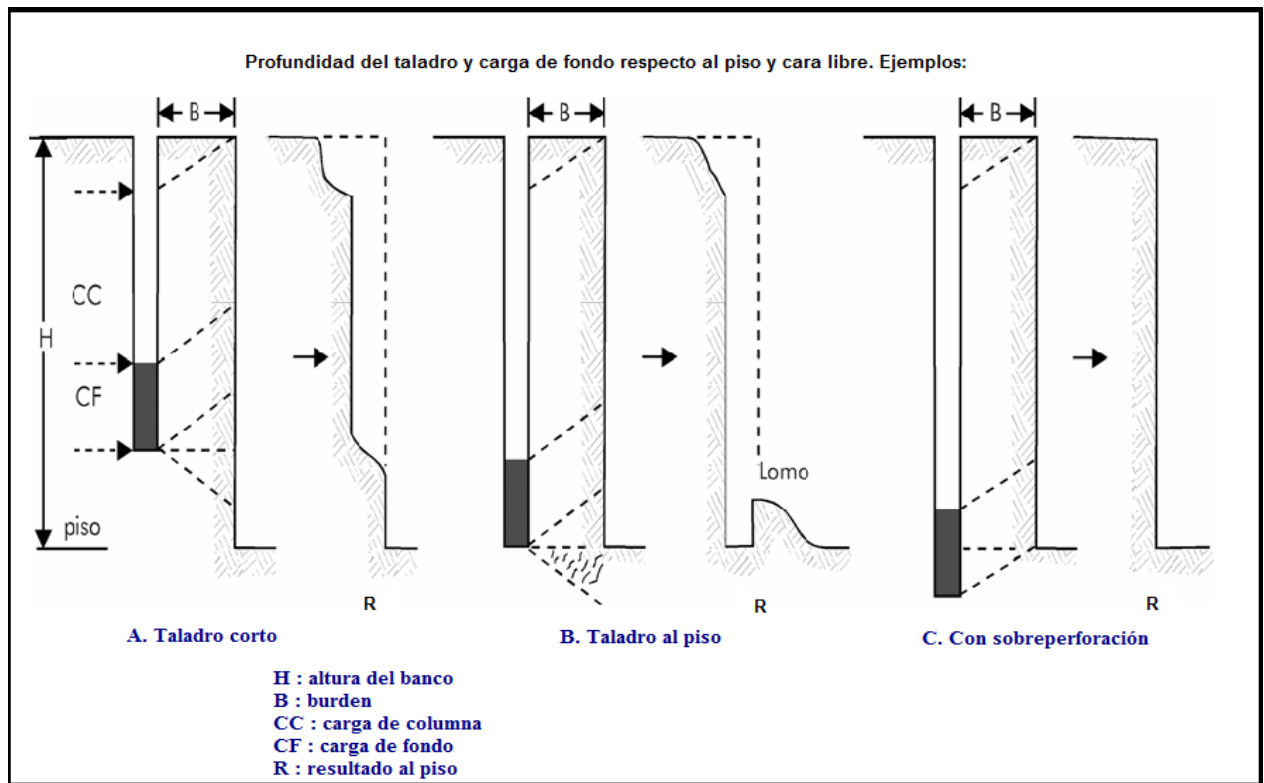
### 3.3.1. Influencia y dimensiones de diseño de malla.

El diseño de la malla de perforación tiene un área de influencia, los diseños geométricos mostrarán el área de influencia del taladro, esto es necesario para poder desarrollar las variables de diseños pues estas son plantillas para ser dibujadas de manera adecuada en el piso, para realizar la perforación respectiva.

#### 3.3.1.1. Sub perforación.

Para definir la sub perforación en la base del banco según los estudios se encontró roca compacta así que se debe de realizar la sub perforación es importante pues en el banco requerido de 12 metros si solo se perfora 12 metros no se obtendrá los 12 metros, pues el área de influencia del taladro crea un onda expansiva; creando un ángulo de salida hacia la cara libre.

En la Figura N° 14 se observan ejemplos de factores que influyen en la voladura y cargas de fondo en los taladros.



**Figura N° 14:** Carga de fondo y subperforación.

**Fuente:** (EXSA, 2010)

La fórmula propuesta por (Konya, 2002) para la sub perforación:

$$J = 0.3 * B$$

J: Sub perforación

B: Burden en metros en (4 metros)

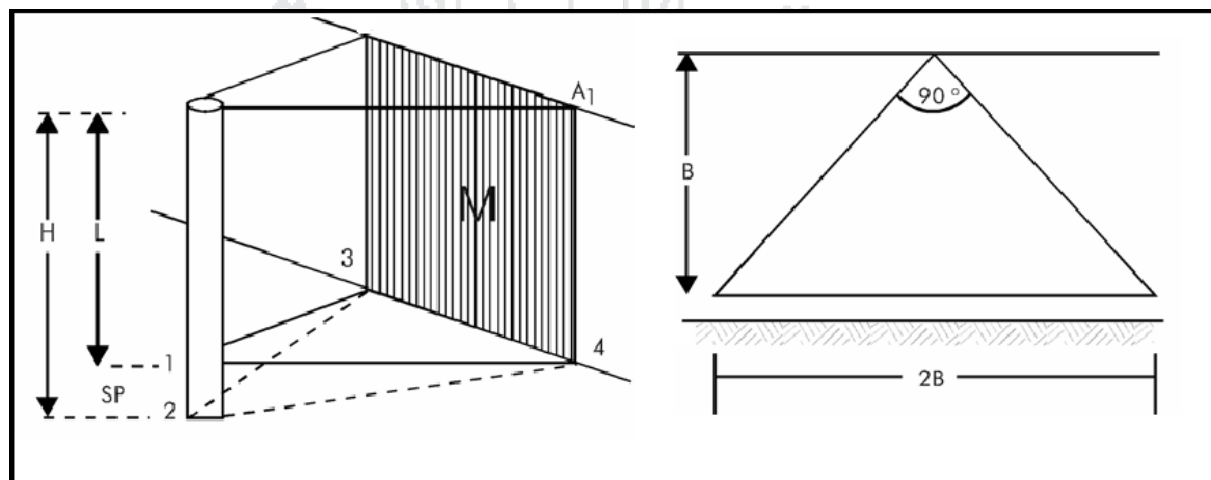
Resultado que obtenemos es de 1.2 metros de sub perforación.

### 3.3.1.2. Influencia del burden y espaciamiento.

En la perforación de malla es necesario verificar el área de influencia del burden por ser esta la parte más esencial, al momento del diseño de la malla de perforación, el burden causara la ruptura de la roca de no calcular bien se presentaran bolones los cuales requerirá voladura secundaria a consecuencia de esto se podrían inflar los costos de perforación y voladura.

En la Figura N° 15 se observa el área de influencia del burden liberara fuerza por la cara libre produciendo así la ruptura de roca por tensión, esta es la forma más barata de romper roca, el burden y el espaciamento deberán de ser dibujados de manera adecuada, pues es la primera tarea previa a la perforación de aquí cabe mencionar el éxito o fracaso de la perforación y voladura.

Influencia del burden sobre la cara libre del banco respecto al volumen de roca a romper



**Figura N° 15:** Área de influencia de taladro hacia la cara libre.

**Fuente:** (EXSA, 2010)

Es la forma en la que se distribuyen los taladros de una voladura, considerando básicamente a la relación de burden y espaciamento y su directa vinculación con la profundidad de taladros. En el diseño de una voladura de banco se aplicaran trazos para la perforación, denominándose malla cuadrada, esto nos indica que el burden y el espaciamento tendrán la misma medida.

En la Figura N° 16 se observa la malla de perforación cuadra donde el burden es igual al espaciamento.

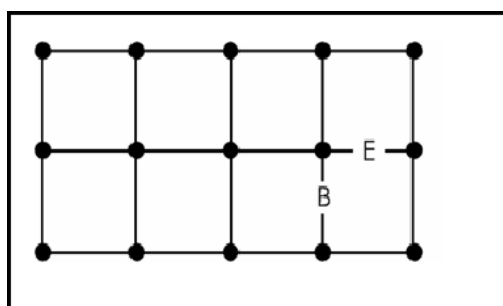


Figura N° 16: Diseño de malla de perforación.

Para realizar la perforación de la malla se debe de tener las dimensiones de la malla de perforación para poder dibujarlos en el terreno de esta manera realizar un trabajo más eficiente para la operación de perforación.

En la Figura N° 17 se observa la superficie requerida es de 10 metros, en el grafico se observa la distancia que debe de estar el burden y el espaciamento para obtener 10 de superficie.

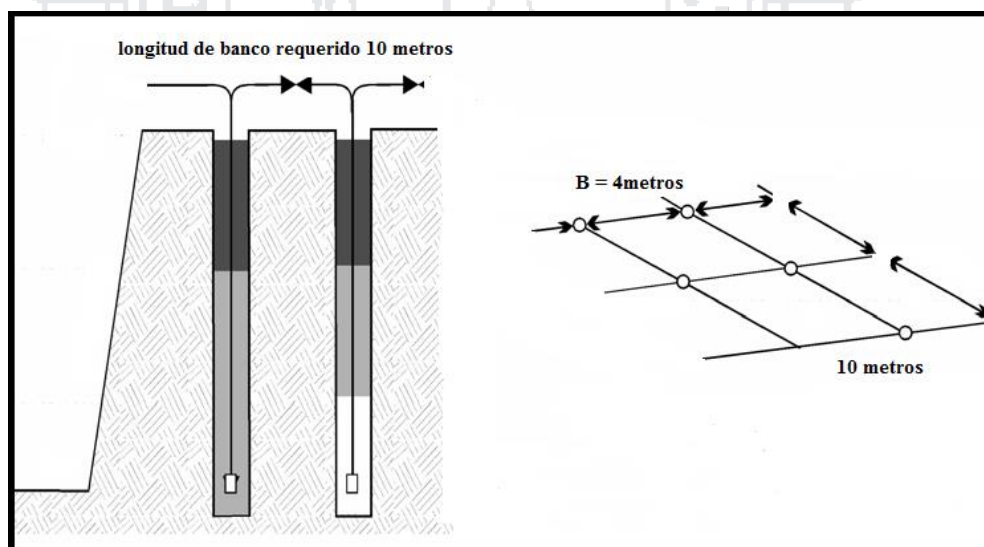


Figura N° 17: Diseño de malla de perforación con sus medidas.

En la Figura N° 18 se observa la malla de perforación con la distribución respectiva de faneles para su orden de salida con su respectivo estándar de explosivos y accesorios sugeridos.

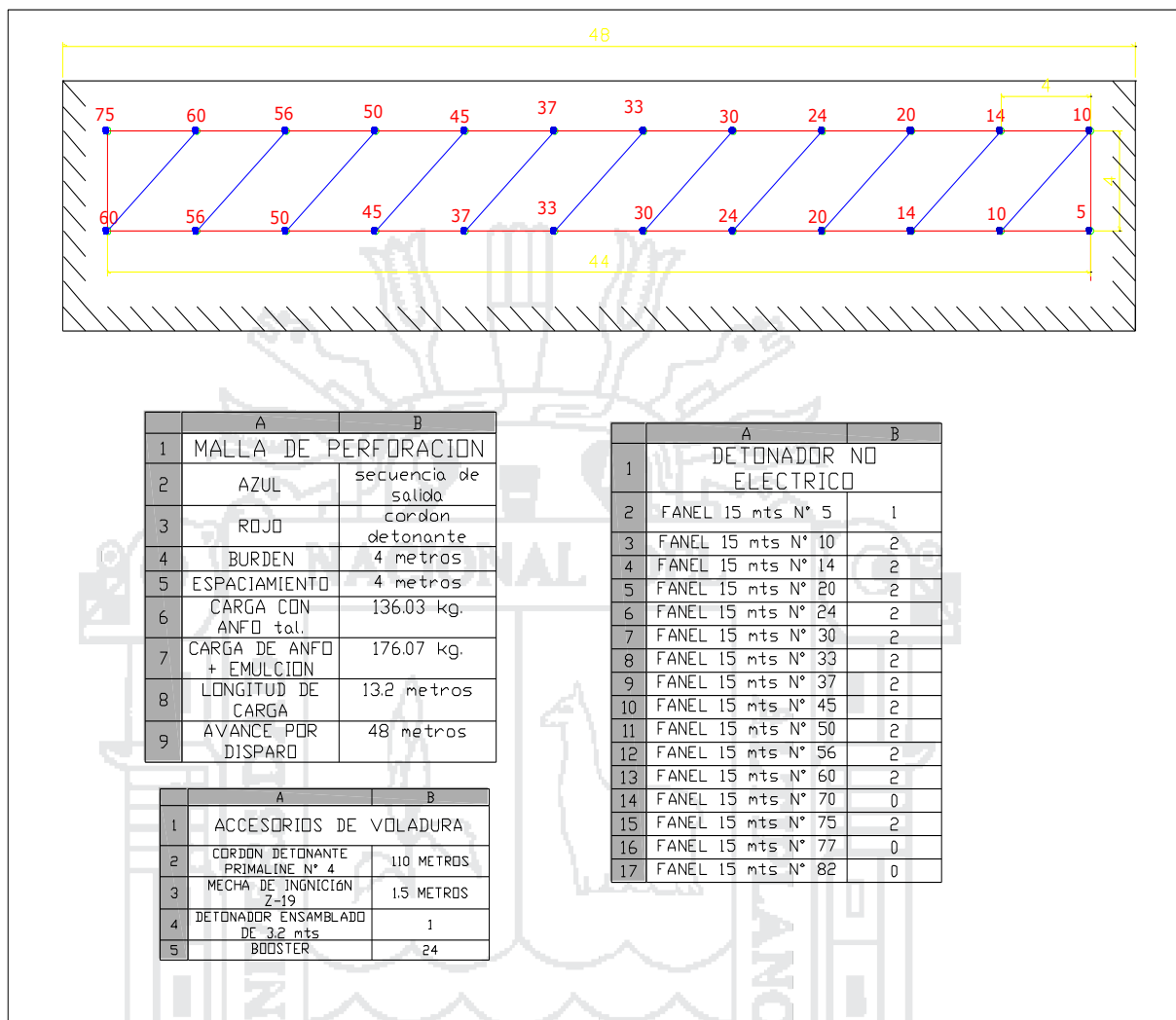


Figura N° 18: Malla de perforación, con los materiales requeridos.

Fuente: (Gamsur Ingenieros S.R.L., 2014)

### 3.3.1.3. Taco de taladro.

El cálculo de taco es de gran importancia pues este retiene los gases del interior del taladro ocasionando que no se escapen, aprovechando su energía para que fracture la roca por tensión, en las operaciones actuales se puede observar de que colocan un taco de 1 metro el cual afecta en los costos de operación por ser este inadecuado; en las operaciones de voladura existen fórmulas para el cálculo desde las más complejas que utilizan modelos matemáticos que toman en cuenta las variables de seguridad y el tipo de roca, hasta fórmulas que toman en cuenta solo el burden, como el estudio se enfoca en el estudio de

costos de perforación y voladura se utilizara la formula donde solo se toma en cuenta el burden, la fórmula es la siguiente:

Fórmula de cálculo de taco propuesta por (Konya, 2002)

$$T = 0.7 * B$$

T: taco en metros.

B: Burden (4 metros)

El resultado que se obtiene es de 2.8 metros de taco.

### **3.4. Parámetro de explosivos y accesorios.**

Tan importante como la perforación también lo es la voladura y el explosivo utilizado en este proceso de operación, también debemos de tener gran énfasis en los accesorios utilizados pues los explosivos y accesorios que combinaremos son elementos para lograr obtener el resultado deseado; con una buena fragmentación, sin voladura secundaria, al menor costo posible. La voladura se define como la acción de romper roca y excavar con el uso de explosivos.

El rompimiento de la roca con un explosivo es una interacción entre el explosivo y la roca, los resultados en términos de fragmentación, daño y desplazamiento están determinados por las propiedades de dos componentes, accesorios y explosivo.

La utilización de la máxima energía del explosivo, es en lo que se enfocara básicamente el estudio; pues al aumentar el diámetro del taladro, también aumentamos la energía y así el poder rompedor del anfo y el heavy anfo (anfo mas emulsión) el explosivo mencionado detona creando tensión en la roca y alta presión de gases en el taladro y esta forma de esfuerzo produce grietas en la roca y el gas a alta presión actúa como cuñas para expandir las grietas haciendo que la roca sea desplazada hacia el lugar menos resistente.

#### **3.4.1. Criterio de selección de explosivos y accesorios.**

Los explosivos deben de seleccionarse teniendo en cuenta las características particulares de cada operación, siempre se debe de considerar la seguridad tanto en la carga como en la manipulación, el ANFO que se utilizara y el ANFO más la emulsión necesita un

iniciador de gran potencia pues este no inicia con un detonador número seis, para iniciar el ANFO se debe de utilizar un *booster* de tres libras el cual se colocara en el fondo del taladro con un ensamble conectado para iniciarlo.

En el Cuadro N°16 se muestra las características del booster un accesorio de voladura a utilizarse para la voladura de la plataforma.

**Cuadro N° 16:** Características de los explosivos y accesorios.

Descripción	Booster de 3 libras
Diámetro	4 pulgadas
Altura	4 pulgadas
Velocidad de detonación	7000 m/s
Sensibilidad al fulminante N° 6	si
Sensibilidad al cordón detonante	si

**Fuente:** Autor de tesis

Por otra parte no menos importante son los accesorios pues son los complementos, estos sirven para poder iniciar la voladura y obtener ciertos resultados al final de ellas con la forma de la pilas ya voladas, donde se puede asignar numeraciones de salidas en milisegundos, estas deben de ser las más adecuadas para nuestro requerimiento, para poder trabajar con las máquinas de limpieza, también existen otros como el cordón detonante y conectores a continuación describiremos los materiales usados en nuestra operación.

- Fanel (con distinta numeración de salidas)
- Mecha de seguridad.
- Detonador ensamblado con su respectivo fulminante.
- Booster de 4 libras.
- Anfo y heavy anfo según el terreno.
- cordón detonante.

Para el inicio de la voladura se debe de realizar una secuencia de amare con respecto a los accesorios y los explosivos para que funcionen de manera adecuada y tengan la eficiencia esperada; la secuencia de amare para iniciar la voladura será la siguiente.

Mecha de seguridad → detonador ensamblado con fulminante → cordón detonante → fanel con su numeración respectiva → booster para iniciar el anfo.



### 3.4.1.1. Características ambientales.

El explosivo que se tiene a disposición es el anfo, al tener ciertas características particulares; el anfo posee una baja resistencia a la presencia del agua, en este caso se utilizara el anfo en lugares donde se pueda usar, para esto será necesario identificar las zonas donde se encuentre agua, en estas zonas utilizares en heavy anfo (anfo pesado) pues esta tiene resistencia al agua lo cual contribuirá provechosamente al momento del carguío de los taladro, en zonas identificadas donde no se encuentre presencia de agua y el terreno lo permita se utilizara el anfo sin emulsión; para este caso es necesario tomar en cuenta los parámetros de rocas ya antes identificados, por otra parte también se deberá de considerar las condiciones climatológicas del lugar, si bien el terreno es seco podría haber condiciones climatológicas que perjudiquen las características físicas de los explosivos y accesorios, es importante tener un registro de las condiciones climatológicas por fechas a fin de no vean afectados en el momento que realizar las actividades de perforación y voladura.

Por otra parte también se debe de considerar el registro del mapeo RMR del terreno por progresivas y tenerlos bien definidos para poder usarlo a nuestro favor, este mapeo toma en cuenta algunos atributos los cuales nos ayudaran a la selección del explosivo según el lugar del terreno para poder realizar la voladura, los registro que se tienen son de 4 620 metros en avance lineal del canal, donde de planea realizar la perforación y voladura con fines de optimizar costos haciendo uso del explosivo más adecuado y económicamente rentable posible para el terreno.

En el Cuadro N° 17 se muestra como la clasificacion del terreno utlizando el mapeo RMR dando informacion sobre la presencia de agua a lo largo del canal con sus respectivas.

**Cuadro N° 17:** Datos de canal para la elección del explosivo.

Progresiva	RMR	Observaciones para voladura
0	970	62 Presencia de agua
970	1500	73
1500	3200	51 Roca fracturada
3200	4150	68 Presencia de agua
4150	4620	75

**Fuente:** Autor de tesis

En zonas donde se observa presencia de agua, no se debe de hacer uso de ninguna manera el anfo; pues esta tiene una resistencia casi nula al agua, sin embargo al realizar una mezcla con una emulsión la podemos hacer impermeable, de esta manera trabaja de forma más eficiente en zonas donde haya presencia de agua; en la tabla mostrada anteriormente se observa cómo es necesario tener estos datos para poder utilizarlos al momento de realizar la elección del explosivo con fines de operación y optimización.

El Cuadro N° 18 muestra las observaciones con respecto al terreno donde se observa presencia de agua y se sugiere el tipo de agente de voladura hacer utilizado.

**Cuadro N° 18:** Observaciones del terreno y elección del explosivo.

Progresiva		RMR	Observaciones para voladura	Explosivo a utilizar
0	970	62	Presencia de agua	ANFO + Emulsión
970	1500	73		ANFO
1500	3200	51	Roca fracturada	ANFO
3200	4150	68	Presencia de agua	ANFO + Emulsión
4150	4620	75		ANFO + Emulsión

**Fuente:** Autor de tesis

#### 3.4.1.2. Carga de taladro mecanizado.

La carga de un taladro esta expresado por kilogramos por taladro, en la operaciones con la máquina perforadora DX 800 Sanvick se realizaba un taladro de 5 pulgadas de diámetro con una longitud de 13.2 metros; pero la carga explosiva se considera una columna de 12.2 metros de carga explosiva, esto afecta los costos en cuanto a explosivos pues el personal tiene la idea errónea de que llenando más el taladro con una carga explosiva se asegurar el disparo del taladro.

La carga por taladro debe de ser calculado por kilogramos, para poder presupuestar recursos necesarios y llevarlo a valores los cuales podamos manejar de esta manera poder analizar y poder tomar decisiones que favorezcan la operación; a continuación mencionaremos la siguiente fórmula para el cálculo de carga de columna de un taladro, tomando en cuenta el diámetro y la densidad de un explosivo.

$$Dcg = 7.854 * 10^{-4} * Dex * \phi^2$$

Donde:

Dcg : Densidad de concentración de carga lineal en un metro.

Dex : Densidad de explosivo a emplearse.

Ø : Diámetro de taladro en centímetros.

En el Cuadro N° 19 se observa el comparativo de algunas variables influyentes y las modificaciones que se hicieron para generar un escenario para optimizar costos.

**Cuadro N° 19:** Cargas explosivas en los dos escenarios.

<b>Cuadro de comparación de cargas explosivas</b>		
<b>Máquina perforadora</b>	<b>Escenario 1 Sandvix DX 800</b>	<b>Escenario 2 Atlas Copco ECM 720</b>
Diámetro de taladros	5 pulg	5.5 pulg
Longitudes de carga	12.2 metros	10.4 metros
Kilogramos de cargas metro ANFO pesado	13.93 kilogramos	16.93 kilogramos
Kilogramos de carga con ANFO pesado	169.95 kilogramos	176.07 kilogramos
Kilogramos de carga metro ANFO	10.77 kilogramos	13.08 kilogramos
Kilogramos de carga ANFO	131.39 kilogramos	136.03 kilogramos

**Fuente:** Autor de tesis

### 3.5. Parámetros para la perforación y voladura de la zanja.

De acuerdo a las consideraciones geométricas de zanja y los estudios relacionados a estos son escasos, si bien la voladura de un canal es similar a la voladura de bancos considerando algunos aspectos pues en la voladura de bancos se pueden acomodar y llegar a realizarse hasta con cuatro cara libres; sin embargo en las zanjas por ser excavaciones a lo mucho que se puede contar son con dos cara libres.

De acuerdo a las consideraciones técnicas la profundidad de zanja que nos pide es de 1.50 metros, un ancho de 2 metros y una base de 1.50 metros, debemos de evitar la sobre ruptura esto ocasiona costos adicionales pues esta al final tendrá que rellenarse con concreto afectando a los costos de construcción a lo largo del canal.

#### 3.5.1. Máquina perforadora convencional.

Al tener dimensiones reducidas de 2 metros de ancho y 1.5 metros el canal, es mejor utilizar una maquina convencional pues es un gasto invertir en una máquina perforadora de grandes dimensiones, para dimensiones que se podrían trabajar con una maquina convencional lo cual nos resultaría más óptimo en medida de costos, para esta operación se

cuenta con máquinas perforadora manual la cual tiene ciertos atributos; los cuales resultan beneficiosos para nuestra operación, a esta se le incorporo una barra de 6 pies para la perforación del canal a esta también se pueden acoplar distintas brocas de diámetros que fluctúan de entre 28 mm a 45 mm.

### 3.5.2. Parámetros de diseño de la zanja.

Los diámetros para la perforación convencional de una zanja fluctúan entre 32 mm a 45 mm permitiendo ajustar el espaciamiento esto es favorable en la voladura de zanjas angostas donde el burden puede alcanzar hasta una dimensión de 0.80 metros, pero también si se quiere mayores dimensiones de ancho de la zanja se tendrá a aumentar la carga explosiva pero, a lo máximo que puede alcanzar es a 1.25 veces en burden en otras palabras, si en burden calculado es de 0.80 aumentando la carga a lo máximo que se llegara es a un ancho de.

$$B \text{ max} = 1.25 B \text{ inicial}$$

Donde:

B max = burden máximo (máximo ancho de Zanja)

B inicial= Burden calculado inicialmente

Realizando el cálculo respectivo el máximo ancho que puede alcanzar el canal con taladros de una sola fila y un diámetro de entre 32 mm a 45 mm en perforación convencional es de 1 metro pero este resultado puede variar según el tipo de roca.

Para la elección del diámetro de taladro o broca también existe una formula (EXSA, 2010) donde:

$$\emptyset = (W/60)$$

Donde:

$\emptyset$  : Diámetro de taladro requerido.

W: Ancho del Canal en metros.

Al realizar el cálculo respectivo se obtiene el ancho de 33 mm. De broca, donde debido las operaciones con la única broca que contamos es una broca de 35 mm., esta

también cubre los requerimientos pues como se menciona, se puede también usar brocas de entre 32 mm a 45 mm en voladura convencional de la zanja.

Cuando nos referimos a la malla de perforación de una zanja básicamente se habla del burden y el espaciamiento pues estas variables geométricas no son como en el caso de voladura de bancos, pues no se tiene gran relevancia la distancia de taco en esta por ser de dimensiones más pequeñas más bien se toma más en consideración el poder de explosivo por taladro convencional, su poder rompedor es basado en cuantos kilogramos de explosivo se utiliza por taladro y en mención a esto se refiere a la carga explosiva encartuchada (dinamitas)

También se citan algunas fórmulas para el cálculo de burden de la zanja para poder adecuar y guiar en caso que se tenga que cambiar la malla de perforación.

Fórmulas de burden de zanja (EXSA, 2010)

$$B = \emptyset * 24$$

Donde:

B : Burden.

$\emptyset$  : Diametro de taladro (35mm).

Haciendo el cálculo respectivo se obtiene un burden de 0.84 metros.

### **3.5.3. Parámetros de explosivos y accesorios para voladura de zanja.**

Para realizar una mejor distribución de carga explosiva se debe de tener en cuenta el peso de los explosivos a emplearse, por ser esta una de las variables más importantes en la voladura de zanjas y trincheras también debemos de tener como dato el diámetro del explosivo para considerarla al momento del confinamiento dentro del taladro.

En el Cuadro N° 20 se observa las características de los explosivos que se utilizaran en los taladros para la voladura de la Zanja.

**Cuadro N° 20:** Explosivos para voladura convencional.

<b>Explosivo utilizado en zanja</b>		
<b>Explosivo</b>	<b>Diámetro en Pulg.</b>	<b>Peso Kilogramos</b>
Semexsa 65%	1 1/8	0.21
Gelatina 75%	1 1/8	0.17

**Fuente:** Autor de tesis

Se cuenta con estos explosivos para realizar la voladura, así que estos se adecuaran a la operación de voladura. Según el manual de (EXSA, 2010) para la excavación de zanjas en rocas donde la compresión simple alcanza valores mayores o iguales a 120 Mpa en el caso la andesita roca en la cual se escavara, se utilizara una carga explosiva en el taladro del centro de entre 0.7 Kg/metro a 0.8 Kg/metro, y de haber taladros laterales se utilizara una carga explosiva de 0.6 kg/metro a 0.7 kg/metro, esta carga puede variar según el ancho del canal que se quiera conseguir, pero en caso de utilizarse cargas superiores a estos valores será inútil, pues solo de cargaría el taladro dejándolo sin taco y este explosivo no trabajaría de forma adecuada su utilización seria insulsa.



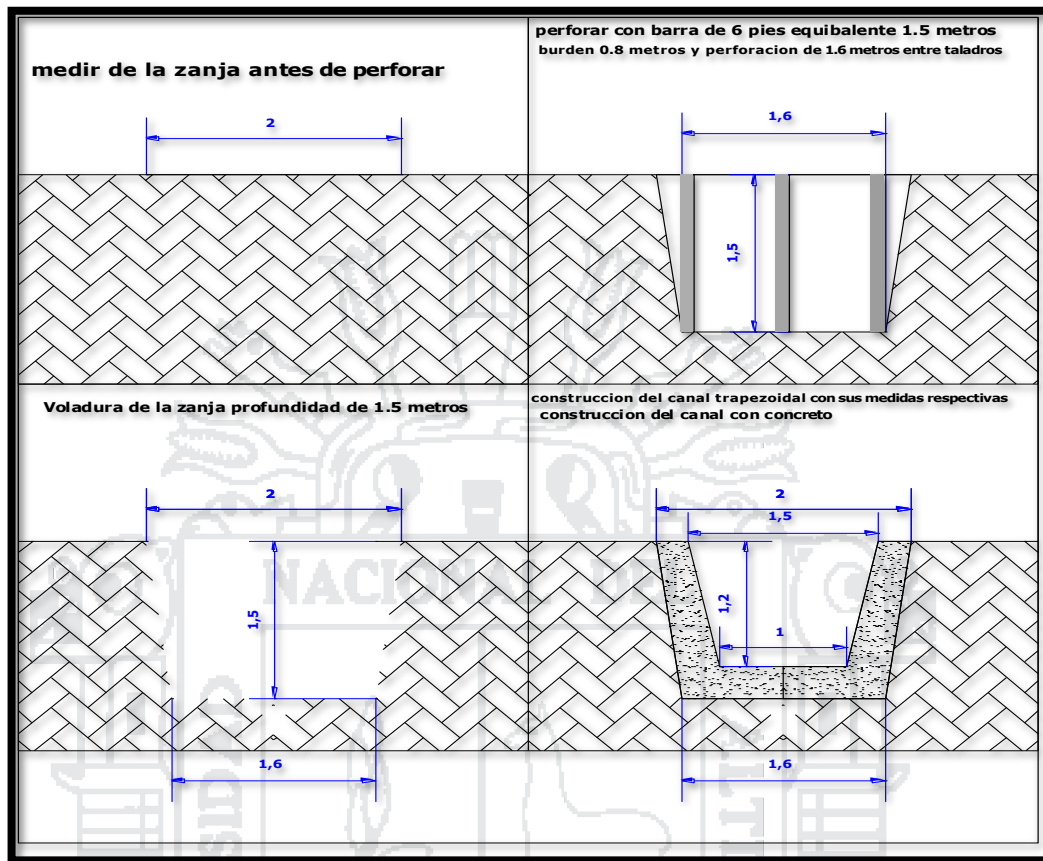


Figura N° 19: Diseño para perforación de zanja y construcción del canal.

Fuente: Autor de tesis

En la Figura N° 20 se muestra la carga de los taladros, en los taladros laterales y el taladro central para su respectivo carguío.

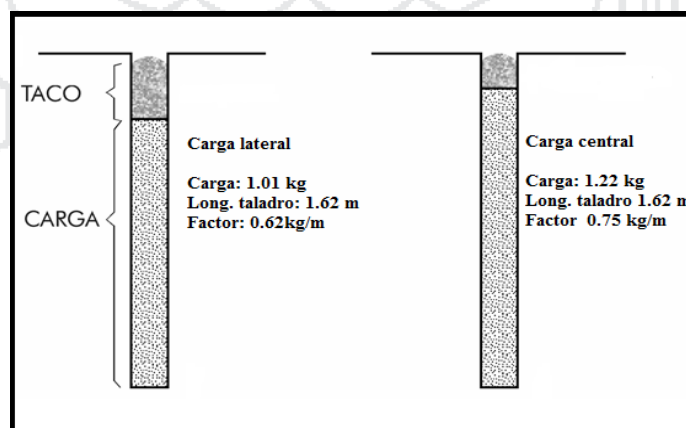
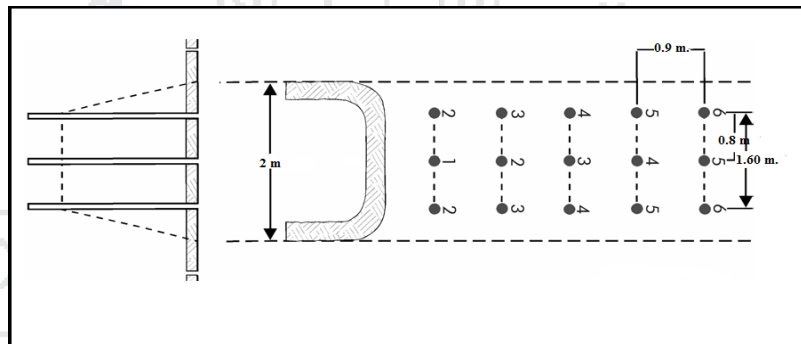


Figura N° 20: Carga explosiva para taladro convencional.

Fuente: Autor de tesis



Los accesorios de voladura que se utilizan para estas pruebas son un detonador ensamblado de 2.1 metros, el amarre se realizara como se muestra en la Figura N° 21. Para aprovechar de la mejor manera las caras libres que se generen a lo largo de la operación. Malla de perforación, secuencia de salida y el amarre para la voladura de la zanja, con medidas.



**Figura N° 21:** Distribución de taladros para voladura convencional.

**Fuente:** Autor de tesis

Los taladros por la cantidad de carga que se coloque en cada uno de ellos se dividirán en; taladros centrales y taladros laterales, con se muestra en la tabla 3.15, se realizara una distribución de carga optima estandarizada; pues se venía cargando con explosivo hasta llenar el tope del taladro lo ocasionaba sobre costos en el precio de los explosivos, se colocara una fila de tres taladros por un burden de 90 centímetros a partir de estos datos se programaran trabajos y posteriormente enfocar el estudio directamente a la cuantificación de costos de perforación y voladura tomando estas consideraciones.

En el Cuadro N° 21 muestra la cantidad de carga explosiva depositada en cada taladro según si sea central o lateral, carga explosiva en kilogramos.

**Cuadro N° 21:** Estándar de carguío para la zanja.

Estándar de carga por taladro		
	Carga central	Carga lateral
Unidades Semexsa 65%	5	4
Unidades Gelatina 75%	1	1
Peso en kilogramos	1.22	1.01

**Fuente:** Autor de tesis

## CAPÍTULO IV

### CUANTIFICACIÓN DE COSTOS Y EVALUACIÓN DE RENDIMIENTOS

Para que exista un sentido de satisfacción, con el fin de demostrar la reducción de costos, se debe de tomar en cuenta de que manera y en que procesos se redujeron los costos, para seguidamente cuantificarlos y demostrar que efectivamente se realizó una reducción de costos, para ello se generó un ambiente en el cual se involucraron los parámetros ingenieriles, para la toma de decisiones, eligiendo la máquina perforadora más óptima para el trabajo, seguidamente los estándares en cada proceso para poder evaluar y controlar las pérdidas y estas hacerlas mínimas.

#### 4.1. Rendimientos y costos de perforación mecanizada.

A la perforación se define como la actividad de realizar taladros de suficiente espacios los cuales en su interior alojaran los explosivos y accesorios para la voladura, cada metro perforado tiene un costo definido por una cantidad de dinero, al realizar un taladro se utilizan una serie de recursos desde combustible que utilizan las máquinas perforadoras mecanizadas, hasta los aceros de perforación, cada una de ellos posee un costo determinado el cual es una cantidad de dinero, aparte de esta operación también; se tiene que tomar en cuenta el tiempo, pues este factor se tiene que convertirse en una numero al se tenga que asignar un valor determinado, con el cual se pueda trabajar y programar trabajos en la medida del tiempo, como el rendimiento de un equipo en un tiempo determinado, y finalmente los costos de los seguros, transporte y aduanas etc., estos costos también son costos fijos pues si bien deben de incluirse en los cuadros de costos estos no se verán afectados en la medida de la productividad, en otras palabras no importa que tanto perfora o no la maquina su costos de seguro, transporte y otros parecidos no se verán afectados por la producción.

#### 4.1.1. Costos fijos de operación de perforación mecanizada.

Este aspecto se refiere a los costos de se ven fuera de las operaciones, pero también puede incluir algunos para poder mayor manejo de datos al momento de presupuestar, por ejemplo en algunos casos los sueldos son considerados costos variables en relación a la producción en este caso se considerara, como un costo fijo por mes, esto nos da un escenario en el cual se tendrá que trabajar en metas por cada mes tener una producción fija para poder cubrir el sueldo del operador y su ayudante.

También se debe de incluir seguros, pues estos están muy remarcadas en nuestra legislación actual de minería y otras leyes referidas a uso de maquinarias pesadas o móviles y otros seguros que deben cumplirse según la ley, también en algunos casos en minas donde exigen seguros particulares de otra índole pero que están dentro de la política de cada empresa.

Finalmente el costos financiero, es el costo que nos importa pues es la cantidad de dinero que se va a ganar, la cantidad de dinero que retornara a las arcas del quien puso el capital para esta máquina, este es un costo fijo que se tiene que incluir a este tipo de maquinaria de costos elevados, esta cantidad siempre debe de compararse a los pagos que dan los bancos con respecto a una cantidad de dinero depositado en un banco conocido como interés, el costo financiero de una maquinaria debe de ser mayor al interés pagado por una banco con respecto a la cantidad de dinero equivalente a la maquinaria empleada.

Caculo de costos fijos:

Fórmula para los costos de depreciación de equipos:

$$D = \frac{Va - Vr}{VEU}$$

D : Depreciación por hora de trabajo.

Va : Valor de adquisición.

Vr : Valor de rescate.

VEU : vida económica útil de la maquinaria expresada en horas anuales de trabajo.

$$D = \frac{600\,000 - 150\,000}{(5 * 2\,400)}$$

El resultado obtenido es de 37.50 dólares la hora de equipo, cabe mencionar que solo esto es por hora de posesión de equipo.

Fórmula para el cálculo de costos financiero.

$$CFT = \frac{((N + 1)2N) * Va * i * N}{VEU}$$

CFT : Costo financiero total.

Va : Valor de adquisición.

i : Interés.

VEU = Vida económica útil expresada en horas.

N = Vida económica en años.

$$CFT = \frac{((5 + 1)2 * 5) * 450\,000 * 0.15 * 5}{12\,000}$$

El costo financiero haciende a la suma de 16.88 dólares la hora este es el costo que se atribuye como crédito hipotecario seguros y ganancia, este debe de ser mayor al interés de un banco pues la maquinaria debe de tener mayor liquides que el interés pagado por un banco.

#### 4.1.2. Costos variables de operación de perforación mecanizada.

Los costos variables se denominan así pues estos variaran en medida a la producción y los trabajos que se realicen pues si bien se puede aproximar y tener un valor exacto con respecto a estos valores el dinamismo de las operaciones hace que estas operaciones siempre varíen en relación a los rendimientos de cada equipo, esto también tiene que ver en la zona donde trabaja la temperatura y altitud sobre el nivel del mar, no es más óptimo aquel equipo que cuesta menos sino aquel que realiza el mejor trabajo al menor tiempo y al menor costo.

En el presente trabajo se incluirá datos para la máquina perforadora ECM 720 Atlas Copco el costo de combustible, lubricantes y el costos de mantenimiento de forma aparte del costos de los aceros de perforación estos se basaran de acuerdo al grado de perforación y los rendimientos, los costos de operación los desglosaremos en tres; dos precios de insumos y una actividad.

- Combustible en ( galones/hora, dólares/hora)
- Lubricantes y grasa (galones/hora, libras/hora, dólares/hora)
- Costos de mantenimiento que es 40 % consumido en lubricantes y grasa.

En el Cuadro N° 22 se observa el cálculo de costos fijos y costos variables donde se toma datos para la elaboración de costos de perforación de la máquina perforadora ECM 720 Atlas Copco

**Cuadro N° 22:** Calculo de costos fijos y costos variables que intervienen en la perforación mecanizada.

<b>ECM 720 ATLAS COPCO</b>			
<b>Precio compra</b>	<b>600,000</b>		<b>Costo de Propiedad</b> <span style="float: right;"><b>US \$/hora</b></span>
Valor de restante	150,000		Costo por depreciación 37.50
Valor a depreciar en cinco años	450,000		Costo financiero 16.88
Valor de rescate (Vr)	20.0%		<b>Total costo de propiedad o posesion</b> 54.38
Vida económica en horas (n)	12,000		
Vida económica en años (N)	5		<b>Costo de operación</b> <span style="float: right;"><b>US \$/hora</b></span>
Interes de maquina y seguros	15%		Combustible 38.25
			Lubricantes (aceite grasa filtros) 3.71
			Costo reparaciones y mantenimiento 1.48
			<b>Total costo de operación</b> 43.45
			<b>Total Costo de Propiedad y Operación</b> 97.83
			<b>Tarifa de 125 horas mínimo</b> 12,228.17

**Fuente:** Autor de tesis

### 4.1.3. Costos totales y rendimientos de operación de perforación mecanizada.

Es el costo que se considera y tomando en cuenta los costos fijos, más los costos variable pero también en esta parte incluiremos el costo de los aceros de perforación que los tenemos definidos con respecto a su rendimiento por metro y su vida útil, aquí nos enfocaremos cuanto es que dura el acero de perforación y cuanto es la capacidad de producción de una máquina perforadora, esto para poder programar trabajos y destinar presupuestos necesarios para la producción.

Existen varios métodos para referirnos a la vida útil de los aceros de perforación pero lo más importante es darle un valor numérico, un costo por metro los cuales se puedan manejar para poder presupuestar y destinar recursos para poder entenderlos y optimizarlos sin comprometer a la máquina perforadora.

En el Cuadro N° 23 se observa los de costos de perforación según su rendimiento de operación en 8 horas de trabajo.

**Cuadro N° 23:** Rendimientos y costos de perforación.

Avance / Disparo	48 metros	N Numero de taladros	24 taladro
Disparos / mes	20	longitud de tal	13.2 metros
Avance / mes	960	longitud de barra	14 metros
		longitud de carga	10.4 metros

Descripcion	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Utilización/Vida Util	Costo/Disparo	Costo/m
<b>PERSONAL</b>						
Operador	Tarea	1	54.30	100%		
Ayudante de operador	Tarea	1	44.50	100%	98.80	
Costo de posecion por hora	pza	1	54.38	8 hora	435.04	533.84 11.12
Barra	pza	5	220	732 metros	476.07	
Broca	pza	1	90	316 metros	90.23	
Shank	pza	1	300	600 metros	158.4	
Costo de operación (comb, aceites, filtros mantenimiento)	pza	1	43.45	8 horas	347.6	1072.29 22.34
<b>costo por metro perforado avance de progresiva</b>					<b>33.46</b>	
<b>costo por de perforacion por disparo</b>					<b>1606.13</b>	

**Fuente:** Autor de tesis

En el Cuadro N° 24 se observa la comparación de costos y rendimientos entre dos máquinas perforadoras para realizar los trabajos de producción.

**Cuadro N° 24:** Comparación de costos y rendimientos de perforación mecanizada.

<b>Cuadro de costos y rendimientos</b>		
<b>Máquina perforadora</b>	<b>Escenario 1 Sandvix DX 800</b>	<b>Escenario 2 Atlas Copco ECM 720</b>
Tiempo de operación	8.3 horas	8 horas
Tiempo de Perforación por un taladro de 13.2 metros	25 minuto	20 minutos
Taladro por guardia	20 taladros	24 taladros
Avance metro lineal	40 metros	48 metros
<b>Metros perforados por guardia</b>	<b>264 metros</b>	<b>316.8 metros</b>

**Fuente:** Autor de tesis

En el Cuadro N° 25 se observa los costos y rendimientos tomando en cuenta el total de la producción requerida en cuanto a la operación de perforación.

**Cuadro N° 25:** Numero de taladros y costo por metro.

<b>Cuadro de costos y rendimientos</b>		
<b>Máquina perforadora</b>	<b>Escenario 1 Sandvix DX 800</b>	<b>Escenario 2 Atlas Copco ECM 720</b>
Taladros requeridos	2 310 Taladros	2 310 Taladros
Metros requeridos	30 492 metros	30 492 metros
Costos por metro perforado	5 399 US\$	5 069 US\$
<b>Costo total de operación 4 620 metros plataforma</b>	<b>164 626.31 US\$</b>	<b>154 563.95 US\$</b>

**Fuente:** Autor de tesis

Como se puede observar se tiene una optimización de 10 062.36 dólares en solo perforación mecanizada.

#### **4.2. Rendimientos y costos de perforación convencional.**

El cálculo de costos de perforación convencional es un tanto distinto a los costos de perforación mecanizada pues si bien las máquinas de perforación convencional no tienen un costos muy alto en comparación a la perforación mecanizada se podría utilizar otras formas para calcular el costo por metro perforado, pero siempre teniendo en cuenta los materiales e insumos a utilizarse y a vida útil de los aceros de perforación pues estos son de costos muy significativos en los costos de perforación.

##### **4.2.1. Costos fijos de perforación convencional.**

Los costos en perforación convencional se puede acomodar a lo más cómodo para poder establecer costos fijos de perforación tomando datos con respeto a la máquina perforadora y el sueldo del operario y ayudante, en este caso tomar estos dos como costos fijos para poder manejarlos y adecuarlos de esta manera acomodaremos estos costos para al final obtener el costos total de perforación convencional.

Para el cálculo de una máquina perforadora convencional generalmente, se asocia al rendimiento que esta tiene es decir a su vida útil en pies o en metros es decir los costos de la máquina perforadora convencional sus costos son relacionados a cuantos metros o pies es su vida útil con respecto al costo de adquisición de esta misma a continuación tenemos una fórmula utilizada.



$$C_{pc} = \frac{C_{mp} + C_{rp}}{V_u}$$

$C_{pc}$  : Costo de perforación convencional.

$C_{mp}$  : Costo de máquina perforadora.

$C_{rp}$  : Costo de repuestos de la máquina perforadora o el 80% del costo de la máquina perforadora.

$V_u$  : vida útil en pies o metros.

La máquina perforadora convencional generalmente pueden alcanzar una vida útil de 90000 pies, poco mas poco menos según donde se realice en trabajo y en qué condiciones pero generalmente se utiliza este valor para presupuestar las maquina perforadoras.

$$C_{pc} = \frac{6\ 240 + 4\ 992}{90\ 000}$$

El costos de la máquina perforadora es de 6 240 dólares y el costos de los repuestos de la máquina perforadora es el 80% del costo de la máquina perforadora lo cual equivale a 4 992 dólares y su vida económica útil es de 90 000 pies lo cual hace un equivalente de 0.1248 dólares /pies.

#### 4.2.2. Costos variables de perforación convencional.

Los costos variables de una maquina convencional no son tan distintos a los de una maquina mecanizada pues estos también utilizan aceros de perforación, lubricantes, grasas, mangueras, en este caso el costos de mantenimiento está asociado al costo de repuestos y reparación que ya lo incluimos en los costos fijos, es este caso se utilizan piezas pequeñas de desgaste como abrazaderas y otros a continuación se mencionan los costos que se tomaran en cuenta.

- Aceros de perforación (Barras y brocas).
- Aceite y lubricantes.
- Otros (mangueras, abrazaderas, válvulas).

### 4.2.3. Costo total de perforación convencional.

El costo total de perforación incluye los costos fijos más los costos variables es necesario saber realizar los costos en base a los rendimientos

En el Cuadro N° 26 se observa los costos de perforación convencional donde se incluyen costos fijos y costos variables.

**Cuadro N° 26:** Análisis de costos fijos y costos variables de la perforación convencional

Avance / Disparo	18 metros	N Numero de taladros	60 taladro
Disparos / mes	20	longitud de tal	5.5 pies
Avance / mes	360	longitud de barra	6 pies

Descripcion	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Utilización/Vida Util	Costo/Disparo	Costo/m
<b>PERSONAL</b>						
Perforista	Tarea	1	47.3	100%	47.3	US\$
Ayudante de perforista	Tarea	1	44.5	100%	44.5	91.8
<b>PERFORACION</b>						
Perforadora	pza	1.00	6,240.00	90,000.00	pies	22.88
Repuestos para perforadora	pza	1.00	4,992.00	90,000.00	pies	18.30
Barra cónica de 4 pies	pza	1.00	58.00	850.00	pies	22.52
Barra cónica de 6 pies	pza	1.00	74.86	850.00	pies	29.06
Broca descartable	pza	1.00	18.81	307.27	pies	20.20
Aceite perforación	gal	0.50	6.88	1.00	disparos	3.44
Manguera de 1"	m	33.00	2.49	100.00	disparos	0.82
Manguera de 1/2"	m	30.00	1.22	100.00	disparos	0.37
Valvulas para manguera de 1"	pza	1.00	7.69	100.00	disparos	0.08
Abrazadera P/MANG. 1/2" C/ 2 TORN. N° 22	pza	1.00	1.63	60.00	disparos	0.03
Abrazadera P/MANG. 1" C/ 2 TORN.	pza	1.00	2.46	60.00	disparos	0.04
<b>COSTO TOTAL DE PERFORACION POR DISPARO DE 18 METROS</b>					<b>209.54</b>	
<b>COSTO TOTAL/ METRO PERFORACION</b>						<b>11.64</b>

Fuente: Autor de tesis

### 4.3. Costos de voladura.

En voladura se utilizan insumos y estos tienen un costo específico, lo importante de un explosivo para que su costo sea lo más óptimo posible es que cueste barato y cumpla su objetivo de romper la roca sin tener la necesidad de realizar voladura secundaria los resultados de una buena voladura están ligados a una buena operación de perforación, sin embargo la voladura es la actividad más crítica pues está ligada a muchas variables no controlables.

#### 4.3.1. Costos de voladura mecanizada.

En la voladura de bancos se usará el anfo y el anfo pesado su costo involucra accesorios necesarios para iniciar la voladura estos costos se considerarán como costos

variable y también se usara mano de obra lo cual se considerara costos fijos para ejecutar en una hoja de cálculo.

En el Cuadro N° 27 se observa los costos de voladura donde se incluyen costos fijos y costos variables utilizando el ANFO pesado de densidad 1.1 Gr/cc.

**Cuadro N° 27:** Costos de voladura mecanizada incluyendo ANFO y emulsión.

Avance / Disparo	48 metros	N Numero de taladros	24 taladro
Disparos / mes	20	longitud de tal	13.2 metros
Avance / mes	960	longitud de barra	14 metros
		longitud de carga	10.4 metros

Descripcion	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Utilización/Vida Util	Costo/Disparo	Costo/m
<b>PERSONAL</b>						
Cargador disparador	Tarea	1	50.30	100%		
Ayudante	Tarea	1	40.50	100%	90.80	90.80
booster	pza	24	3.5	100%	84	
fanel con detonador ensamblado	pza	24	2.13	100%	51.12	
Detonador con mecha ensamblado	pza	1	0.8	100%	0.80	
Cordon detonante	metros	100	0.15	100%	15.00	
mecha de seguridad	metros	2	0.15	100%	0.30	151.22
ANFO densidad 1.1 gg/cc por taladro	kilogramos	176.07	0.10	100%	422.57	58.44
<b>costo por metro avanzado</b>					<b>63.48</b>	
<b>costo total de voladura por disparo de 48 metros de avance</b>					<b>\$664.59</b>	

Fuente: Autor de tesis

En el Cuadro N° 28 se observa los costos de voladura donde se incluyen costos fijos y costos variables donde se utiliza el ANFO de densidad 0.8 Gr/cc.

**Cuadro N° 28:** Costos de voladura mecanizada utilizando ANFO.

Avance / Disparo	48 metros	N Numero de taladros	24 taladro
Disparos / mes	20	longitud de tal	13.2 metros
Avance / mes	960	longitud de barra	14 metros
		longitud de carga	10.4 metros

Descripcion	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Utilización/Vida Util	Costo/Disparo	Costo/m
<b>PERSONAL</b>						
Cargador disparador	Tarea	1	50.30	100%		
Ayudante	Tarea	1	40.50	100%	90.80	90.80
booster	pza	24	3.5	100%	84	
fanel con detonador ensamblado	pza	24	2.13	100%	51.12	
Detonador con mecha ensamblado	pza	1	0.8	100%	0.80	
Cordon detonante	metros	100	0.15	100%	15.00	
mecha de seguridad	metros	2	0.15	100%	0.30	151.22
ANFO densidad 0.85 gg/cc por taladro	kilogramos	136.03	0.08	100%	261.18	58.44
<b>costo por metro avanzado</b>					<b>63.48</b>	
<b>costo total de voladura por disparo de 48 metros de avance</b>					<b>\$503.20</b>	

Fuente: Autor de tesis

### 4.3.2. Costos de voladura convencional.

En la voladura de la zanja para el canal los precios de los accesorios y explosivos se consideraran como costos variables, los costos de mano de obra para el carguío no se consideraran pues las operaciones de perforación ya se consideraron, esto es una operación integrada de perforación y voladura para la producción de la zanja.

En el Cuadro N° 29 se observa los costos de voladura de la zanja donde se incluyen los explosivos con sus respectivos accesorios para la voladura.

**Cuadro N° 29:** Costos de voladura convencional.

Avance / Disparo	18 metros	N Numero de taladros	60 taladro
Disparos / mes	20	longitud de tal	5.5 pies
Avance / mes	360	longitud de barra	6 pies

Descripcion	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Utilización/Vida Util	Costo/Disparo	Costo/m
<b>PERSONAL</b>						
Perforista	Tarea	1			0	US\$
Ayudante de perforista	Tarea	1			0	0.00
<b>VOLADURA</b>						
Dinamita semexsa 65% 7/8 (0.08)	unidades	260	0.17	100%	44.20	44.20
Detonador ensamblado 2.1 mts	unidades	60	0.50	100%	30.00	
Mecha rapida de ignicion Z - 19	metros	20	0.09	100%	1.80	31.80
costo por metro de voladura						4.22
<b>costo de voladura por disprado de 18 metros de canal seccion 2m x 1.50 de profundidad</b>						<b>75.96</b>

**Fuente:** Autor de tesis

Al hacer un estudio de tiempos con el fin de establecer la producción por guardia se pudo determinar que en una guardia de se puede hacer un total de 60 taladros de 5.5 pies, sin presionar al personal, de esta manera en base a estos datos establecer una producción de 60 taladros por guardia lo que hace un avance lineal de canal de 18 metros aproximadamente se puede elaborar en la base a estos datos que el ritmo de producción diaria es de 18metros de zanja con un ancho de 2 metros y un profundidad de 1.5 metros

### 4.4. Costo total de perforación y voladura mecanizada.

El costos total incluye al costos fijo y al costo variable, como este estudio se basa en la perforación y voladura para lo cual se debe de hacer el conglomerado de las operaciones de perforación y voladura mecaniza en total, para poder observar cuanto es su costos por taladro según el terreno donde se realiza la producción. Pero habrá una diferencia de costos

entre un taladro perforado y cargado con un agente de voladura seco y otro cargado con anfo más emulsión correspondiente.

En el Cuadro N° 30 se observa los costos de perforación y voladura en una guardia donde se realizan 24 taladros y un avance de plataforma equivalente a 48 metros lineales, en el cuadro se muestran los resultados con distintos agentes de voladura, el ANFO y el ANFO pesado.

**Cuadro N° 30:** Costos de perforación mecanizada con sus respectivos recursos.

Avance / Disparo	48 metros	N Numero de taladros	24 taladro
Disparos / mes	20	longitud de tal	13.2 metros
Avance / mes	960	longitud de barra	14 metros
		longitud de carga	10.4 metros

Descripcion	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Utilización/Vida Útil	Costo/Disparo	Costo/m
<b>PERSONAL</b>						
Operador	Tarea	1	54.30	100%		
Ayudante de operador	Tarea	1	44.50	100%	98.80	
Costo de posesion por hora	pza	1	54.38	8 hora	435.04	533.84
<b>PERSONAL</b>						
Cargador disparador	Tarea	1	50.30	100%		
Ayudante	Tarea	1	40.50	100%	90.80	90.80
Barra	pza	5	220	732 metros	476.07	
Broca	pza	1	90	316 metros	90.23	
Shank	pza	1	300	600 metros	158.4	
Costo de operación (comb, aceites, filtros mantenimiento)	pza	1	43.45	8 horas	347.6	1072.29
booster	pza	24	3.5	100%	84	
fanel con detonador ensamblado	pza	24	2.13	100%	51.12	
Detonador con mecha ensamblado	pza	1	0.8	100%	0.80	
Cordon detonante	metros	100	0.15	100%	15.00	
mecha de seguridad	metros	2	0.15	100%	0.30	151.22
ANFO densidad 1.1 gg/cc por taladro	kilogramos	176.07	0.1	100%	422.57	422.57
ANFO densidad 0.85 gg/cc por taladro	kilogramos	136.03	0.08	100%	261.18	261.18
<b>costo de perforacion y voladura por disparo con anfo</b>					<b>2109.33</b>	
<b>costo de perforacion y voladura por disparo con anfo pesado</b>					<b>2270.72</b>	

Fuente: Autor de tesis

#### 4.5. Costo total de perforación y voladura convencional.

Los costos de perforación y voladura convencional serán uno mismo a lo largo de la zanja pues estos explosivos encartuchados son los que se tienen disponibles tanto para lugares con humedad y lugares donde se encuentre presencia de agua.

En el Cuadro N° 31 se observa el costo total de perforación y voladura de la zanja donde se aprecia que solo de utilizar un tipo de explosivo a lo largo del canal.

**Cuadro N° 31:** Costo total de perforación y voladura convencional.

Avance / Disparo	18 metros	N Numero de taladros	60 taladro
Disparos / mes	20	longitud de tal	5.5 pies
Avance / mes	360	longitud de barra	6 pies

Descripcion	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Utilización/Vida Util	Costo/Disparo	Costo/m
<b>PERSONAL</b>						
Perforista	Tarea	1	47.3	100%	47.3	
Ayudante de perforista	Tarea	1	44.5	100%	44.5	91.8
<b>PERFORACION</b>						
Perforadora	pza	1.00	6.240.00	90.000.00	pies	22.88
Repuestos para perforadora	pza	1.00	4.992.00	90.000.00	pies	18.30
Barra cónica de 4 pies	pza	1.00	58.00	850.00	pies	22.52
Barra cónica de 6 pies	pza	1.00	74.86	850.00	pies	29.06
Broca descartable	pza	1.00	18.81	307.27	pies	20.20
Aceite perforación	gal	0.50	6.88	1.00	disparos	3.44
Manguera de 1"	m	33.00	2.49	100.00	disparos	0.82
Manguera de 1/2"	m	30.00	1.22	100.00	disparos	0.37
Valvulas para manguera de 1"	pza	1.00	7.69	100.00	disparos	0.08
Abrazadera P/MANG. 1/2" C/ 2 TORN. N° 22	pza	1.00	1.63	60.00	disparos	0.03
Abrazadera P/MANG. 1" C/ 2 TORN.	pza	1.00	2.46	60.00	disparos	0.04
<b>VOLADURA</b>						
Dinamita semexsa 65% 7/8 (0.08)	unidades	260	0.17	100%	44.20	44.20
Detonador ensamblado 2.1 mts	unidades	60	0.50	100%	30.00	
Mecha rapida de ignicion Z - 19	metros	20	0.09	100%	1.80	31.80
<b>costo de total de perforación y voladura por disprado de 18 metros de canal seccion 2m x 1.50 de profundidad</b>						<b>285.54</b>

Fuente: Autor de tesis

#### 4.6. Ritmo de producción.

Para poder destinar recursos necesarios y programar trabajos de producción, es necesario establecer un programa de producción, que indiquen que recursos serán necesarios para cumplir con la perforación y voladura programada. Por otra parte también es importante demostrar que el ritmo de producción de la máquina perforadora ECM 720 Atlas Copco en comparación a la maquina DX 800 Sanvick es más óptima llevándonos a un escenario de optimización en cuanto al tiempo de producción, también se observa como el ritmo de la producción de la zanja se acelerara tomando en cuenta los rendimientos y tiempos de producción, la producción de plataforma es de 48 metros por guardia y la producción de zanja es de 18 metros por guardia, para llegar a culminar la perforación plataforma y zanja se tendrán que colocar dos grupos de trabajo lo cual producirá un avance lineal de 36 metros por guardia.

En el Cuadro N° 32 se observa el ritmo de producción con sus respectivos costos en el proceso de perforación y voladura del canal San Antonio de Miña.

**Cuadro N° 32:** Avance de perforación y voladura de la plataforma.

Cuadro de avance de plataforma y zanja para la construcción del canal San Antonio de Miña						
				longitud de zanja	4620	
				longitud de plataforma	4620	
Mes de trabajo	Primer mes	Segundo mes	Tercer mes	Cuarto mes	Quinto mes	Sexto mes
Porcenta avance de plataforma	20.78%	41.56%	62.34%	83.12%	100.00%	
Avance en metros de plataforma	960	960	960	960	780	
Progresivas	0--960	960--1920	1920--2880	2880--3840	3840--4620	
<b>Costo Total de perforacion y voladura mecanizada</b>	<b>50254.80</b>	<b>47060.63</b>	<b>47027.00</b>	<b>49178.87</b>	<b>40832.07</b>	
Porcenta avance de zanja	19.48%	38.96%	58.44%	77.92%	97.40%	100.00%
Avance en metros de zanja	900	900	900	900	900	120
Progresivas	0 --900	900 -- 1800	1800 -- 2700	2700 -- 3600	3600 -- 4500	4500 - 4620
<b>Costo Total de perforacion y voladura convencional</b>	<b>17821.44</b>	<b>17821.44</b>	<b>17821.44</b>	<b>17821.44</b>	<b>17821.44</b>	<b>1902.84</b>

Fuente: Autor de tesis

#### 4.7. Marco conceptual.

##### 4.7.1. Conceptos de perforación y voladura.

**Actividad** Representa un periodo de tiempo cuya duración se conoce de antemano. La duración de una actividad puede ser una constante, un valor aleatorio de una distribución estadística, el resultado de una ecuación o un cálculo basado en un evento. Puede tomar valores fijos (determinísticos) o resultado de una variable aleatoria (estocástico).

**Anfo:** Es un agente explosivo de bajo precio cuya composición es 94.3% de Nitrato de Amonio y 5.7% de gas-oil, que equivalen a 3.7litos de este último por cada 50kg de Nitrato de Amonio.

**Altura de banco:** Es la distancia vertical entre dos niveles o lo mismo, desde el pie del banco hasta la parte más alta o cabeza del mismo.



**Banco:** Es el modulo o escalón comprendido entre la cara libre y lo excavado constituye la rebanada que se explota y que es objeto de excavación desde un punto del espacio hasta una posición final preestablecida, pues puede ser comparado con un escalón de terreno.

**Burden:** Es la distancia perpendicular entre taladros hacia la cara libre

**Dinámica:** la cual se mueve a través del sistema. Es el objeto que recibe el servicio.

**Densidad:** Es la cantidad de masa de roca contenida en unidad de volumen, y se expresa en  $TM/m^3$

**Deflagración:** O propagación de la explosión sin paso de la onda de choque, con velocidad menor que la velocidad del sonido (algunos centenares de metros por segundo). Un explosivo lento, tal como pólvora negra, generalmente deflagra.

**Detonación:** Es la propagación de la explosión con paso de una onda de choque, con una velocidad supersónica (del orden de algunos miles de metro por segundo). A este numeroso grupo de explosivo pertenecen: dinamitas, ANFO., gelatina explosiva, iniciadores, etc.

**Dureza:** Es la resistencia de la roca a la penetración; el grado de la dureza de determina por el rayado, pulido, perforación, penetración.

**Diámetro de taladro:** Es la medida del agujero que se va a perforar y que tiene forma de cilindro alargado.

**Eficiencia:** Es la capacidad de disponer de alguien o de algo para conseguir un objetivo con el mínimo de recursos posibles.

**Eficacia:** Se define como la capacidad de lograr el efecto que se desea o se espera.

**Equipo:** Se acostumbra a usar en el ámbito de la construcción como término genérico que involucra al: equipo mecánico o maquinaria.

**Espaciamiento:** Es la distancia entre taladros en una misma área de influencia de una malla de perforación.

**Estándar:** Es el modelo, patrón o referencia a seguir. En minería se aplica este término a los estándares de gestión de los procesos productivos en las empresas mineras aplicándose por ejemplo en la automatización de los procesos de perforación y voladura, planes mineros y control de flotas de carguío y acarreo.

**Geomecánica** (procedente del prefijo griego geo- significando "tierra"; y "mecánica") implica el estudio geológico del comportamiento del suelo y rocas. Son las dos principales disciplinas de la geomecánica mecánica de suelos y mecánica de rocas.

**Operaciones** actividades relacionadas con la transformación de insumos en la forma final del producto perforación, voladura.

**Perforación** es realizar una cantidad de taladros hoyos diseñados y localizados estratégicamente para contener una carga explosiva de manera de manera que se pueda arrancar la roca de forma más eficiente y económica.

**Peso específico:** Es el peso por cada gramo de roca por unidad de volumen, generalmente en minería el término de densidad es sinónimo del peso específico.

**Plasticidad:** Propiedad de las rocas de deformarse sin destruirse

**Recurso:** Es una fuente o suministro del cual se produce un beneficio. Normalmente, los recursos son material u otros activos que son transformados para producir beneficio y en el proceso pueden ser consumidos o no estar más disponibles.

**Rendimiento:** Refiere a la proporción que surge entre los medios empleados para obtener algo y el resultado que se consigue. El beneficio o el provecho que brinda algo o alguien también se conocen como rendimiento.

**Meteorización:** Grado de descomposición de roca bajo la acción del aire, agua y temperatura.

**Tenacidad:** Es la resistencia de la roca a la separación de algunos pedazos de su macizo. Las rocas poseen gran resistencia a la compresión y muy poco resistencia a la tracción, corte y flexión.

**Longitud del taladro:** Es el largo del agujero perforado que a causa de la inclinación y sobre perforación puede ser más largo que la altura del banco.

**Sobre perforación:** Es el exceso de longitud de un taladro situado bajo el fondo teórico del banco.

**Zanja:** Es una excavación de en el suelo que tiene dimensiones especifica cuando sobre pasa estas dimensiones de denomina trinchera.

#### 4.7.2. Conceptos de costos y presupuestos.

**Costos directos:** Conocidos como costos variables, son los costos primarios en una operación minera en los procesos productivos de perforación, voladura, carguío y acarreo y actividades auxiliares mina, definiéndose esto en los costos de personal de producción, materiales e insumos, equipos.

**Costos indirectos:** Conocidos como costos fijos, son gastos que se consideran independiente de la producción. Este tipo de costos puede variar en función del nivel de producción proyectado, pero no directamente con la producción obtenida.

**Depreciación:** Consiste en reconocer que con el paso del tiempo y el uso que se le da a ciertos activos, estos van perdiendo o disminuyendo su valor. Por ello debe registrarse en la contabilidad de las organizaciones económicas este ajuste que sufren los activos fijos.

**Los costos de producción** (también llamados costos de operación) son los gastos necesarios para mantener una línea de procesamiento o un equipo en funcionamiento, y son la suma del costo fijo (costo por materias primas más mano de obra) y los gastos de fabricación que agrupa las erogaciones necesarias para lograr esa transformación, tales como espacio, herramientas, equipos, etc. En una compañía, la diferencia entre el ingreso (por ventas y otras entradas) y el costo de producción indica el beneficio bruto.

**Mantenimiento:** Es el cuidado regular que necesitan los vehículos, maquinarias y equipos, para funcionar correctamente para así garantizar su disponibilidad al momento de utilizarse al cual se destina una cantidad de dinero .

**Modelo:** Es definido como una representación de un sistema con el propósito de estudiar este sistema. Es una simplificación del sistema y debe ser lo suficientemente detallado para que permita realizar, generar, plantear y validar conclusiones que puedan aplicarse en el sistema real. El modelo diseña una interpretación subjetiva de un sistema del mundo real a través de un conjunto de supuestos sobre la operación del mismo. Estos supuestos deben ser representados como relaciones matemáticas o lógicas entre los objetos que interactúan en el sistema, lo cual permite que el modelo pueda ser manipulado para contemplar situaciones alternativas

**Presupuesto:** Cálculo anticipado al costo de una obra, cálculo anticipado a gastos e ingresos.

**Precio unitario** Este modelo matemático se basa en la agrupación de los componentes discriminados en 3 renglones: Materiales, Equipos y Mano de Obra. A pesar de ser un modelo matemático, que sugiere ser objetivo, desligado de sentimientos y otras influencias, incluye conceptos como el de "Rendimiento" que se entiende como: "la cantidad de obra realizada en un día, con el personal indicado, utilizando las herramientas y equipos indicados, en algunos casos son totalmente discrecionales y sometidos a cualquier clase de

influencia, sobretodo en actividades no documentadas o no estudiadas. Análogamente, se incluyen el "Factor de Rendimiento" que pondera los renglones de Equipos y Mano de Obra para racionalizarlos, Porcentajes de Costo Indirecto e impuestos. Existe también la situación en donde se utilice el rendimiento para "llegar" a un precio deseado.

**Utilidad bruta** es la diferencia entre el precio de venta de un bien o servicio y los costos de producción de un producto.

#### **4.8. Formulación de la hipótesis**

##### **4.8.1. Hipótesis general.**

Analizando los parámetros relacionados directamente con la perforación y voladura en la construcción del canal San Antonio de Miña, nos genera un escenario para la optimización de costos en la perforación y voladura.

##### **4.8.2. Hipótesis específicas**

- Los parámetros que influyen en el proceso de perforación y voladura, son el tipo de roca, la máquina perforadora el diseño de malla y la carga explosivo por taladro.
- Cuantificando los recursos aplicando los parámetros e integrándolos, se aprecia una reducción de costos operativos de perforación y voladura en la construcción del canal San Antonio de Miña.

##### **4.8.3. Variables.**

Para diseñar una malla de perforación y voladura óptima, se tiene variables dependientes, aleatorias e independientes que determina los parámetros de perforación carga de explosivo y roca.

**Cuadro N° 33:** Variables que intervienen en la investigación.

<b>Tipos de Variables</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Índices</b>
Variables Independientes	Diámetro de Taladro Burden Espaciamiento Longitud de taladro Longitud de carga Densidad de explosivo Velocidad de detonación Velocidad de perforación Vida Útil de aceros Velocidad de barrido de detritus Consumo de combustible perforadora	Milímetros Metros Metros Metros Metros Gr/cm3 m/s m/minutos Metros Pies/minutos Galones/hora
Variables Aleatorias	Densidad de roca Resistencia compresión simple Presencia de agua Calidad de roca	Gr/cm3 Mpa Humedad RQD
Variables Dependientes	Longitud de zanja Volumen de roca disparada	\$/metro \$/m3

**Fuente:** Autor de tesis

## CAPÍTULO V

### METODOLOGIA

#### 5.1. Metodología de la investigación

##### 5.1.1. Tipo de investigación

El proyecto de investigación es de tipo aplicada, también llamada fáctica porque el objeto de la investigación es una parte de la realidad, porque se da en un tiempo y espacio que lleva como título "Análisis y optimización de costo de perforación y voladura en la construcción del Canal San Antonio de Miña". A la que se aplican referentes del marco referencial y planteamientos teóricos directamente relacionados.

##### 5.1.2. Nivel de investigación.

La investigación descriptiva reúne un conjunto de procesos y procedimientos lógicos y prácticos que permiten identificar, las características de las variables y plantear una relación de causa y efecto que existe entre las variables.

Es del nivel de descriptivo establece el grado de relación o asociación existente entre dos o más variables. Se caracterizan porque primero se miden las variables y luego, mediante pruebas de hipótesis correlacionales y la aplicación de técnicas estadísticas se llega una respuesta.

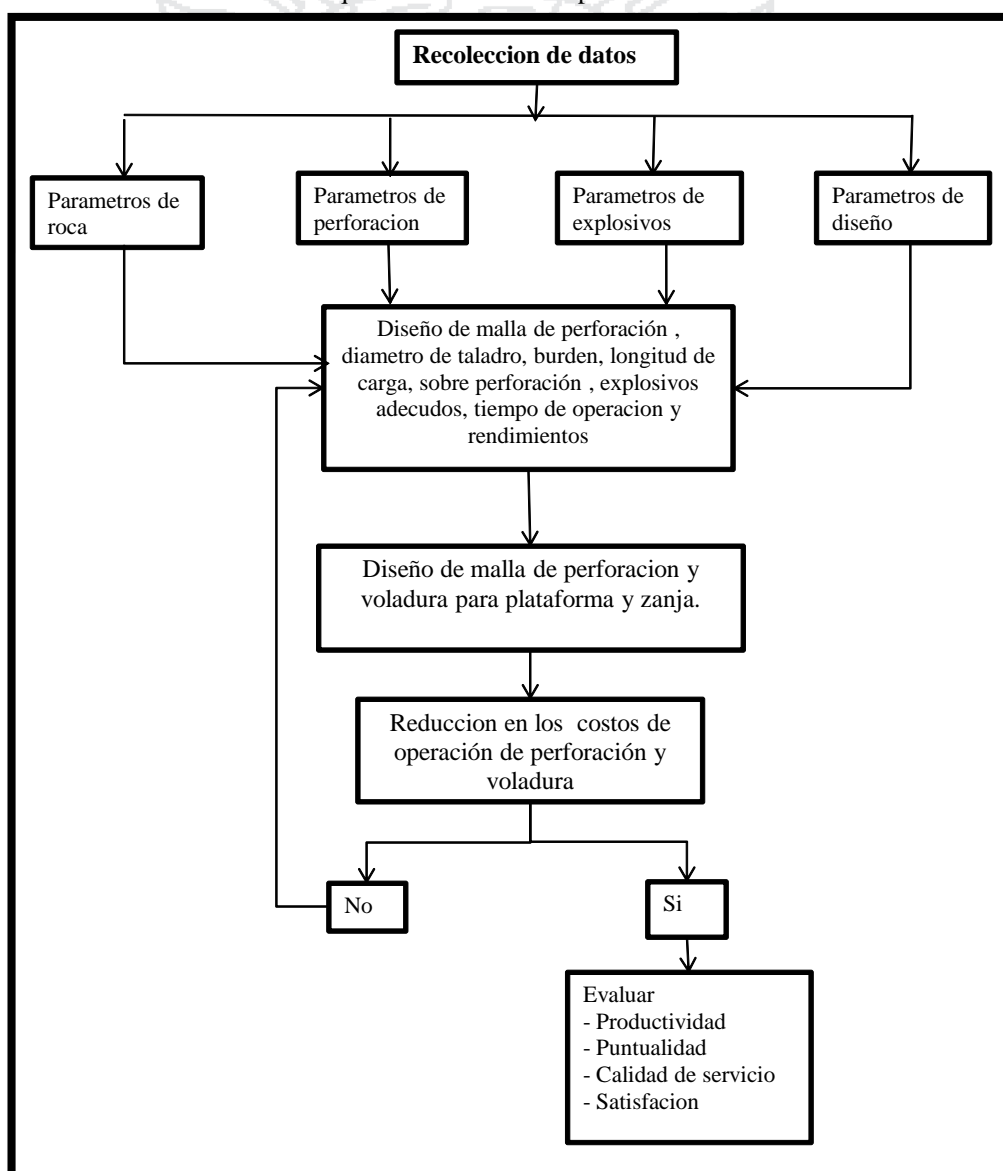
#### 5.2. Diseño de investigación.

En el diseño corresponde a la investigación de objetivos ya que estos tienen que ser contrastados con las hipótesis para llegar a una posible solución y mejoras en el proceso para llegar a calcular el costo total de perforación del canal San Antonio de Miña, los datos deben correlacionados contrastados seguir un proceso que nos lleve a la hipótesis general.

Este diseño de investigación es único solo se realizó un seguimiento y registro de base de datos que nos ayuda a la resolución de la hipótesis y cumplir los objetivos, usando el registro de todas las actividades como la identificación y características del macizo rocoso, consumo combustible de igual manera el desgaste de aceros y consumo de explosivo.

En el Cuadro N° 34 se observa los parámetros intervinientes en la optimización de costos de perforación y voladura del canal San Antonio de Miña.

**Cuadro N° 34:** Parámetros que intervienen en la operación.



Fuente: Autor de tesis



### 5.3. Ubicación.

**Política.** La ubicación política del área del presente proyecto es:

Comunidad : Miña  
 Distrito : Choco  
 Provincia : Castilla  
 Departamento : Arequipa  
 Región : Arequipa

**Geográfica.** A la ubicación geográfica de la Comunidad de Miña le corresponde las siguientes coordenadas:

Longitud Oeste : 72° 08'  
 Latitud Sur : 15° 28'  
 Altitud : 3,600 m.s.n.m

La Comunidad Miña Orográficamente se localiza en la cordillera del Chila, que se emplaza en la parte Sur-occidental de los Andes del Perú.

**5.4. Accesibilidad.** La ruta para llegar a la zona del proyecto, desde la ciudad de Arequipa es:

- Arequipa – Cañahuas : Pista asfaltada 81 Km
- Cañahuas - Caylloma : Carretera afirmada 136 Km
- Caylloma - Peñas Blancas : Trocha carrozable 15 Km
- Peñas Blancas – Mina Paula : Trocha carrozable 77 Km
- Mina Paula – Miña : Trocha carrozable 23 Km

**TOTAL**

**330 Km.**

## CAPÍTULO VI

### EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### **6.1. Reducción de costos en perforación y voladura.**

La reducción de costos en perforación y voladura y la eliminación de costos de voladura secundaria, es evidente; esto tomando en cuenta los parámetros que intervienen y en consecuencia de ello establecer estándares para que se realice la operación de perforación y voladura tomando en cuenta estos estándares en cada tarea.

#### **7.1.1. Aplicación de parámetros en voladura de canal San Antonio de Miña.**

El cambio de un equipo de perforación mecanizada con mayor diámetro de taladro y mayor eficiencia de barrido nos da como resultado un menor desgaste de aceros de perforación y un diámetro mayor, lo cual es favorable para incrementar la potencia rompedora del anfo. También al cargar el taladro de una manera adecuada de carga de columna, se refleja en una reducción de costos en voladura. Por otra parte para la voladura de la Zanja se toma consideraciones de cargas laterales reduciendo la carga explosiva para evitar sobre ruptura lo cual se ve reflejado en una reducción de costos en los explosivos, al final tomando consideraciones de perforación y voladura en conjunto con las variables intervinientes generando un escenario de optimización de costos y tiempos.

Datos usados en campo para perforación y voladura de plataforma.

Diámetro de Taladro	5.5 pulg
Burden	4 metros
Espaciamiento	4 metros
Longitud de taladro	13.2 metros
Longitud de carga	10.4 metros
Densidad de explosivo	0.85 gr/cc , 1.1 gr/cc
Velocidad de detonación	3500 m/seg.
Velocidad de perforación	31.68 m/hora
Vida Útil de aceros brocas	316 metros
Vida Útil de aceros barras	732 metros
Velocidad de barrido de detritus	2685.11 pies/segundo
Consumo de combustible perforadora	8.5 gal/hora
Explosivo Utilizado	Anfo 0.85 gr/cc y Anfo + emulsión 1.2 gr/cc

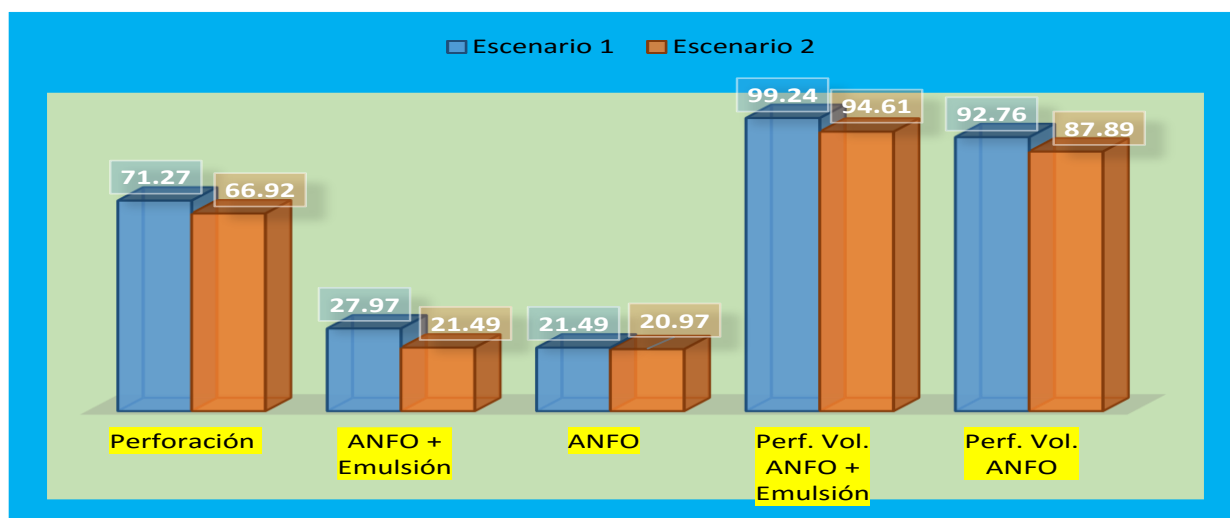
Datos usados en campo para perforación y voladura de zanja.

Diámetro de taladro	35 mm
Burden.	0.9 metros
Espaciamiento.	0.8 metros
Longitud de taladro.	5.5 pies
Carga Central	1.22 kg.
Carga lateral	1.01 kg.
Explosivo utilizado	Gelatina 75% y semexsa 65%
Vida útil de aceros brocas	307.27 pies
Vida útil de aceros barras	850.00 pies

## 6.2. Resultados de optimización

Se observa en tal tabla N° 7.1 una reducción de costos en un equivalente de 5.16 % este asciende a un costo de 15 485.39 Dólares tomando en cuenta los parámetros de perforación y voladura elaborando para ello estándares aplicados en la operación.

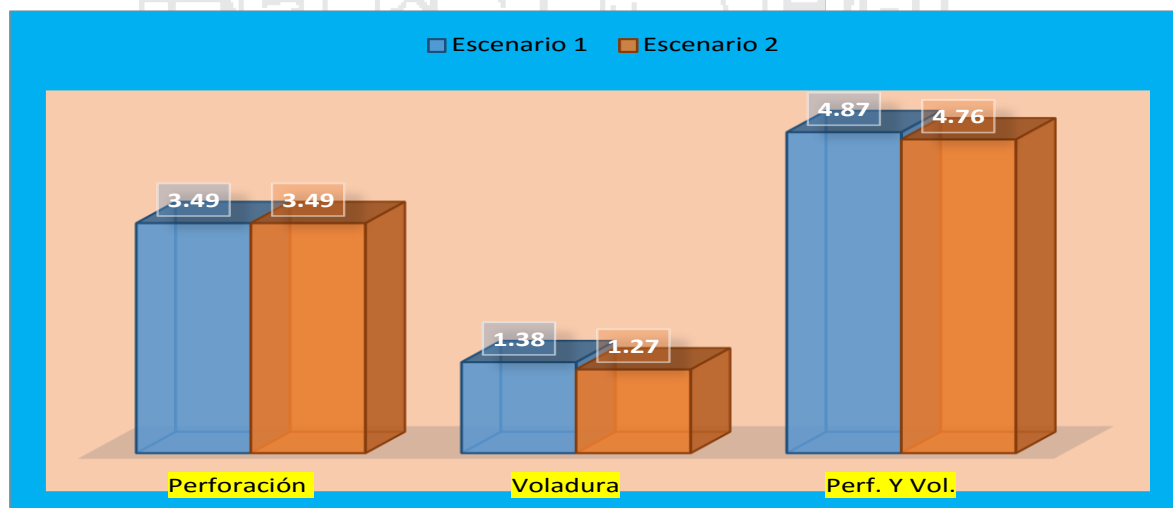
En la Figura N° 22 se muestra los costos del escenario 1 y el escenario 2 donde se observa las actividades de perforación y voladura y sus respectivos costos por taladro perforado y cargado.



**Figura N° 22:** Comparación de escenarios en perforación y voladura mecanizada

**Fuente:** Autor de tesis

En la Figura N° 23 se muestra la optimización de costos en perforación y voladura convencional en la zanja en el escenario 1 y el escenario 2 donde se observa la reducción de costos.



**Figura N° 23:** Comparación de escenarios en perforación y voladura convencional.

**Fuente:** Autor de tesis

En el Cuadro N° 35 se observa los resultados obtenidos por en los valores referidos por metro cubico de roca removido es de la siguiente manera según los escenarios donde se trabajó.

**Cuadro N° 35:** Costos y rendimientos por metros cúbicos de voladura mecanizada.

<b>CUADRO DE COSTOS Y RENDIMIENTOS</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Escenario 1</b>	<b>Escenario 2</b>
Costo por metro cubico de roca volado utilizando ANFO	0.483 US\$	0.456 US\$
costo por metro cubico de roca volado utilizando ANFO mas emulsión	0.509 US\$	0.492 US\$

**Fuente:** Autor de tesis

En el Cuadro N° 36 se observa los costos en ambos escenarios con la respectiva optimización.

**Cuadro N° 36:** Optimización de costos.

<b>CUADRO DE COMPARACIÓN DE COSTOS Y OPTIMIZACIÓN</b>		
	<b>Escenario 1</b>	<b>Escenario 2</b>
Costos de perforación mecanizada	US\$ 164,626.31	US\$ 154,563.95
Costos de voladura mecanizada	US\$ 57,480.30	US\$ 56,468.87
Voladura secundaria 12% en escenario 1	US\$ 2,666.27	
Costos de perforación y voladura de zanja	US\$ 75,033.93	US\$ 73,288.60
<b>TOTAL</b>	<b>US\$ 299,806.81</b>	<b>US\$ 284,321.42</b>

**Fuente:** Autor de tesis

## CONCLUSIONES

Se observa que el costo de la voladura en la plataforma inicialmente fluctuaba entre  $0.483\text{US}\$/\text{m}^3$  a  $0.509\text{US}\$/\text{m}^3$  y tomando en consideración los parámetros y estableciendo estándares se obtuvo una reducción de costos que fluctúan entre  $0.456\text{US}\$/\text{m}^3$  a  $0.492\text{US}\$/\text{m}^3$  de la misma manera en la zanja el costo inicialmente era  $4.87\text{US}\$/\text{tal}$  y se redujo a  $4.76\text{US}\$/\text{tal}$  esto se ve reflejado a una reducción de costos que alcanza la suma de  $15\,485.39\text{US}\$$  del total del canal, tomando en cuenta todos los parámetros involucrados aplicándolos a un modelo y así estandarizándolos a las operaciones difundiendo a todo el personal relacionado a estas operaciones.

El seguimiento y control operativo de la perforación y voladura debe abarcar el control del diseño de la malla de perforación, máquina perforadora óptima, cumplimiento de estándares, control del modo de perforación y selección de explosivo según el tipo de roca, para de esta manera mejorar la operación y evitar la voladura secundaria.

En el Perú se viene implementando y adecuando algunos softwares y programas para la planificación de operaciones mineras estas deben de tomar en cuenta las variables que influyen directamente en las operaciones de perforación y voladura.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda seguir considerando parámetros en base y hacer seguimiento de los mismos para no incurrir nuevamente en los errores generen voladura secundaria y de esta forma seguir mejorando cada vez más el proceso operativo y poder reducir más aun los costos operativos.

Se recomienda que el trabajo de control en campo se siga realizando, y hacer un seguimiento continuo a cada proceso que involucra esta actividad para hacer que se cumplan los estándares en función de perforación y voladura pues una mala acción en el proceso perjudicaría los costos variables o denominados también costos operativos.

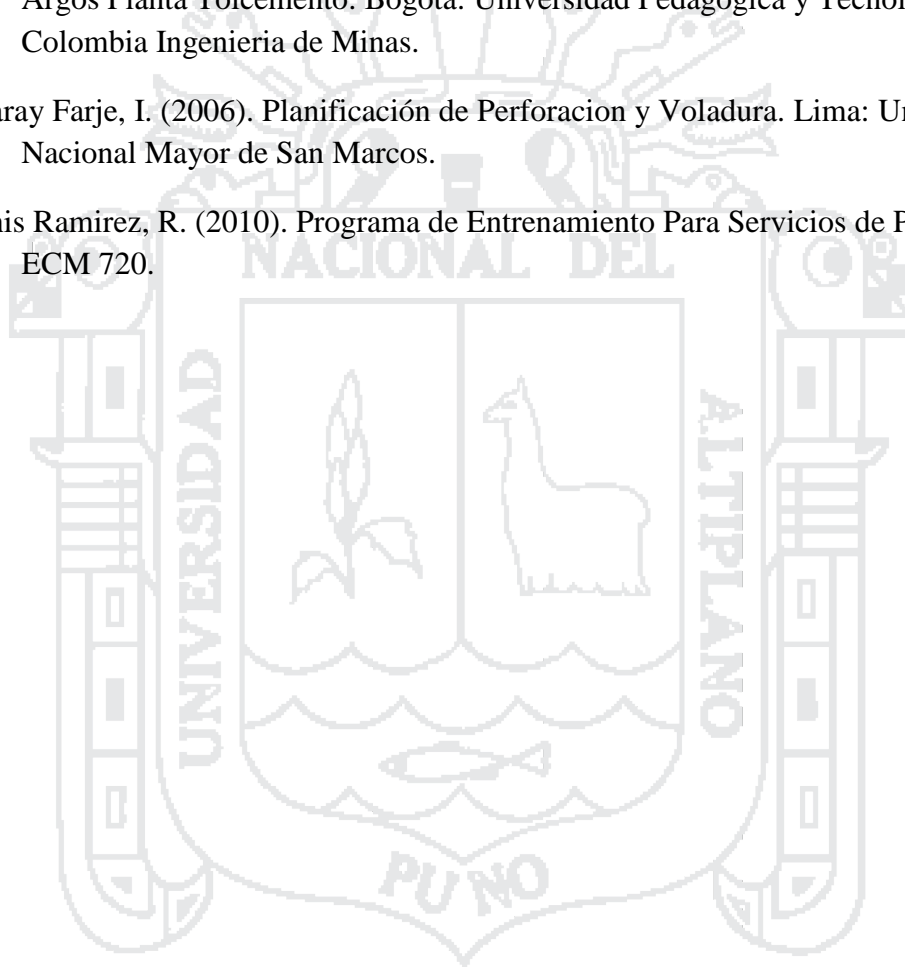
Se recomienda tomar todas las consideraciones con respecto al tipo de roca y diseño de malla antes de elegir el equipo o los equipos óptimos que nos facilitaran los trabajos y a su vez nos estos sean tengan alto grado de rendimientos y eficiencias basados en nuestra realidad Peruana para poder diseñar un software que contribuya aún más del desarrollo en el campo de la minería.



## BIBLIOGRAFÍA

- Bauer, A. (1975). Principles and Applications of Displacing Overburden in Strip Mines by Explosives Casting.
- Bieniawski. (s.f.). Sistema de Clasificación de Rocas.
- Camac Torres, A. (2014). Tecnología de Explosivos. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Carhuavilca Mechat, C. (2010). Elementos para Determinación del Costo Horario de los Equipos y Maquinas del Sector Construcción. Exposición Sobre Los Alcances de la Norma Técnica. Peru.
- Chambergu Guillermo, I. (2009). Análisis de Costos y Presupuestos en el Planeamiento Estratégico Gerencial. Lima: Instituto Pacifico.
- Delgado Vega, J. (2010). Planificación en Minería Subterránea y Superficial. Antofagasta - Chile: Universidad de Antofagasta Chile.
- EXSA. (2010). Manual Práctico de Voladura (4 ed.). Grupo Brecia.
- Gamsur Ingenieros S.R.L. (2014). Estudio de proyecto Canal San Antonio de Miña. Arequipa, Castilla, Peru.
- Gomez Castilla, J. (2013). Perforación y Voladura de Rocas en Minería. Madrid: E.T.S. DE INGENIEROS DE MINAS DE MADRID.
- Jáuregui Aquino, O. (2009). Reducción de Costos Operativos en Mina, Mediante la Optimización de las Operaciones Unitarias de Perforación y Voladura. Lima: Pontificia Universidad Católica del Peru.
- Konya, C. J. (2002). Manual de Voladura.
- Lopez Jimeno, C. (1994). Manual de Perforación Y voladura de Rocas. España: Instituto Geológico Minero de España.
- Mckenzie, C. (2000). Tronadura Para Ingenieros.
- Reategui Ordonez, C. (2011). Costos de Perforación y Voladura de Rocas. Cámara Minera del Peru Diplomado de Gestión de Costos en Minería. Peru: Cámara Minera de Peru.
- Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía . (2004). Manual de Geomecánica Aplicada a la Prevención de Accidentes y Caída de Rocas.

- Sonalilla B., J. H. (2010). Gerencia de Equipos para Obras Civiles y Minería. Gerencia de Equipos para Obras Civiles y Minería. Peru.
- Tuirriate Agreda, C. (2011). Estrategias Para la Reduccion de Costos de Perforacion y Voladura en Minería Superficial. Camara Minera del Peru. Peru.
- Venegas Villero, C. D. (2009). Diseño del Esquema de Perforacion y Voladura Para el Mejoramiento de la Fragmentacion de la Caliza en el Frente Uno de Explotación de Argos Planta Tolcemento. Bogota: Universidad Pedagogica y Tecnologica de Colombia Ingenieria de Minas.
- Vergaray Farje, I. (2006). Planificación de Perforacion y Voladura. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Wilchis Ramirez, R. (2010). Programa de Entrenamiento Para Servicios de Perforadoras ECM 720.



**ANEXOS**

**ANEXO N°01**

**MATRIZ DE CONSISTENCIA**



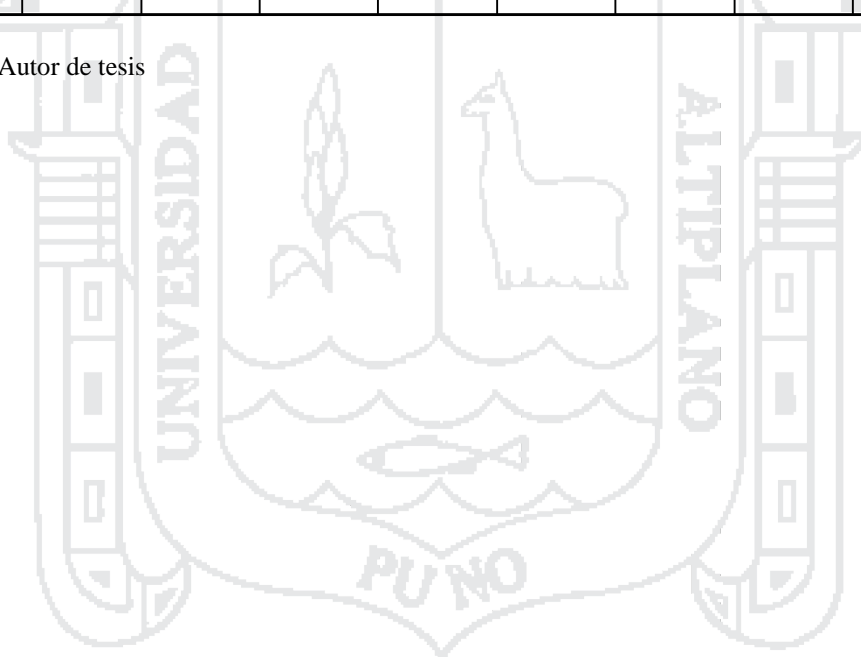
1. Problemas	2. Objetivos	3. Hipótesis
<p><b>PROBLEMA GENERAL.</b> ¿Cuáles son los parámetros para el análisis y optimización de los costos de perforación y voladura en el proceso de la construcción del Canal San Antonio de Miña ?</p> <p><b>PROBLEMAS ESPECIFICOS.</b> a)¿Cuáles son los parámetros que influyen en el proceso de perforación y voladura en la construcción del canal San Antonio de Miña? b)¿Cuál es la reducción de costos en el proceso de perforación y voladura en la construcción del canal San Antonio de Miña ?</p>	<p><b>OBJETIVO GENERAL.</b> Analizar y optimizar los costos en todo el proceso de perforación y voladura mediante el análisis de los parámetros identificados que influyen en la operación.</p> <p><b>OBJETIVOS ESPECIFICOS.</b> a) - Identificar los parámetros que influyen en la perforación y voladura en el proceso de construcción del canal San Antonio de Miña. b)- Cuantificar la reducción de costos en el proceso de perforación y voladura de la construcción del canal San Antonio de Miña</p>	<p><b>HIPOTESIS GENERAL</b> Analizando los parámetros relacionados directamente con la perforación y voladura en la construcción del canal San Antonio de Miña nos genera un escenario para la optimización de costos en la perforación y voladura.</p> <p><b>HIPOTESIS ESPECIFICAS</b> - Los parámetros que influyen en el proceso de perforación y voladura, son el tipo de roca, la máquina perforadora el diseño de malla y la carga explosivo por taladro. - Cuantificando los recursos aplicando los parámetros e integrándolos, se aprecia una reducción de costos operativos de perforación y voladura en la construcción del canal San Antonio de Miña.</p>

Anexo N°02

Reporte trabajos de perforación.

reporte de perforación									
perforadora _____								zona _____	
guardia _____									
fecha	Zona	taladros	diámetro de taladro	Altura de talud	Longitud de taladros	Longitud de carga	carga explosiva	Velocidad de perforación	voladura secundaria
	Unidades	unid.	mm.	metros.	metros	metros.	Kg.	metros/ hora	m3

Fuente: Autor de tesis



Anexo N°03

FORMATO DE REPORTE DE PERFORACION.

perforadora _____		reporte de operador de perforadora					Fecha _____			
lugar _____							Guardia _____			
N° de taladros	Metros perforados		Total	Tiempo de perforacion		Broca N°	estado de broca		Tipo de material	Observaciones del perforista
	De	A		inicia	termina		inicia	termina		
<b>Total</b>				<b>Total</b>						observaciones de la perforadora
<b>Tiempo de trabajo no productivo</b>						<b>operador y ayudante</b>				
<b>Motivo</b>	<b>De</b>	<b>A</b>	<b>Total</b>			<b>apellido y nombre</b>	<b>Fecha</b>			
Reparacion electrica										
Reparacion mecanica										
Traslado										
Descanso										
Disponible										
Otros										
Total										

Fuente: Autor de tesis

**Anexo N°04**

**Vida Económica Útil de equipos**

vida economica util de equipos	
Maquina	Horas
Perforadora de orugas Rock Drill	12000
Perforadora rotativas	15000
Cargadores sobre llantas ( de 4 a 8 yd3)	12000
Retroexcavadoras de Oruga	10000
Tractores de orugas ( $\leq 240$ HP)	12000
Tractores de orugas ( $\geq 250$ HP)	15000
Motoniveladoras	15000
Rodillo	12000

Fuente: (Reategui Ordonez, 2011)

**Anexo N°05**

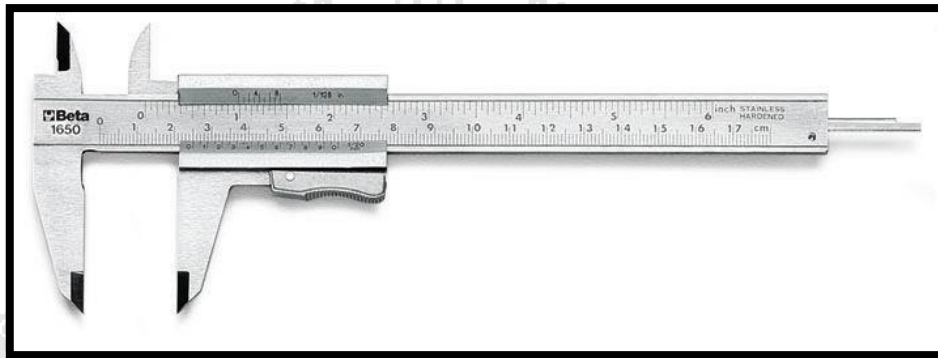
**Consumo de Combustible, Lubricantes y Grasa.**

consumo de combustible, lubricantes y grasa				
	consumo			% de consumo de combustible (aceite y grasa)
	Diesel gln/hr	Aceite gln/hr	grasa lb/hr	
Perforadora de orugas Rock Drill	8.50	0.21	0.12	3.90%
Perforadora rotativas	12.00	0.30	0.17	3.90%
Cargadores sobre llantas ( de 4 a 8 yd3)	8.50	0.25	0.12	4.40%
Retroexcavadoras de Oruga	6.00	0.22	0.10	5.30%
Tractores de orugas ( $\leq 240$ HP)	5.10	0.15	0.07	4.30%
Tractores de orugas ( $\geq 250$ HP)	10.30	0.36	0.15	5.00%
Motoniveladoras	4.75	0.15	0.05	4.20%
Rodillo	3.46	0.13	0.06	5.50%

Fuente: Autor de tesis



## Anexo N°06

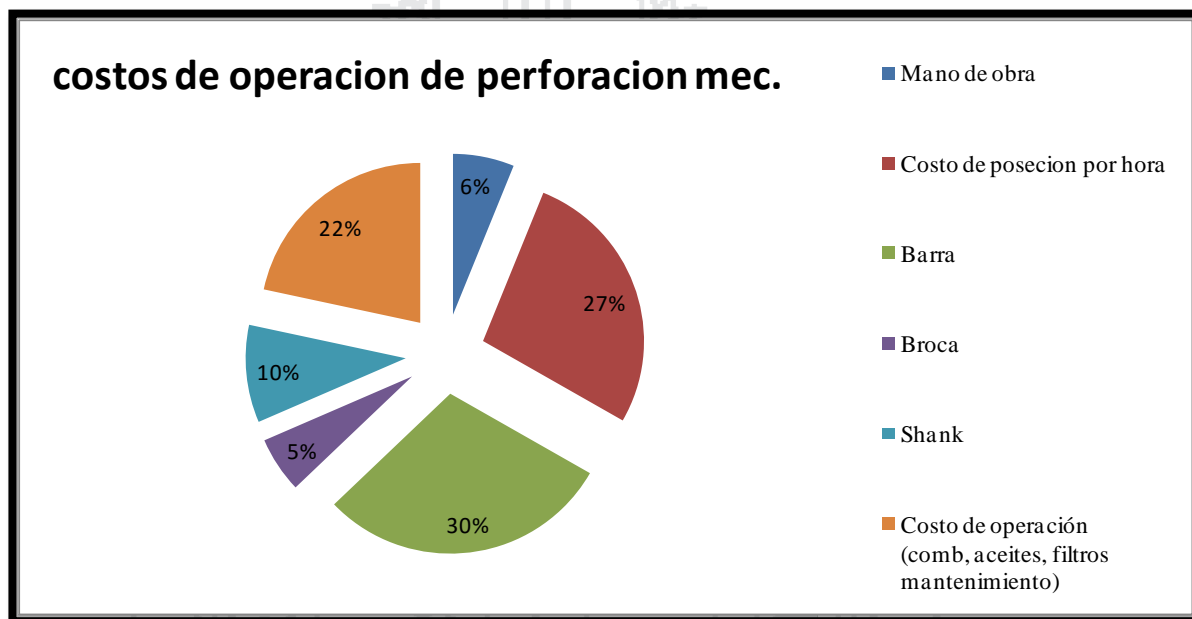
**Instrumentos y equipos utilizados para el desarrollo de la investigación.**

**Fuente:** Autor de tesis

En la parte superior el pie de rey utilizado para medir las separaciones entre fallas y medir los insertos de la broca, en la parte inferior izquierda cinta métrica para las distintas medidas de toma de datos, abajo a la derecha equipo para medir la carga puntual en rocas

Anexo N°07

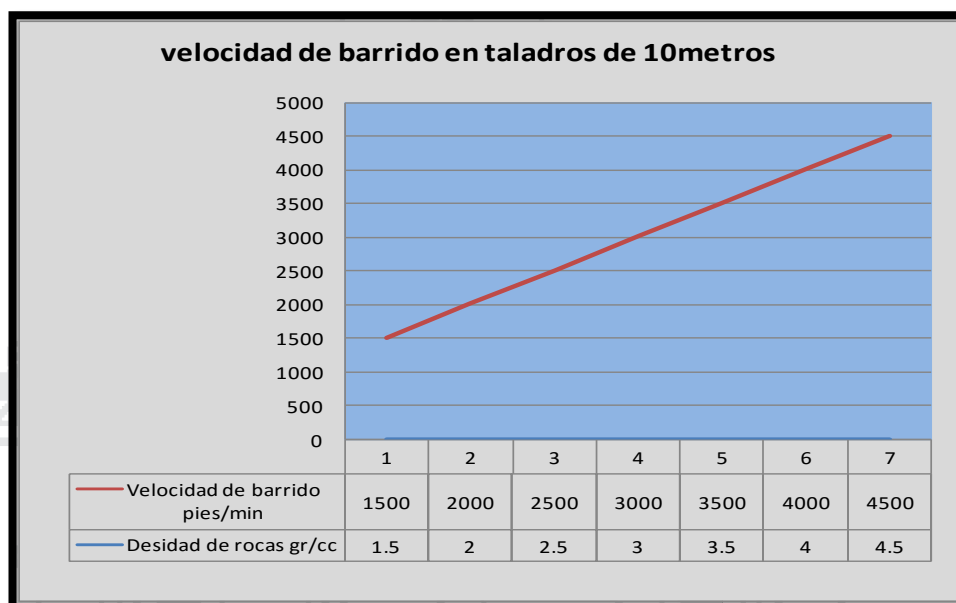
Cuadro de distribución de costos de operación de perforación mecanizada.



Fuente: Autor de tesis

Anexo N°08

Cuadro de Velocidad de barrido de detritus según la densidad de roca a una profundidad de 10 metros.



Fuente: Autor de tesis



Anexo N°09

**Planos del Canal San Antonio de Miña**



## Planos del Canal San Antonio de Miña

P – 1: Plano del canal San Antonio de Miña, progresiva 0+000 a la progresiva 1+000

P – 2: Plano del canal San Antonio de Miña progresiva 1+00 a la progresiva 2+000

P – 3: Plano del canal San Antonio de Miña progresiva 2+000 a la progresiva 3+000

P – 4: Plano del canal San Antonio de Miña progresiva 3+000 a la progresiva 4+000

P – 5: Plano del canal San Antonio de Miña progresiva 4+000 a la progresiva 4+620

