

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS**

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS**



**T E S I S**

**Reducción del costo de perforación incrementando la velocidad de penetración en el tajo de la Fase 1 de la Mina Toquepala**

**Para optar el título profesional de:**

**Ingeniero de Minas**

**Autor:**

**Bach. Eliseo Rodrigo BERROSPI AVALOS**

**Asesor:**

**Mg. Silvestre FABIAN BENAVIDES CHAGUA**

**Cerro de Pasco – Perú - 2024**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS**

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS**



**T E S I S**

**Reducción del costo de perforación incrementando la velocidad de penetración en el tajo de la Fase 1 de la Mina Toquepala**

**Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:**

---

**Mg. Vicente César DAVILA CORDOVA**  
**PRESIDENTE**

---

**Mg. Joel Enrique OSCUVILCA TAPIA**  
**MIEMBRO**

---

**Ing. Julio César SANTIAGO RIVERA**  
**MIEMBRO**



**Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión**  
**Facultad de Ingeniería de Minas**  
**Unidad de Investigación**

## **INFORME DE ORIGINALIDAD N°088-JUIFIM-2024**

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión ha realizado el análisis con exclusiones en el Software Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Presentado por:

**Bachiller:** Eliseo Rodrigo, BERROSPI AVALOS

Escuela de Formación Profesional

**Ingeniería de Minas**

Tipo de trabajo:

**Tesis**

**Reducción del costo de Perforación Incrementando la Velocidad de Penetración en el Tajo de la Fase 1 de la Mina Toquepala**

**Asesor:**

Mg. Silvestre Fabián Benavides Chagua

Índice de Similitud: 19%

Calificativo

**APROBADO**

Se adjunta al presente el informe y el reporte de evaluación del software similitud.

Cerro de Pasco, 07 de marzo 2024



Firmado digitalmente por AGUIRRE  
ADAUTO Agustín Arturo FAU  
20154605046 soft  
Motivo: Soy el autor del documento  
Fecha: 07.03.2024 12:51:00 -05:00

**Dr. Agustín Arturo AGUIRRE ADAUTO**  
JEFE DE LA UNIDAD DE INVESTIGACION DE LA  
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS

C.c.  
Archivo

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo se lo dedico a Dios  
por brindarme sabiduría

## **AGRADECIMIENTO**

A mis queridos padres,  
quienes son guía en mi  
camino, el motivo que me  
impulsa a seguir luchando  
por mis metas.

## RESUMEN

En el presente proyecto de Investigación realizado en la Empresa Minera Toquepala de Southern Perú ubicada en el departamento de Tacna, se enfocará en el desarrollo de propuestas de mejora del proceso de perforación propuestas por los departamentos de administración y monitoreo de la mina para aumentar de manera sustentable y efectiva la tasa de penetración de los taladros tricónicos con un impacto directo en los costos generales de perforación. Las tareas de perforación primaria estuvieron a cargo de perforadoras Bucyrus (49RIII y 49HR), P&H (120A, 100XP y 320XPC) y CAT (MD6640); usando brocas de 12 ¼” y 11” pulgadas de diámetro y brocas de 10 ¾” y 9 ¼” que describe la teoría y los procedimientos para ayudar a aumentar las tasas de penetración, controlar y optimizar variables como la presión del aire, la velocidad de giro y la reducción que se midieron utilizando el software JmineOps integrado en la perforadora. , afectará directa o indirectamente los trabajos de perforación. El resultado de nuestro estudio tenemos minas en fase 4 (con presencia de cuarzo sericita yeso anhidrita con secciones de brecha y cuarzo Toquepala) y fase 5 (con alteración de brecha y turmalina, cuarzo Toquepala y diorita propilítica), concluimos que en la etapa 5, la velocidad de penetración aumenta de 24.98 m/h a 32.72 m/h, lo que significa un aumento del 30.95% respecto al promedio, y iv disminuye. costos totales de perforación de \$16,75/m<sup>2</sup> a \$12,61/m<sup>2</sup>; En la etapa 4, la velocidad de perforación aumentó de 29,78 m/h a 44,11 m/h, lo que significa que en comparación con el aumento promedio general del 48,11%, el costo total de perforación disminuyó de 15,57 \$/m a 11,66 \$/mes.

**Palabras claves:** Perforación, brocas tricónicas, velocidad, reducción de costos.

## ABSTRACT

In the present research project carried out in the Toquepala Mining Company of Southern Peru located in the department of Tacna, it will focus on the formulation of a proposal for the improvement of the drilling process proposed by the mine management and superintendency, in which it is sought In a sustainable and efficient way, increase the penetration rate of tricone bits that directly impact the total cost of drilling. Primary drilling is carried out by Bucyrus (49RIII and 49HR), P&H (120A, 100XP and 320XPC) and CAT (MD6640) drills; with 12 ¼" and 11" diameter drill bits and 10 ¾" and 9 ¼" bars in which theories and procedures are proposed that can help increase the penetration speed, controlling and optimizing variables such as air pressure, speed of rotation and pull-down which are measured under the use of a software integrated into the drilling machine called JmineOps which will directly and indirectly affect the drilling work. As a result of our study carried out in phase 4 (mine area with the presence of gypsum anhydrite and sericite quartz with breccia alterations and Toquepala quartz) and phase 5 (mine area with the presence of breccias with tourmaline alterations, Toquepala quartz and propylitic diorite) of the mine, we conclude that in phase 5 with an increase in the Penetration Speed from 24.98 m/hr to 32.72 m/hr, which means an increase of 30.95% with respect to the general average and a reduction of the iv Total Cost of Drilling from 16.75 \$/m to 12.61 \$/m; and in phase 4 with an increase in the Penetration Speed from 29.78 m/hr to 44.11 m/hr, which means an increase of 48.11% with respect to the general average and a reduction of the Total Drilling Cost from \$15.57 to \$11.66. \$/m.

**Keywords:** Drilling, tricone bits, speed, cost reduction.

## INTRODUCCION

Actualmente todas las operaciones mineras requieren eficiencia e innovación para operar de manera rentable, requiriendo planes de mejora continua para todas las operaciones unitarias involucradas en las operaciones mineras (perforación estrecha). Como parte inicial del proceso de producción, la perforación juega un papel fundamental en otros procesos como la voladura, la carga y el transporte final; Preocupante es la forma en que se ha diseñado la etapa de perforación de producción, la cual aún presenta fallas que impiden que el proceso alcance un mejor desempeño.

La perforación de macizos rocosos es una operación unitaria muy importante en todo el proceso, por lo que es necesario incrementar la productividad y los accesorios de perforación. A la hora de elegir un método de minado, en rigor, elegir la parrilla de perforación adecuada para cada terreno siempre es un factor decisivo, ya que de ello dependerá la obtención del mayor rendimiento posible en el proceso de minado. Desde una perspectiva financiera, el mejor enfoque le brindará el mayor retorno de la inversión. En operaciones a cielo abierto, es habitual identificar y determinar los parámetros de perforación correctos, como la presión aplicada a la barrena, la presión de descenso y la velocidad de rotación, para determinar la dirección correcta de la barrena, lo que nos permitirá obtener resultados específicos para cada condición de roca. y formas de maximizar la productividad al mejor costo (TDC). Los resultados alcanzables se basan en estrategias de ingeniería de procesos que permiten identificar y reducir los costos operativos del equipo de perforación y así ahorrar tiempo y costos en operación y mantenimiento.

## ÍNDICE

Pág.

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCION

ÍNDICE

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ANEXOS

### CAPITULO I

#### PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.	Identificación y planteamiento del problema .....	1
1.2.	Delimitación de la investigación .....	2
1.2.1.	Ubicación .....	2
1.2.2.	Accesibilidad. ....	3
1.2.3.	Geología Regional .....	3
1.3.	Formulación del problema.....	8
1.3.1.	Problema general .....	8
1.3.2.	Problemas específicos.....	8
1.4.	Formulación de objetivos .....	8
1.4.1.	Objetivo general.....	8
1.4.2.	Objetivos específicos .....	8
1.5.	Justificación de la investigación .....	8
1.6.	Limitaciones de la investigación .....	9

### CAPITULO II

#### MARCO TEORICO

2.1.	Antecedentes de estudio .....	10
2.2.	Bases teóricas - científicas.....	13
2.3.	Definición de términos básicos.....	17
2.4.	Formulación de hipótesis.....	22

2.4.1.	Hipótesis general.....	22
2.4.2.	Hipótesis específicas.....	22
2.5.	Identificación de las variables .....	22
2.5.1.	Variable independiente: .....	22
2.5.2.	Variable dependiente: .....	22
2.6.	Definición operacional de variables e indicadores .....	23

### CAPITULO III

#### METODOLOGIA Y TECNICAS DE INVESTIGACION

3.1.	Tipo de investigación.....	24
3.2.	Nivel de la investigación .....	25
3.3.	Métodos de la investigación .....	25
3.4.	Diseño de la investigación.....	25
3.5.	Población y muestra.....	26
3.5.1.	Población .....	26
3.5.2.	Muestra .....	26
3.6.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	26
3.6.1.	Técnicas .....	26
3.6.2.	Instrumentos.....	27
3.7.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	27
3.8.	Tratamiento estadístico.....	28
3.9.	Orientación ética filosófica y epistémica.....	28

### CAPITULO IV

#### RESULTADOS Y DISCUSION

4.1.	Descripción del trabajo de campo.....	29
4.2.	Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	33
4.3.	Prueba de hipótesis .....	41
4.4.	Discusión de resultados .....	42

#### CONCLUSIONES

#### RECOMENDACIONES

#### REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

#### ANEXOS

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

	<b>Pág.</b>
Ilustración 1. Ubicación Mina Toquepa .....	3
Ilustración 2. Vista de la Mina Toquepala.....	3
Ilustración 3. Geología Regional de Toquepala .....	4
Ilustración 4. Columna Estratigráfica Toquepala.....	7
Ilustración 5. Fractura de Roca.....	13
Ilustración 6. Presión sobre la broca reduciendo las RPM.....	14
Ilustración 7. Desprendimiento o Spalling .....	14
Ilustración 8. Desprendimiento o Profundo.....	15
Ilustración 9. Exceso de Presión.....	16
Ilustración 10. Determinación del RPM Optimo.....	31
Ilustración 11. Determinación del Diámetro de Boquillas Optimo. ....	32
Ilustración 12. RPM Óptimo en Terreno Duro.....	34
Ilustración 13. RPM Óptimo en Terreno Medio. ....	35
Ilustración 14. Pulldown Óptimo en Terreno Duro.....	37
Ilustración 15. Pulldown Óptimo en Terreno Medio.....	38
Ilustración 16. Avance de la Broca y Velocidad de Perforación en Terreno Duro .....	40
Ilustración 17. Avance de la Broca y Velocidad de Perforación en Terreno Medio.....	41
Ilustración 18. Costo Total de Perforación vs Velocidad de Penetración en Terreno Duro - *NPP (nuevos parámetros de perforación). ....	44
Ilustración 19. Costo Total de Perforación vs Velocidad de Penetración en Terreno Medio - *NPP.....	47
Ilustración 20. Costo Total de Perforación vs dureza del terreno. ....	47

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Litología de la Mina Toquepala	6
Tabla 2. Operacional de Variables	23
Tabla 3. Datos generales para la prueba del RPM óptimo en terreno duro.	34
Tabla 4. Datos Generales Para la Prueba del RPM Óptimo en Terreno Medio.	36
Tabla 5. Datos Generales Para la Prueba del Pulldown Óptimo.	36
Tabla 6. Datos Generales Para la Prueba del Pulldown Óptimo.	39
Tabla 7. Costos Unitarios de Perforación – Agosto 2022.	43
Tabla 8. Costos de Perforación en el Periodo de Agosto Para Terreno Duro.	44
Tabla 9. Costos de Perforación en el Periodo de Julio Para Terreno Medio.	46

## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
Anexo 1. Matriz de Consistencia	
Anexo 2. Costo Horario Perforado	
Anexo 4. Metros Perforados	
Anexo 4. Mineralización de la Veta Andaychagua	
Anexo 5. Utilización de perforadoras	
Anexo 6. Resumen de Perforación	

## **CAPITULO I**

### **PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. Identificación y planteamiento del problema**

La mayoría de las empresas mineras o empresas alrededor del mundo se ven afectadas por los precios de los metales en el mercado internacional. Reducir los costos operativos es esencial e imprescindible. La perforación la realizan todos los días todas las empresas mineras, ya que es una de las principales actividades de preparación y desarrollo.

Durante las operaciones de perforación, siguen parámetros estrictos, luego los estandarizan y continúan optimizando el proceso. Reducir el costo por metro de perforación nos ayuda a reducir los costos finales de perforación, lo cual es beneficioso para las empresas mineras.

La perforación primaria en macizos rocosos ha ido evolucionando con el tiempo incluyendo nuevas tecnologías, aunque muchos de estos métodos también se han abandonado porque con el tiempo podemos conseguir más y mejores

resultados, o porque es debido a condiciones externas como las ambientales. Hoy en día, los nuevos métodos de perforación utilizan métodos de perforación mecánicos llamados sistemas de perforación rotativos y de percusión. Los procesos de perforación y voladura siempre están estrechamente relacionados. Se puede establecer categóricamente que "una perforación buena puede resultar en una perforación buena, y una perforación mala puede resultar en una perforación mala". Conocemos que la mejor perforación se realiza con tecnología avanzada y las herramientas adecuadas, y se hace bien. También tenga en cuenta que una buena explosión será aquella que cumpla con los objetivos de diseño.

Teniendo en cuenta el costo total de perforación, que disminuye al aumentar la velocidad de perforación, esta optimización lograda será muy importante para TDC. La investigación, seguimiento y control de las herramientas de perforación, especialmente las brocas tricónicas, ayudarán a mejorar el rendimiento de estas herramientas y mejorar su diseño. Esta mejora del diseño también puede aumentar la velocidad de perforación y reducir los costos de perforación para la operación en la mina Toquepala.

## **1.2. Delimitación de la investigación**

### **1.2.1. Ubicación**

Situado en el sur del Perú, en el departamento de Tacna, provincia de Jorge Basadre y distrito de Ilabaya, se encuentra el yacimiento minero de Toquepala. En el sector este, los nevados alcanzan cotas de más de 6,000 metros sobre el nivel del mar. (Sicilia Adolfo, s.f.)

- Longitud Oeste: 70°36' - Latitud Sur: 17°13'

*Ilustración 1.*  
*Ubicación Mina Toquepa*



### 1.2.2. Accesibilidad.

El acceso a la Mina Toquepala es por vía terrestre, por la carretera panamericana Sur, continuando por la Carretera Camiara, carretera afirmada de 72 km aproximado la cual se dirige a la mina. De igual manera, hay una línea férrea que se encuentra a 167 km de distancia del puerto de Ilo, por la cual la empresa transporta sus concentrados a su fundición y refinería. Además, cuenta con un aeropuerto para uso exclusivo de la empresa. (Sicilia Adolfo, s.f.)

*Ilustración 2.*  
*Vista de la Mina Toquepala*

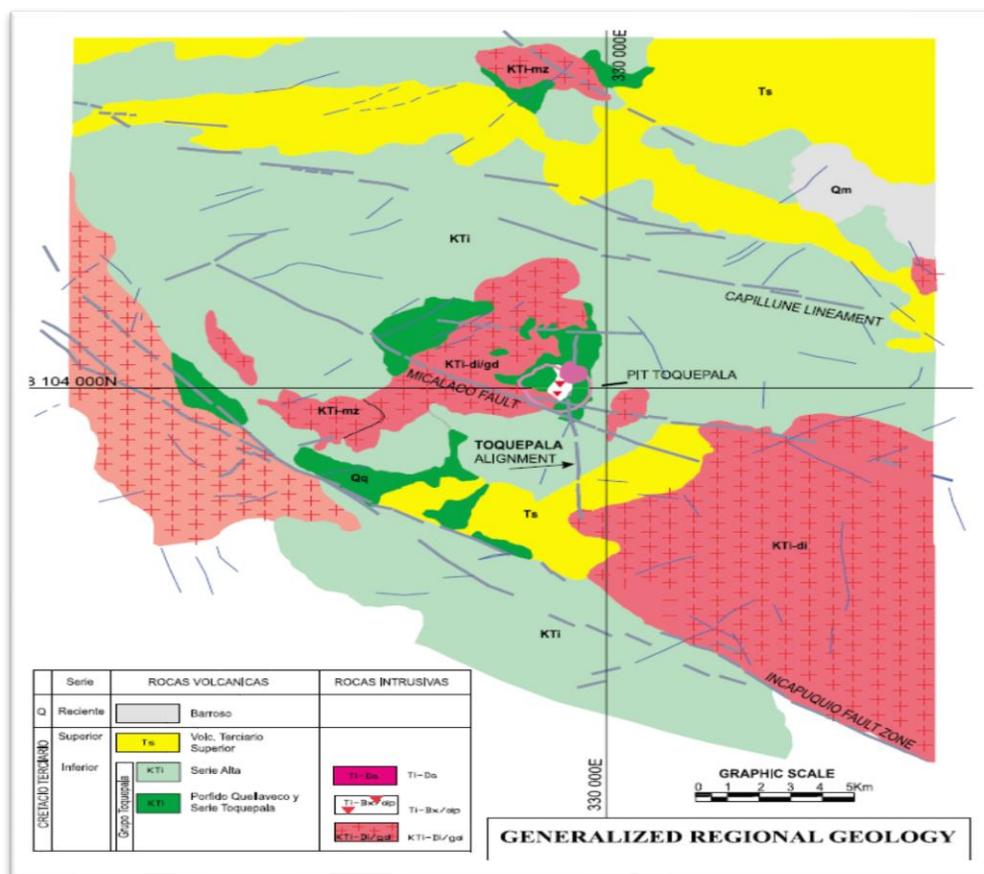


### 1.2.3. Geología Regional

El sitio del yacimiento se encuentra en un lugar donde se produjo una intensa actividad ígneo-eruptiva, así como magmas riolíticos y andesíticos que se

registraron hace 70 mil años antes de Cristo; La trabajo generó una gran cantidad de material volcánico que se almacenó en varios mantos de lava hasta llegar a un espesor de 1,500 metros. El "Grupo Toquepala" es el basamento regional formado por derrames alternos de riolitas, andesitas y aglomerados, que están ligeramente inclinados hacia el oeste. (Ver **Ilustración de la geología regional de Toquepala**). (Sicilia Adolfo, s.f.).

**Ilustración 3.**  
**Geología Regional de Toquepala**



Como resultado, la actividad ígnea fue principalmente epitermal y provocó la fusión de grandes cantidades de roca, que intruyeron, rompieron y fundieron las lavas enfriadas del "Grupo Toquepala". Las apófisis del batolito andino están formadas por estas rocas intrusivas que fueron colocadas en diversas etapas. Debido a que provenían de un magma calco-alcalino con diferentes

concentraciones químicas, surgieron una variedad de rocas como la diorita, la granodiorita y la dacita porfirítica, entre otras.

Las fallas Incapuquio, Micalaco de orientación NW-SE y el alineamiento Toquepala representan estructuralmente la actividad tectónica regional, que está relacionada con la formación de la Cordillera de los Andes. Durante el Eoceno tardío o comienzos del Oligoceno, los movimientos de la segunda fase de la orogenia andina (fase Inca) tuvieron un impacto en el basamento de Toquepala. (E. Bellido, 2015)

A pesar de que el alineamiento Toquepala N-S se formó como una variante del fallamiento principal NW-SE y el levantamiento del bloque al norte de la falla Micalaco, ambas fallas se confundieron en el área de la mina y causaron una amplia zona de debilitamiento. El contacto volcánico intrusivo puede haber contribuido a la formación de la falla Micalaco. (Sicilia Adolfo, s.f.).

Después, durante una etapa de diferenciación magmática, soluciones a altas temperaturas atravesaron todas las rocas existentes, destruyéndolas y modificando su composición química, lo que las hizo más permeables. Estas soluciones, impulsadas por el debilitamiento previo, causaron alteración y mineralización primaria, estableciendo un estadio estable y maduro del sistema. (Sicilia Adolfo, s.f.).

Después de las etapas de intrusión y la secuencia de brechamiento (Chimenea de brecha), se formó una ventana explosiva que estaba limitada al norte del yacimiento durante las últimas manifestaciones de actividad hidrotermal. Posteriormente, el magma de composición porfirítica con una débil mineralización llenó la ventana con fragmentos de varios tipos de roca de varias formas y tamaños (aglomerado de dacita) (Sicilia Adolfo, s.f.).

#### 1.2.4. Geología Local

Relacionado con una actividad ígnea intensa desde el Cretáceo superior hasta el Terciario inferior. El Grupo Toquepala se compone de derrames alternos de riolitas y andesitas con una posición casi horizontal y un espesor acumulado superior a los 1,500 metros. El intrusivo, que se distingue de la dacita porfirítica, se compone de apófisis y cuerpos mayores de granodiorita y diorita del batolito andino (Sicilia Adolfo, s.f.).

El alineamiento tectónico NO-SE, que se formó durante el Cretácico superior y el Terciario inferior, está orientado paralelamente a la Cordillera Andina (Falla Micalaco y Alineamiento Toquepala). (Sicilia Adolfo, s.f.).

En relación con la creación de una chimenea de brecha y la fractura de stockwork en áreas amplias de debilitamiento. Las quebradas de la topografía original son las fallas más importantes mapeadas en el tajo:

Toquepala, Yarito y Sargento, que suelen ser fallas de alto ángulo.

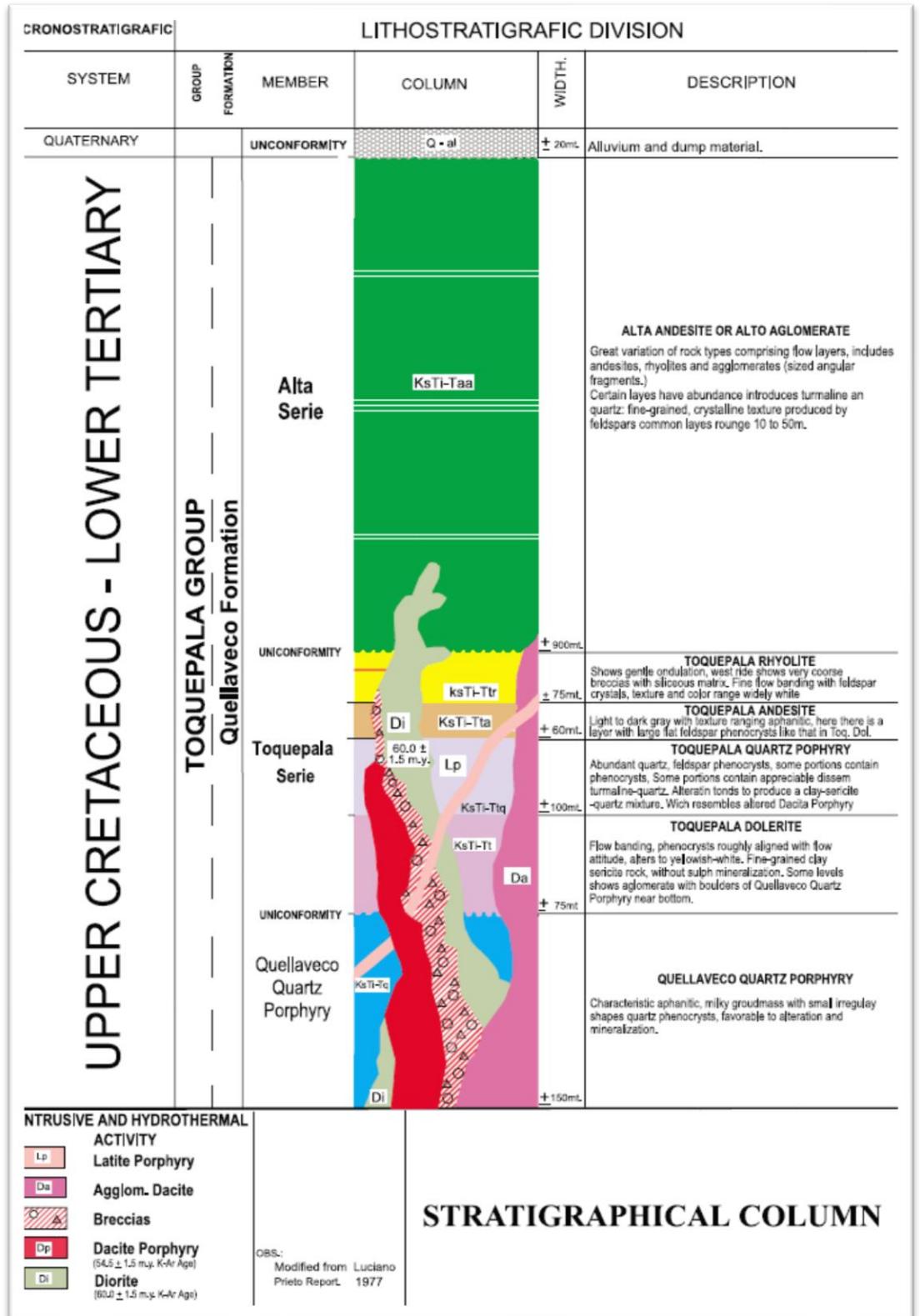
*Tabla 1.*

*Litología de la Mina Toquepala*

TIPO DE ROCA	SIMBOLO	CODIGO
Alta andesita	Aa	1
Riolita Toquepala	Tr	2
Andesita Toquepala	Ta	3
Pórfido cuarcífero Toquepala	Tq	4
Dolerita Toquepala	Td	5
Pórfido cuarcífero Quellaveco	Qq	6
Latita porfirítica	Lp	7
Dacita aglomerada	Da	8
Dacita porfirítica	Dp	9
Diorita	Di	10
Brecha slump	Sbx	11
Brecha diorita	DiBx	12
Brecha angular	Bx	13
Brecha turmalina	Bxt	14
Pebble brecha	Px	15
Relleno	F1	16

**Ilustración 4.**

*Columna Estratigráfica Toquepala*



### **1.3. Formulación del problema**

#### **1.3.1. Problema general**

¿En qué medida se podría reducir el costo de Perforación, incrementando la velocidad de penetración en el tajo de la fase 1 de la mina Toquepala?

#### **1.3.2. Problemas específicos**

- a. ¿Qué mecanismos aplicaremos para reducirá el costo de perforación con el uso de otras técnicas en el tajo de la fase 1 de la mina Toquepala?
- b. ¿Se podrá reducir el costo de perforación con la evaluación del incremento de la presión de aire en el tajo de la fase 1 de la mina Toquepala?

### **1.4. Formulación de objetivos**

#### **1.4.1. Objetivo general**

Reducir el costo de Perforación, incrementando la velocidad de penetración en el tajo de la fase 1 de la mina Toquepala.

#### **1.4.2. Objetivos específicos**

- a. Aplicar mecanismos para reducirá el costo de perforación con el uso de otras técnicas en el tajo de la fase 1 de la mina Toquepala.
- b. Reducir el costo de perforación con la evaluación del incremento de la presión de aire en el tajo de la fase 1 de la mina Toquepala.

### **1.5. Justificación de la investigación**

La perforación del macizo rocoso es la primera operación que se realiza en la minería, cuya finalidad es crear pozos o agujeros en el macizo rocoso con

una adecuada distribución geométrica, en los que se colocan explosivos y sus materiales. El objetivo principal del engranaje de arranque es romper la masa rocosa.

La cantidad total de la tasa de penetración (ROP) puede reducir significativamente el Costo Total de Perforación (TDC), lo que requiere la capacidad de medir, controlar y mejorar los factores directos e indirectos relacionados con la tasa de penetración.

#### **1.6. Limitaciones de la investigación**

Como en cualquier trabajo, siempre existen límites en la elección de los métodos de extracción y, más estrictamente, la elección adecuada de los rituales de perforación para cada tipo de terreno es siempre un factor decisivo en la creación de límites, ya que dependerá de si la extracción es máxima posible. Se pueden obtener ganancias mediante la minería. Desde una perspectiva financiera, el mejor enfoque le brindará el mayor retorno de la inversión. En las operaciones a cielo abierto, es común encontrar y determinar los parámetros de perforación correctos, como la presión de la broca, la presión de extracción y la velocidad de rotación, para determinar la dirección correcta de la broca. Esto nos permite enfocarnos en cada condición y tipo de corte al mejor costo (TDC) para lograr la máxima productividad.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEORICO**

#### **2.1. Antecedentes de estudio**

##### **a) Antecedentes nacionales.**

- **(Llaique A., 2015)**, de la Universidad Privada del Norte, desarrolla su tesis, concluye que El costo total de perforación (TDC) se compone de cuatro factores: el precio de la broca (US\$), los metros perforados (m), el costo de la perforadora por hora (US\$) y la velocidad de penetración (m/h). Según los resultados del estudio, de los cuatro factores que intervienen en la determinación del TDC, el factor de mayor impacto es la ROP (velocidad de penetración), ya que tanto el TDC como la ROP son magnitudes inversamente proporcionales. Además de los resultados del estudio, se encontraron porcentajes significativos de disminución del TDC en comparación con los valores históricos del TDC

- **(Portocarrero M., 2019)**, de la Universidad Privada del Norte, presenta su tesis “Reducción de los Costos Operativos al aumentar la Velocidad de Rotación en la perforación de terrenos duros, fracturados y abrasivos”, concluye lo siguiente: Se obtiene una presión promedio de 3.000 psi en el sistema de rotación con 75.000 libras de levantamiento (broca 10 5/8”) y una rotación de 90 rpm. Esto significa que aumentará la presión de rotación si se desea reducir las RPM de la barra a menos de 90 rpm (en un intervalo de 80 a 100 rpm), lo que paralizará la rotación del cabezal y el proceso de perforación. Dado que no se obtendrá una mejora en los costos y el desgaste de las brocas será idéntico al de la teoría de Shotcrete, la rotación en este tipo de terreno no puede ser menor a 90 rpm

**b) Antecedentes Internacionales**

- **(Valle D., 2014)**, de la Universidad Central de Ecuador, presenta su tesis de investigación “Propuesta para Optimizar las Operaciones de Perforación de nuevos pozos en el Campo Amistad, mediante el análisis de los problemas presentados en la perforación de los pozos Amistad 5 y 7 del Golfo de Guayaquil, bloque 3 (hoy bloque 6)”. Concluye lo siguiente: Los eventos operativos incluyen fallas en el motor principal, daño en el sistema eléctrico SCR del taladro y bombas de lodo. Estos problemas no funcionaron adecuadamente causaron ciertos eventos durante la perforación de Amistad 5 y 7. Los sucesos hidráulicos incluyeron la pérdida de lodos en las secciones de 17 1/2" y 12 1/4" de la formación Puna/Progreso en situación estática en Amistad 5 y Amistad 7, probablemente debido a fracturas naturales o permeabilidad de la

formación. Se realizaron búsquedas eléctricas de temperatura y acústica para identificar las áreas fracturadas.

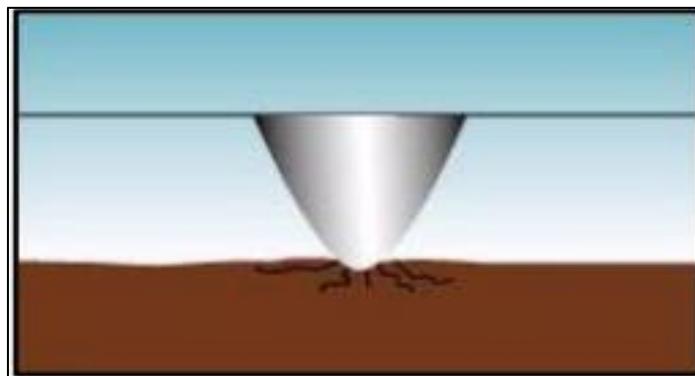
- **(Cisternas V., 2016)**, Universidad de Chile, desarrolla la tesis Concluye lo siguiente: La minería del cobre ha experimentado una disminución gradual del precio del cobre, el término "Super Ciclo", una disminución significativa en las leyes del cobre, un aumento significativo en los costos de mano de obra y una escasez de energía y agua para los diversos procesos. Por lo que, para lograr operaciones más eficientes y aumentar la productividad y los costos, las minas en operación deben implementar prácticas de Excelencia Operacional. En este estudio se empleó la Metodología Lean como método de excelencia operativa, que se refiere a una forma de trabajo desarrollada por Toyota en Japón desde el año 1950, que ha encontrado una manera de mejorar su proceso productivo con menos recursos. Este estudio en particular examina el uso de la Metodología Lean en el proceso de perforación y tronadura en la mina Rajo Sur, demostrando cómo mejorar la productividad, la calidad de la perforación y los costos, inicialmente en aceros de perforación, y acrecienta la granulometría del material tronado a un costo menor. Control Integral de Perforación, Optimización de Mallas y Tipos de Explosivos fueron los principales planes de acción implementados. Estos planes permitieron resolver las brechas encontradas en el mapeo de procesos de perforación y tronadura, así como controlar la calidad de la perforación desde la programación de la perforación hasta que la malla de los pozos perforados se entrega al proceso de tronadura para el carguío de explosivo. Además, se mejora el control del diseño de las mallas, la secuencia de

iniciación, los tipos de explosivos y la evaluación continua de los resultados en cuanto a la granulometría del material tronado, incluido el rendimiento del equipo de carguío. En el proceso de perforación, la experiencia fue exitosa porque logró reducir los costos de los aceros de perforación mediante el uso y cuidado adecuados de los equipos y los elementos de perforación, lo que maximizó la duración de los aceros y resultó en un ahorro de 5% en comparación con el tiempo previo a la implementación de la metodología Lean. El proceso de tronadura Lean logró reducir los costos promedio de 0,33 USD por tonelada en el primer semestre de 2015 a 0,28 USD por tonelada en los últimos tres meses de 2015. La implementación de la Metodología Lean en las actividades del proceso es un avance significativo hacia el logro de la Excelencia Operacional, según los resultados obtenidos en los últimos meses, pero el equipo de trabajo debe seguir trabajando duro para alcanzar los objetivos y establecer una cultura de mejoramiento continuo en la organización.

## 2.2. Bases teóricas - científicas

### 2.2.1. Abrasión

*Ilustración 5.  
Fractura de Roca*

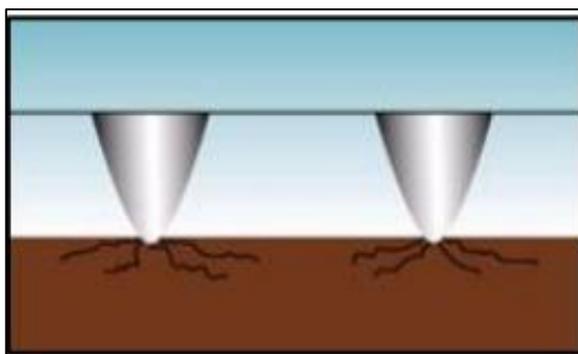


Fuente: Guía de operación de Perforación y Voladura

Esta es una representación de la etapa inicial de la fractura de la roca conocida como abrasión. Esta fase es el resultado del poco peso aplicado a la broca; los insertos están en contacto con la roca con baja presión en la broca, lo que crea pequeñas fisuras alrededor del inserto. (Marroquin Eguzquiza, 2022)

**Ilustración 6.**

*Presión sobre la broca reduciendo las RPM*



*Fuente: Guía de operación de Perforación y Voladura*

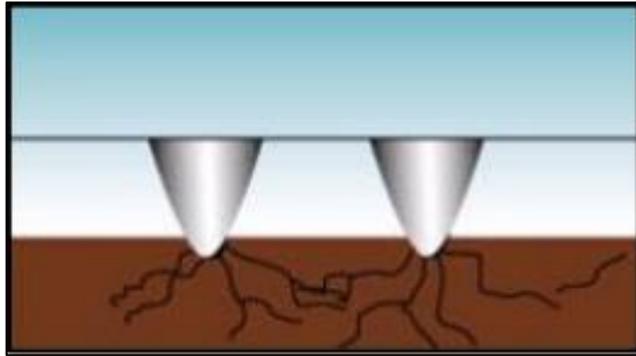
**2.2.2. Fatiga**

En este punto, se aplica más presión a la broca al reducir las RPM, lo que hace que los insertos penetren más profundamente en la roca, lo que provoca fisuras más notables. Sin embargo, estos insertos no se conectan entre filas de insertos y la roca no se rompe. Esta fase se conoce como fatiga. (Marroquin Eguzquiza, 2022)

**2.2.3. Desprendimiento o Spalling**

**Ilustración 7.**

*Desprendimiento o Spalling*



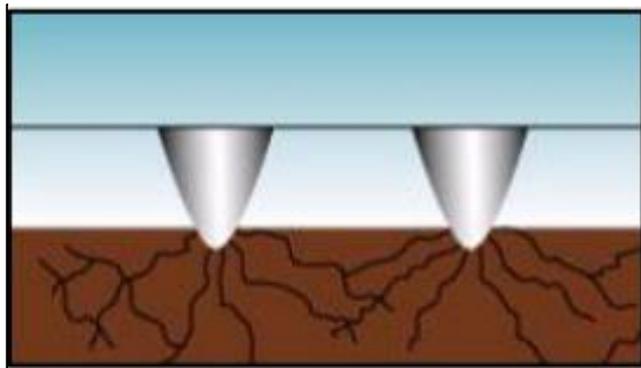
Fuente: Guía de operación de Perforación y Voladura

En este momento, la velocidad de rotación de la columna de perforación permanece constante, lo que nos permite producir una penetración adecuada del inserto, lo que significa que las grietas producidas se cruzan entre las filas de cada inserto (Marroquin Eguzquiza, 2022)

#### 2.2.4. Desprendimiento Profundo

*Ilustración 8.*

*Desprendimiento o Profundo*

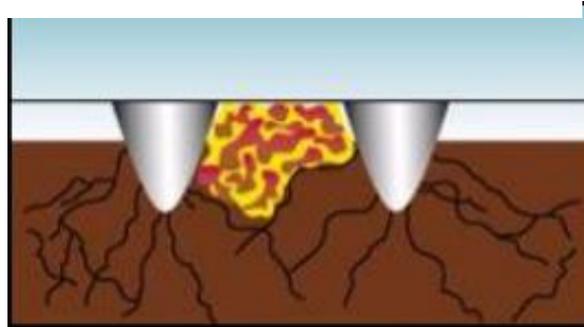


Fuente: Guía de operación de Perforación y Voladura

En esta etapa, los insertos alcanzan su punto máximo de rotación y presión en la broca, lo que provoca la fractura de la roca en pequeños chips que pueden evacuarse a través de la circulación de aire. Es importante destacar que las fisuras causadas por la penetración de los 13 insertos dentro de la roca se cruzan entre los insertos y entre las filas. (Marroquin Eguzquiza, 2022)

### 2.2.5. Exceso de Presión

*Ilustración 9.  
Exceso de Presión*



*Fuente: Guía de operación de Perforación y Voladura*

Si aplicamos peso adicional cuando llegamos a la fase de espesamiento profundo, provocaremos una penetración ineficaz porque los insertos se introducirán completamente dentro de la roca, disminuyendo la velocidad de penetración y erosionando rápidamente la superficie de la broca. (Marroquin Eguzquiza, 2022)

### 2.2.6. Presión de la Broca o Pulldown

La fuerza de empuje o empuje se transmite a la broca a través del empuje a través de la columna de perforación. Esto hace que los insertos de carburo de tungsteno de la broca apliquen compresión a la roca mientras rotan, lo que hace que la roca gruesa se fatigue y se rompa. Una vez que la presión supera la resistencia a la compresión de la roca, los insertos de la broca penetran en la roca sólida y desplazan trozos de roca hacia lados. (Marroquin Eguzquiza, 2022)

### 2.2.7. Velocidad de Rotación

Son las revoluciones por minuto que produce la columna de perforación. Al girar el cuerpo de la broca, los 03 conos también giran en el fondo del taladro. Este movimiento permite que los dientes entren en contacto con la roca, lo que provoca la rotura y trituración de la roca por empuje. Los insertos pueden realizar

una acción de arrastre al rotar en terreno suave debido a la pequeña desviación o descentrado de los ejes de rotación de los conos. (Marroquin Eguzquiza, 2022)

#### **2.2.8. Presión de Rotación**

La presión de rotación, también conocida como presión de rotación, es una medida de fuerza ejercida hacia la broca debido a la velocidad de rotación y la fuerza de empuje o pulldown hacia el fondo de un taladro. (Marroquin Eguzquiza, 2022)

#### **2.2.9. Presión del Aire (PSI)**

La presión de aire es el flujo de aire generado por un compresor de aire que está instalado en la misma perforadora. Este flujo va hacia la columna de perforación y termina en la broca, donde los detritos se presionan por los conductos y la fuerza de la bota para mantener los taladros limpios. La medida de la presión de aire en las perforadoras es la libra fuerza por pulgada cuadrada, así como su traducción en inglés (PSI – “Pounds-force per square inch”). (Marroquin Eguzquiza, 2022)

### **2.3. Definición de términos básicos**

- **Anfo:** El explosivo denominado anfo es la combinación de cualquier nitrato de amonio y un material orgánico.
- **Acarreo:** Traslado corto de material roto en la mina.
- **Broca:** Barrena de boca cónica que se usa con las máquinas de taladrar.
- **Contactos litológicos:** que normalmente forman las cajas de techo y piso de una veta.
- **Criadero, Yacimiento o Depósito Mineral.** A través de procesos geológicos, una parte de la corteza terrestre forma minerales valiosos que pueden ser explotados económicamente utilizando los medios técnicos

actuales. Los componentes principales de la incubadora son: mineral, veta de carbón y mina estéril.

- **Detritus:** Es el llamado material suelto o sedimento de rocas.
- **Diaclasas:** También conocidas como juntas, estas son grietas no desplazadas que típicamente ocurren en una masa rocosa.
- **Discontinuidad:** Es un término utilizado en geología para denotar los límites entre capas de rocas de diferentes densidades, especialmente en el interior de la Tierra (las llamadas discontinuidades de densidad o discontinuidades sísmicas).
- **Estratificación:** es una superficie que se encuentra en las rocas sedimentarias y se divide en capas de igual o diferente litología. Estas rocas también se encuentran en rocas formadas por la metamorfosis de rocas sedimentarias
- **Espaciado:** Es la distancia vertical entre roturas adyacentes. Determina el tamaño de toda la masa de piedra. Cuanto menor sea la distancia, más pequeños serán los bloques, y cuanto mayor sea la distancia, más grandes serán los bloques.
- **Fallas:** Las fracturas se han transportado. Estas son fracturas pequeñas que se encuentran en áreas cercanas a la mina o estructuras importantes que pueden extenderse por toda la mina.
- **Geomecánica:** El estudio geológico del comportamiento de los suelos y las rocas se conoce como geomecánica. La mecánica del suelo y la mecánica de las rocas son los dos campos principales de la geomecánica
- **Geotecnia:** El estudio geológico del comportamiento de los suelos y las rocas se conoce como geomecánica. La mecánica del suelo y la mecánica de

las rocas son los dos campos principales de la geomecánica - implicados en el diseño, la construcción y la explotación de proyectos de ingeniería, que constituye en el proyecto de ingeniería

- **Investigaciones Geotécnicas.** Es una presentación de investigaciones geotécnicas que usa perforaciones diamantinas para determinar los parámetros y peculiaridades hidrogeológicas de los materiales que se ubican en la zona de estudio
- **Ley de corte.** Es la zona por debajo de la cual un yacimiento no puede ser explotado económicamente. La ley sobre minerales útiles, las características mineralógicas, la situación geográfica, la infraestructura o los medios de transporte, la disponibilidad de energía, los precios de los metales, etc. son los parámetros más comunes.
- **Masa Rocosa:** Es el medio in situ que contiene diversos tipos de discontinuidades, como fallas, diaclasas, estratos y otros rasgos estructurales.
- **Matriz rocosa.-** Material rocoso sin suspensiones o bloques rocosos intactos entre discontinuidades (muestra de mano o mayor). Pese de ser considerada continua, es heterogénea y anisótropa, unida a la fábrica, textura y estructura, mineral
- **Mena.** La mena es una masa de agregados minerales o rocas de las que se pueden extraer uno o varios metales de manera rentable
- **NPP:** Nuevos parámetros de perforación.
- **Open Pit:** Una excavación superficial destinada a extraer mineral se conoce como mina a rajo abierto o tajo abierto.
- **Orientación:** Es el lugar donde se encuentra la discontinuidad en el espacio, y su rumbo y buzamiento describen su posición. Un "sistema" o una "familia"

de discontinuidades es un grupo de discontinuidades que se presentan con una orientación similar y son aproximadamente paralelas.

- **Perfil litológico:** Es una rama de la geología que estudia la composición y estructura de las rocas, contenido el tamaño del grano, las particularidades físicas y químicas, la estructura metamórfica, etc. Además de su composición mineral, distribución espacial y materiales cementantes, también incluye su modo de transporte, textura y composición.
- **Perfil geotectónico:** Es un grupo de actividades que adjuntan investigación subterránea, análisis y consejos para el diseño y construcción subterráneos
- **Perforación:** Es el primer paso en el proceso de preparación de una voladura. El objetivo es abrir huecos cilíndricos en la roca llamados taladros, que albergarán al explosivo y sus componentes iniciadores.
- **Perforadora:** Las máquinas perforadoras de minas a cielo abierto se utilizan para extraer rocas o minerales de la tierra mediante la remoción de estas rocas en cielo abierto.
- **Persistencia:** Es el tamaño o la extensión de una discontinuidad. La masa rocosa será más estable con menor persistencia y menos estable con mayor persistencia.
- **Pliegues:** Las intrusiones de roca ígnea de forma tabular, que generalmente se presentan empinadas o verticales, son estructuras en las que los estratos se presentan curvados.
- **Producción.** Es la actividad que aporta valor agregado por creación y suministro de bienes y servicios.
- **PSI:** El significado de PSI en presión hace referencia a las libras por pulgada cuadrada.

- **Roca intacta:** Es un bloque colocado entre descansos y puede representarse mediante una muestra manual o un control utilizado para pruebas de laboratorio.
- **Roca meteorizada:** es el proceso de desintegración de minerales y rocas que ocurre sobre o cerca de la superficie terrestre cuando entran en contacto con la atmósfera, hidrósfera y biósfera.
- **Relleno:** Estos son materiales que existen en discontinuidades. Cuando el material es más blando, la masa rocosa es menos adecuado, y cuando el material es más duro, la masa rocosa es más capaz.
- **ROP:** Velocidad de penetración.
- **RPM:** Revoluciones por minuto.
- **TDC:** Costo total de perforación.
- **Veta.** masa de material mineral tubular que se deposita en grietas, fisuras o hendiduras en un cuerpo rocoso y tiene una composición diferente a la sustancia en la que se incrusta.
- **Yacimiento.** lugar donde se pueden encontrar minerales, rocas o fósiles de forma natural, especialmente cuando pueden ser explotados.
- **Zonas de corte:** Son bandas de material que tienen varios metros de espesor donde la roca ha fallado.
- **Zonificación geomecánica.** proceso de separación de áreas con masas de roca similares en términos de condiciones geomecánicas y comportamiento.

## **2.4. Formulación de hipótesis**

### **2.4.1. Hipótesis general**

Reducir el costo de Perforación, incrementando la velocidad de penetración en el tajo de la fase 1 de la mina Toquepala

### **2.4.2. Hipótesis específicas**

- a. Si aplicamos mecanismos reduciremos el costo de perforación con el uso de otras técnicas en el tajo de la fase 1 de la mina Toquepala.
- b. Si reduciremos el costo de perforación mediante la evaluación del incremento de la presión de aire en el tajo de la fase 1 de la mina Toquepala.

## **2.5. Identificación de las variables**

### **2.5.1. Variable independiente:**

X: Reducir costos de perforación en el tajo de la fase 1 de la mina Toquepala.

### **2.5.2. Variable dependiente:**

Y: Incrementar la velocidad de penetración en el tajo de la fase 1 de la mina Toquepala.

## 2.6. Definición operacional de variables e indicadores

Tabla 2.

Operacional de Variables

TIPO DE VARIABLE	NOMBRE DE LA VARIABLE	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
VARIABLE INDEPENDIENTE	X: Reducir costos de perforación en el tajo de la fase 1 de la mina Toquepala.	Reducir los costos operativos es esencial e imprescindible. La perforación la realizan todos los días todas las empresas mineras, ya que es una de las principales actividades de preparación y desarrollo. Durante las operaciones de perforación, siguen parámetros estrictos, luego los estandarizan y continúan optimizando el proceso. Reducir el costo por metro de perforación nos ayuda a reducir los costos finales de perforación, lo cual es beneficioso para las empresas mineras.	Plan de Minado  Ciclo de Perforacion	Metodo de Explotacion  Parametros de Perforacion  Perforacion y Voladura
VARIABLE DEPENDIENTE	Y: Incrementar la velocidad de penetración en el tajo de la fase 1 de la mina Toquepala.	El aumento de la tasa de penetración (ROP) puede reducir significativamente el Costo Total de Perforación (TDC), lo que requiere la capacidad de medir, controlar y mejorar los factores directos e indirectos relacionados con la tasa de penetración.	Mina Toquepala	Factores de Velocidad  Velocidad de Penetracion  Reduccion de Costos

Fuente: Elaboración propia

## **CAPITULO III**

### **METODOLOGIA Y TECNICAS DE INVESTIGACION**

#### **3.1. Tipo de investigación**

- Efectuamos una investigación del tipo Cuantitativa, por el proceso de análisis para reducir los costos de la perforación mediante la aplicación de métodos y técnicas que nos permitan tener un adecuado control de tiempos de perforación.
- Aplicada: Por el proceso de adecuar una adecuada presión en la perforación de los taladros, manteniendo el objetivo de reducir los costos en la perforación.
- Experimental: Por el análisis realizado de perforación en perforación, para encontrar la adecuada presión a utilizar para obtener una perfecta penetración en cada ciclo de perforación
- Documental: Mediante la información obtenida, durante el proceso de investigación y análisis de los resultados que se fueron obteniendo.

- De campo y de laboratorio: Proceso de recolección de datos en cada proceso de penetración aplicando las diferentes técnicas para una adecuada perforación.

### **3.2. Nivel de la investigación**

Podemos determinar el nivel de nuestra Investigación de acuerdo a la información Geológicamente obtenida. Toquepala es un yacimiento de cobre porfirítico disperso donde la mineralización está limitada por una chimenea de brecha y un intrusivo de dacita. Ambos están genéticamente relacionados con la actividad intrusiva hidrotermal calcoalcalina que ocurrió a fines del Cretáceo superior y el Terciario inferior. El yacimiento de Toquepala es parte de la "Sub Provincia Cuprífera del Pacífico", una formación metalúrgica que se encuentra en la dirección NW-SE en Perú.

### **3.3. Métodos de la investigación**

Se tienen dos métodos en la investigación:

**Método deductivo:** Análisis de los datos del Costo Total de Perforación (TDC), que puede ser reducido significativamente incrementando la Velocidad de Penetración (ROP).

**Método inductivo:** Obteniendo las conclusiones a partir de los datos obtenidos y los antecedentes de las perforaciones anteriores, que nos determinan conclusiones definitivas, para una adecuada determinación.

### **3.4. Diseño de la investigación**

El diseño corresponde a la investigación cuantitativa, que nos permite efectuar la descripción y correlacionar, los antecedentes anteriores con los datos

obtenidos durante el proceso de análisis de la investigación, lo cual nos permitirá la reducción de costos de la perforación en la fase 1 de la mina Toquepala.

### **3.5. Población y muestra**

#### **3.5.1. Población**

Las diferentes perforaciones realizadas nos generan un gran numero datos, estas se denominaría la población de nuestro proyecto, ya que mediante esta población se llegará a una determinante conclusión, que nos permitirá la reducción de costos de la perforación de gran beneficio para la mina Toquepala.

#### **3.5.2. Muestra**

La muestra fue tomada en cada ciclo de perforación, muestra que permite obtener a detalle los tiempos de penetración en cada perforación.

### **3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **3.6.1. Técnicas**

Detalle de las técnicas utilizadas

- **Recopilación y Análisis de Datos**

Se recoge la indagación in-situ de cada perforación designada para las pruebas, así mismo la data de perforaciones anteriores que nos dan y generan criterio de comparación de cada perforación practicada.

- **Observación Directa y Toma de Datos**

Las observaciones directas de las perforaciones efectuada es gran ayuda para tomar decisiones los cuales son determinantes para este proceso, así se solicitaron estar presentes en las perforaciones

realizadas por tipo de roca para observar de manera directa el trabajo de los equipos en cada tipo de roca.

- **Investigación de información bibliográfica**

Se recopiló información a través del internet, así como también de folletos sobre perforación en tajos, además de la información proporcionada por la empresa, toda esta información fue de gran ayuda para la ejecución del trabajo de investigación.

### **3.6.2. Instrumentos**

- **Materiales**

- ✓ Planos Geológicos (Columna estratigráfica).
- ✓ Mapeos geomecánicos (Tipos de roca).
- ✓ Informes de perforaciones anteriores (Antecedentes).
- ✓ Mallas de perforación.
- ✓ Sostenimientos realizados con anterioridad (Documentación).
- ✓ Cronómetros
- ✓ Winchas.
- ✓ Libreta de campo.

### **3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos**

La determinación del tipo de roca y la zonificación correspondiente de la Mina, las las informaciones relevantes para el tipo de perforación a efectuar y las brocas a utilizar, mediante esta información se pueden generar las mallas de perforación y que brocas son las más adecuadas para efectuar el control que permitirá realizar las perforaciones con una adecuada penetración en la roca que ayudará a reducir los costos, durante el proceso.

### **3.8. Tratamiento estadístico**

Se requieren tener una adecuada estadística de todas las perforaciones que se efectuaron durante la investigación, tiempos, profundidades, por tipo de roca, que permitan tener un adecuado control en los periodos de perforación y adecuar sus tiempos máximos y mínimos, para el propósito de la investigación

### **3.9. Orientación ética filosófica y epistémica**

El trabajo de investigación se realizó teniendo en consideración los principios de la ética profesional, teniendo en cuenta de no perjudicar el trabajo realizado ni el trabajo de nadie, ya que los valores y principios son considerados como parte de mi formación profesional.

## **CAPITULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSION**

#### **4.1. Descripción del trabajo de campo**

##### **4.1.1. Desarrollo del Proceso de Optimización**

El uso de los parámetros de perforación adecuados para cada tipo de roca maciza siempre está relacionado con optimizar la velocidad o aumentar la propia velocidad de perforación con el objetivo de maximizar la vida útil de la perforadora. En otras palabras, podemos aumentar la velocidad del taladro ajustando los parámetros del taladro (aumentando Pulldown y RPM), pero esto significa "matar" el taladro; Aquí encontramos el verdadero problema, porque la reducción del TDC también está relacionada con el uso de boro. La vida útil está directamente relacionada.

##### **a. Cálculo de la Velocidad de Penetración para el Cálculo de la Velocidad de Penetración**

Aunque se nombraron muchas fórmulas, Praillet R. fue el primero en reducirla a la función que se usa actualmente

$$VP = \frac{63,9 \cdot E \cdot Nr}{RC^2 \cdot D^{0,9}}$$

Donde:

VP = Velocidad de penetración (m/h)

E = Empuje (kg)

Nr = Velocidad de rotación (r/min) 95

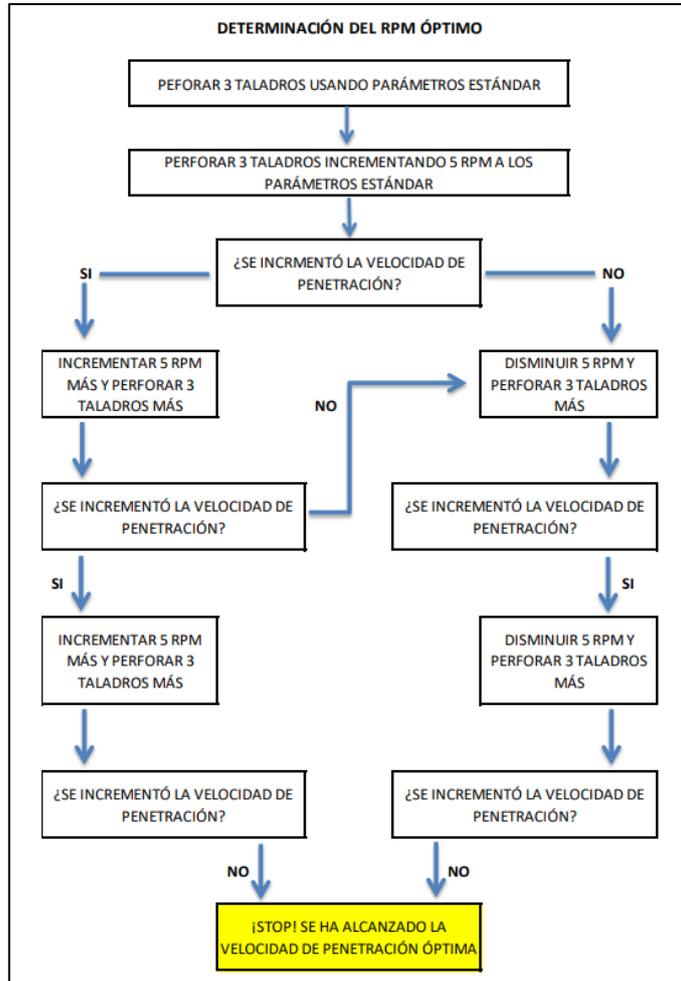
RC = Resistencia a la compresión de la roca (Mpa)

D = Diámetro del tricono (mm)

**b. Determinación del RPM Óptimo para el Aumento de la Velocidad de Penetración**

El diagrama de flujo se puede usar para encontrar el RPM ideal, que nos permitirá obtener la velocidad de penetración máxima, midiendo la velocidad de penetración al aumentar o disminuir la velocidad de rotación en cinco unidades (RPM). El único propósito es identificar el taladro en el que se registra la máxima velocidad de rotación:

**Ilustración 10.**  
**Determinación del RPM Óptimo**



Fuente: Propia

**c. Determinación del Pulldown Óptimo para el Aumento de la Velocidad De Penetración**

Al determinar la velocidad de caída óptima, así como las RPM óptimas, podremos obtener la velocidad máxima de penetración, y también determinaremos la velocidad máxima de penetración con base en el diagrama de flujo donde se mide la velocidad de penetración, para un aumento de 5 unidades. o disminución en el descenso. Después de encontrar las RPM

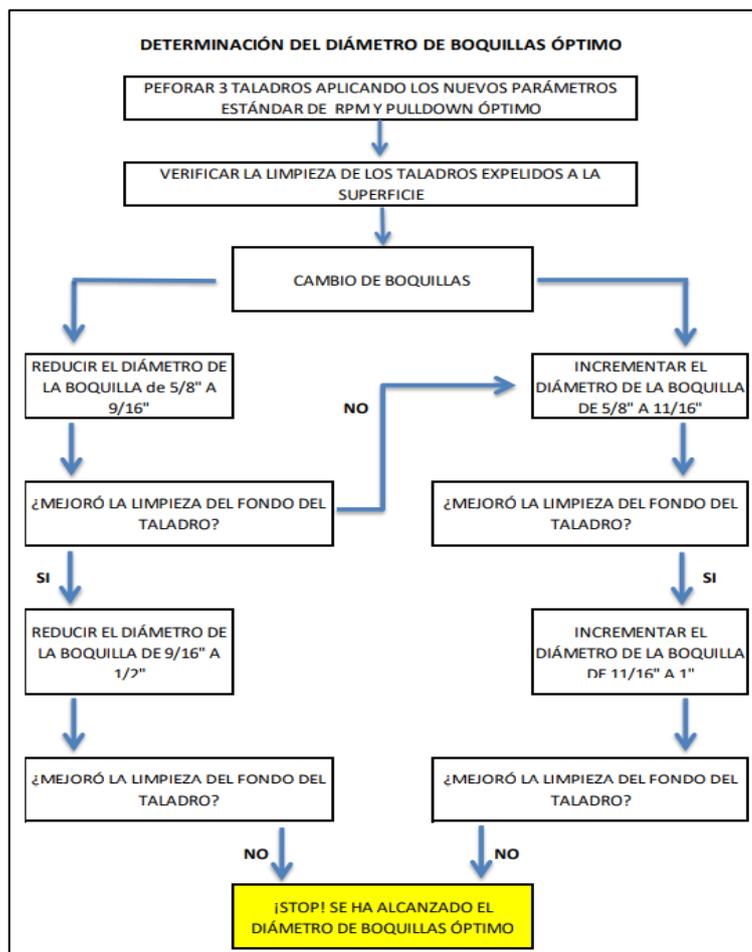
óptimas, mantenemos este valor constante y continuamos el mismo proceso para el lanzamiento.

**d. Determinación del Diámetro de Boquillas**

Para determinar el diámetro óptimo de la boquilla se debe tener en cuenta la presión de aire generada por el compresor y se debe mantener una presión constante de 52 psi en el taladro en todo momento. Esto se puede comprobar en la sala de control del simulacro. Este programa también dispone de un diagrama de flujo que nos permite encontrar el diámetro óptimo de la boquilla.

*Ilustración 11.*

*Determinación del Diámetro de Boquillas Óptimo.*



*Fuente: Propia*

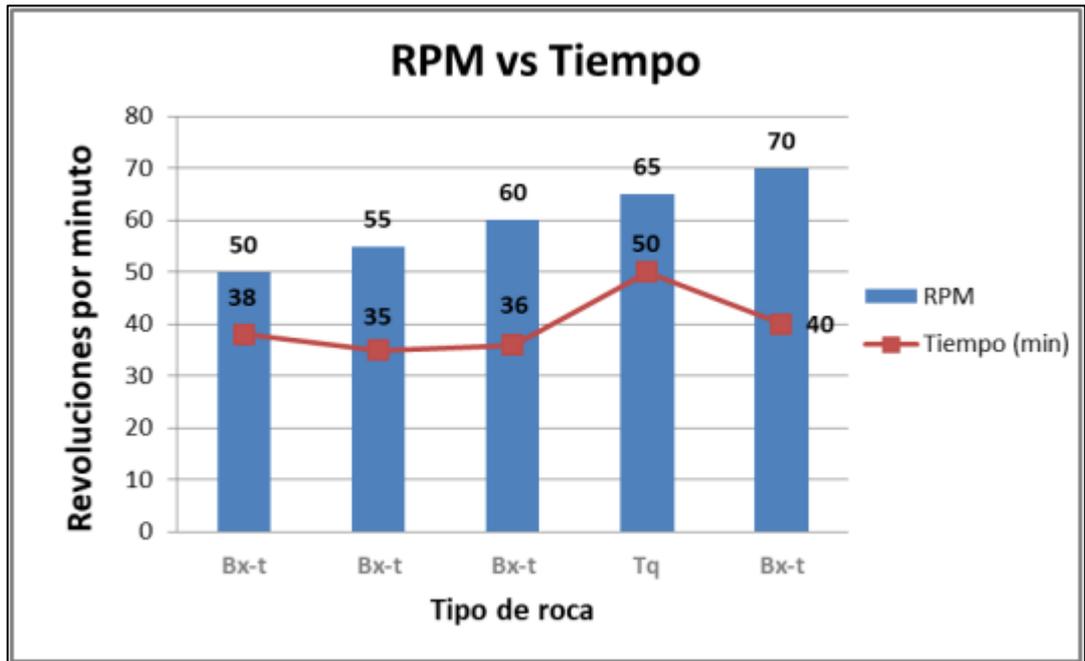
Después de identificar los parámetros ideales, tenga en cuenta que se realizan para un tipo de roca dura, los resultados se registran para observar la variación de las velocidades de penetración. El objetivo de estos diagramas de flujo es encontrar los parámetros de perforación ideales modificando un parámetro específico (aumentando o disminuyendo) hasta encontrar la velocidad de penetración más alta (m/h). Una vez que se ha encontrado esta velocidad de penetración, este parámetro se utiliza como un valor estándar para otros parámetros o medidas.

## **4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados**

### **4.2.1. Velocidad de Rotación (RPM) en Terreno Duro**

El análisis tuvo en cuenta las mediciones tomadas en agosto de 2022 en el Perforador 12 (CAT MD6640) ubicado en el tajo 01 donde la brecha contenía alteración de turmalina, cuarzo Toquepala y diorita de cianita. Sólo los cálculos de RPM toman en cuenta el minuto producido en la sarta de perforación. de la tasa de penetración. Para realizar dichas mediciones, se establece la fuerza de empuje como un valor no variable de 85 kilogramos, ya que este valor suele ser estándar cuando se realizan taladros en terreno duro, pero también se determinará en las pruebas de empuje. Según la relación entre las revoluciones por minuto (RPM) y el tiempo de perforación (min) que toma una perforadora para perforar un taladro de 17 metros en un terreno competente o duro. Según estos análisis, podemos determinar que se recomienda usar 55 RPM para las condiciones de terreno de la Tabla 5 y alcanzar una velocidad máxima de 29.14 m/h

*Ilustración 12.*  
*RPM Óptimo en Terreno Duro.*



*Fuente: propia*

*Tabla 3.*  
*Datos generales para la prueba del RPM óptimo en terreno duro.*

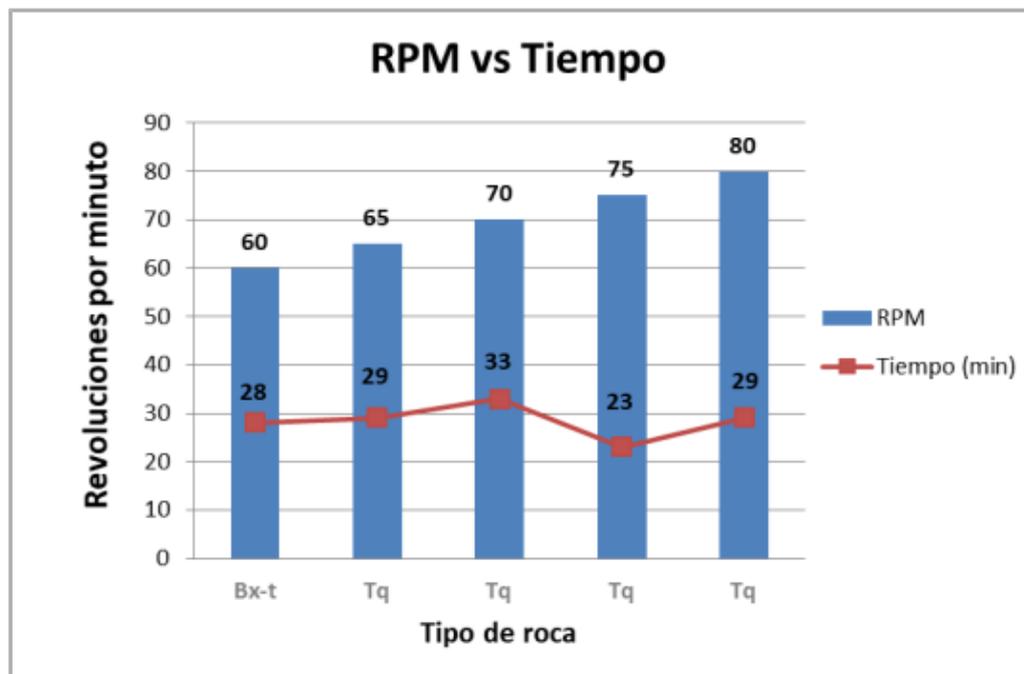
Proyecto	Terreno	Tipo de roca	# Taladro	RPM	Pull-Down	Profundidad	Tiempo (min)	Velocidad Pen. (m/hr)
3310271	Duro	Bx-t	73	70	85	17	40	25.50
3310269	Duro	Bx-t	107	65	85	17	50	20.40
3310271	Duro	Tq	74	60	85	17	36	28.33
3310271	Duro	Bx-t	75	55	85	17	35	29.14
3310271	Duro	Bx-t	76	50	85	17	38	26.84

#### 4.2.2. Velocidad de Rotación (RPM) en Terreno Medio

Para calcular el mismo modelo, el análisis toma en cuenta mediciones tomadas en la segunda semana de julio en la Plataforma 19 (P&H 320XPC) en el paso 01, donde se han brechado cuarzo anhidrita, sericita y cuarzo Toquepala. El único cambio es que la carga aerodinámica para terreno medio utiliza el valor predeterminado de 75 kbs. En la Ilustración 16, se puede observar que el tiempo de perforación es el más bajo con 75 revoluciones por minuto, lo que explica el aumento de la velocidad de penetración hasta 44.35 m/h (Tabla 6). Esto se debe a que el macizo rocoso se fractura con mayor facilidad y, por lo tanto, al aumentar las RPM a un cierto punto, el fracturamiento se produce de manera más eficiente y constante, lo que permite que el taladro se mueva más fácilmente. Estas pruebas encontraron que el valor más alto era de 75 RPM

*Ilustración 13.*

*RPM Óptimo en Terreno Medio.*



*Fuente: propia*

Los hallazgos indican que para terreno duro, 55 RPM es el mejor valor para calcular la velocidad de penetración, mientras que para terreno medio, 75 RPM es el mejor valor para calcular la velocidad de penetración.

**Tabla 4.**

*Datos Generales Para la Prueba del RPM Óptimo en Terreno Medio.*

Proyecto	Terreno	Tipo de roca	# Taladro	RPM	Pull-Down	Profundidad	Tiempo (min)	Velocidad Pen. (m/hr)
3310269	Medio	Bx-t	112	80	75	17	29	35.17
3310269	Medio	Tq	105	75	75	17	23	44.35
3310269	Medio	Tq	106	70	75	17	33	30.91
3310269	Medio	Tq	113	65	75	17	29	35.17
3310269	Medio	Tq	186	60	75	17	28	36.43

#### 4.2.3. Pulldown en Terreno Duro

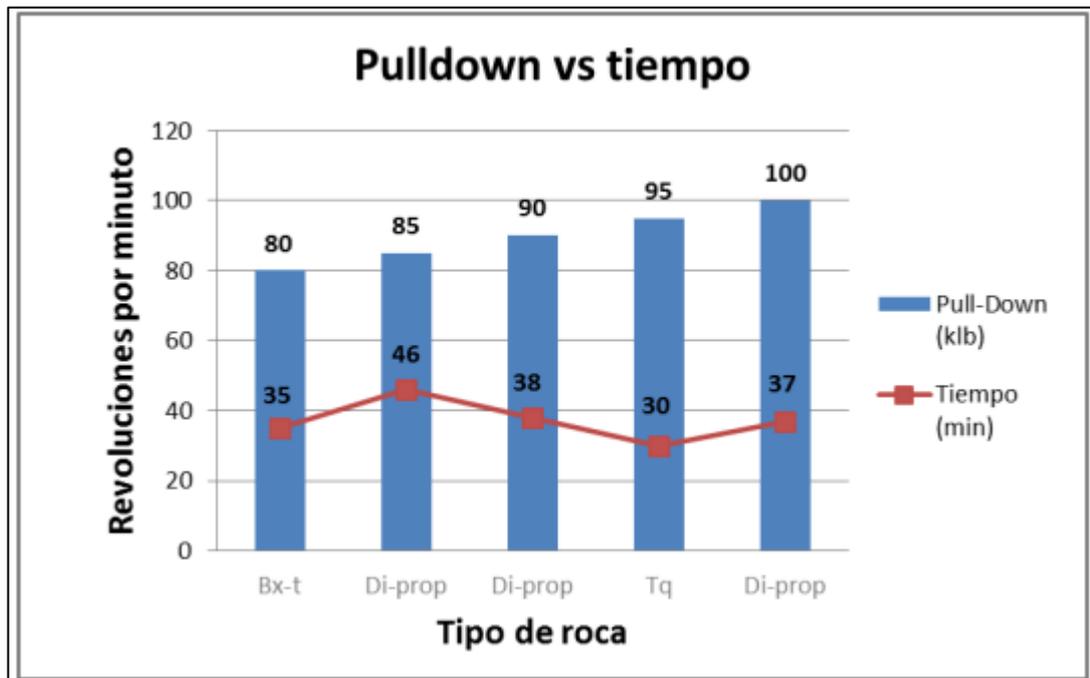
Una vez que sabemos que 55 RPM es ideal para un tipo de terreno duro, debemos mantenerlo constante y solo usar las variaciones de presión de empuje o pulldown para encontrar la velocidad de penetración más alta posible para este tipo de terreno. Además, este análisis toma en cuenta las mediciones realizadas en la perforadora número 12 (CAT MD6640) en la fase 05, que mostraron brechas con alteraciones de turmalina, cuarzo Toquepala y diorita propilítica en el mismo tiempo que la primera. La Ilustración 17 muestra cómo se relacionan el empuje y el tiempo de perforación para realizar un taladro de 17 metros en un terreno duro. Según estos análisis, podemos determinar que para estas condiciones de terreno se recomienda 95 Klbs con una velocidad máxima de 34.00 m/h. como se demuestra en la Tabla 7.

**Tabla 5.**

*Datos Generales Para la Prueba del Pulldown Óptimo en Terreno Duro.*

Proyecto	Terreno	Tipo de roca	# Taladro	RPM	Pull-Down	Profundidad	Tiempo (min)	Velocidad Pen. (m/hr)
3310271	Duro	Di-prop	132	55	100	17	37	27.57
3310271	Duro	Tq	126	55	95	17	30	34.00
3310271	Duro	Bx-t	131	55	90	17	38	26.84
3310271	Duro	Di-prop	187	55	85	17	46	22.17
3310271	Duro	Di-prop	134	55	80	17	35	29.14

*Ilustración 14.*  
*Pulldown Óptimo en Terreno Duro.*

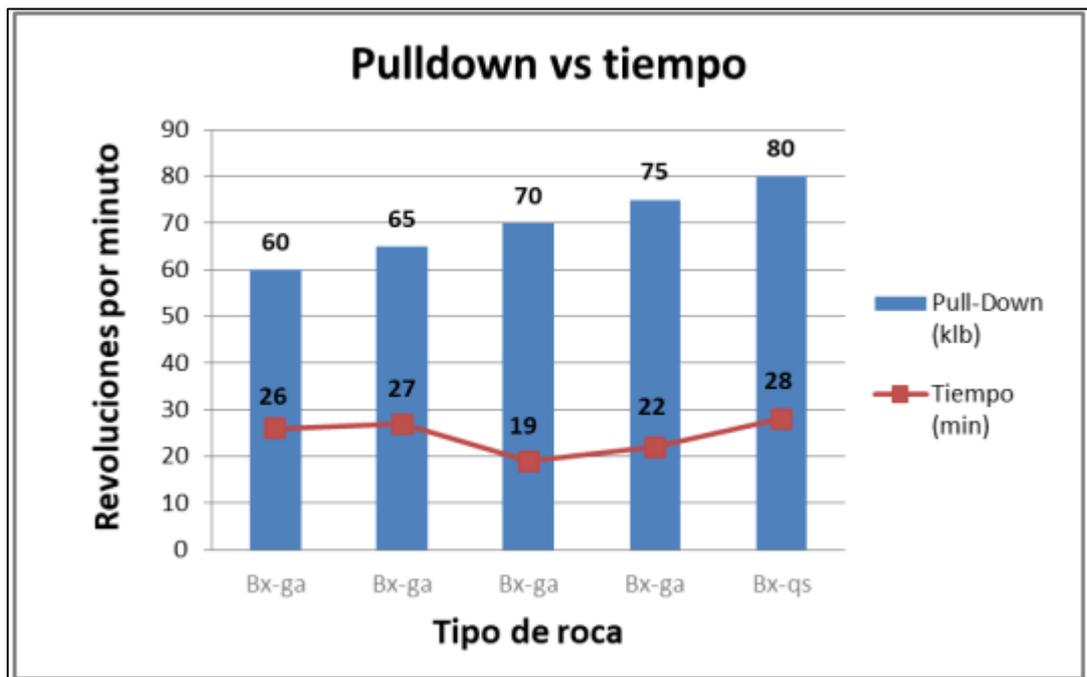


Fuente: propia

#### 4.2.4. Pulldown en Terreno Medio

La presencia de brechas de alteración de yeso-anhidrita y cuarzo-sericita se examina en este análisis a través de mediciones tomadas en la Unidad 19 (P&H 320XPC) ubicada en la fase 01. cambiado, tenemos ahora las RPM ideales para este terreno, que son 75 rpm. La ilustración 18 muestra la relación entre el tiempo de descenso y la perforación para una perforación rica (17 m) en terreno moderado. Según estos análisis, podemos determinar que para estas condiciones de terreno se recomienda 70 kg con una velocidad máxima de 53.68 m/h, como se demuestra en la siguiente tabla.

*Ilustración 15.  
Pull-down Óptimo en Terreno Medio.*



Fuente: propia

**Tabla 6.**

*Datos Generales Para la Prueba del Pulldown Óptimo en Terreno medio.*

Proyecto	Terreno	Tipo de roca	# Taladro	RPM	Pull-Down	Profundidad	Tiempo (min)	Velocidad Pen. (m/hr)
2920142	Medio	Bx-ga	280	75	80	17	28	36.43
2920142	Medio	Bx-ga	308	75	75	17	22	46.36
2920142	Medio	Bx-ga	282	75	70	17	19	53.68
2920142	Medio	Bx-ga	281	75	65	17	27	37.78
2920142	Medio	Bx-qs	253	75	60	17	26	39.23

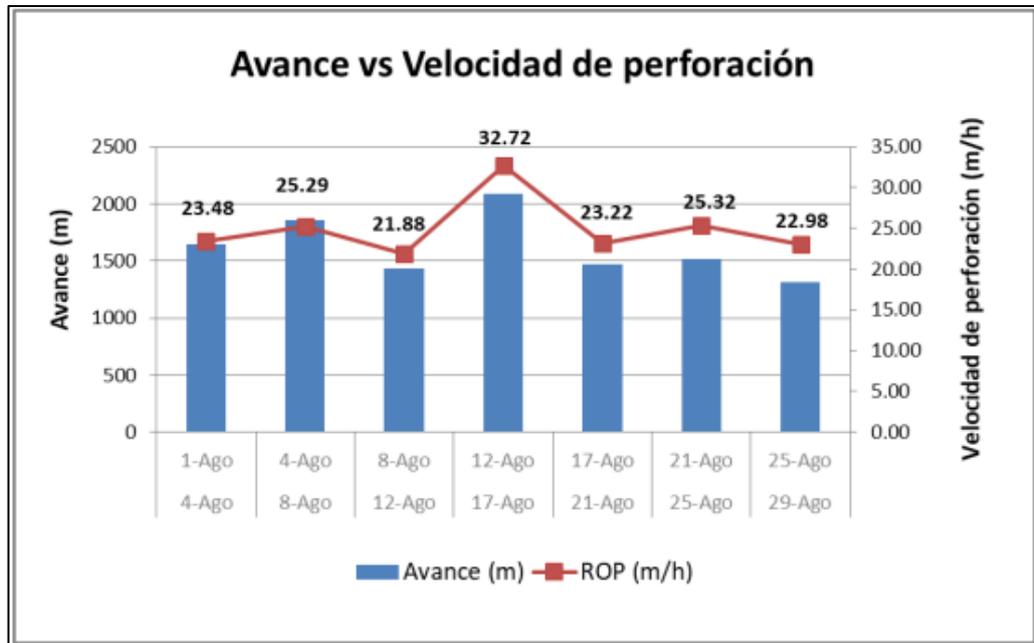
#### **4.2.5. Análisis Comparativo con las Nuevas Velocidades de Perforación**

##### **A. Terreno Duro**

El análisis examina los taladros creados por la perforadora número 12 CAT MD6640 en terreno difícil utilizando parámetros de perforación nuevos y antiguos. El análisis solo examina el trabajo creado por una broca con parámetros de perforación nuevos desde su colocación hasta su muerte, así como el trabajo creado por otras brocas con parámetros de perforación antiguos. Una vez que la broca ha muerto, se registra el avance, el tiempo de perforación y otros datos que ayudarán a determinar la velocidad de perforación y el costo total de la perforación. La Ilustración 9 muestra los resultados de cada broca durante el mes de agosto, en el que se registra la ejecución de la broca con los nuevos parámetros de perforación. Desde el 12 hasta el 17 de agosto, se registró una velocidad de perforación promedio de 32.72 m/h, lo que demuestra la notable diferencia entre la ejecución de las brocas con parámetros que no son relevantes para el terreno

Ilustración 16.

Avance de la Broca y Velocidad de Perforación en Terreno Duro



Fuente: propia

## B. Terreno Medio

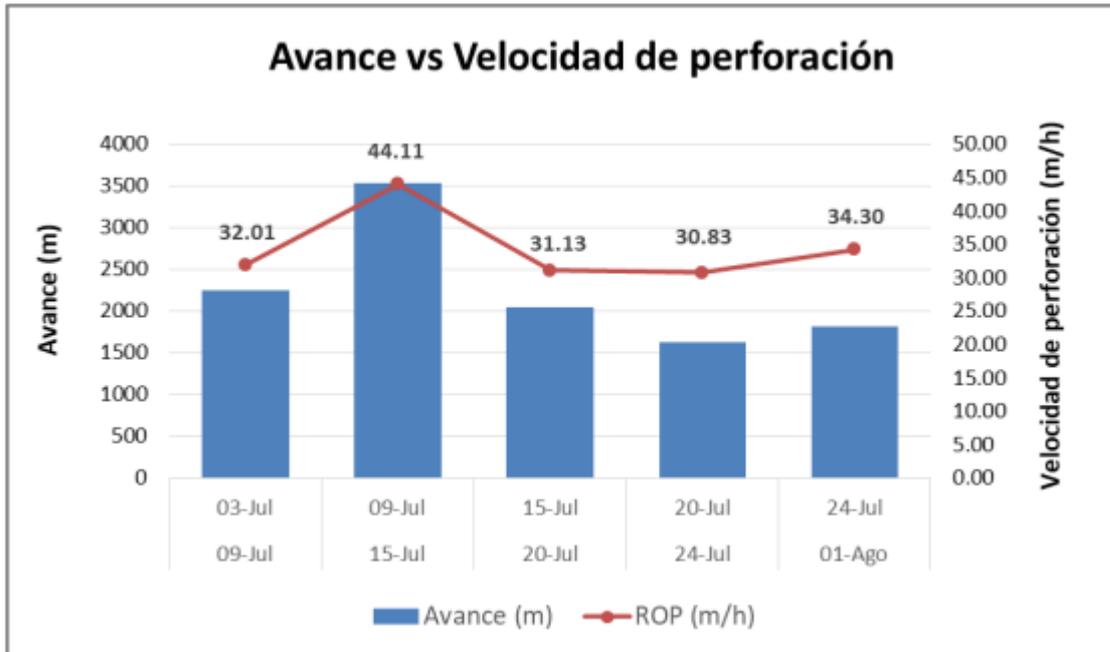
El análisis evalúa el rendimiento del equipo de perforación #9 P&H 320XPC en terreno moderado utilizando parámetros de perforación nuevos y antiguos. El proceso también tendrá en cuenta el trabajo realizado desde el inicio con los nuevos parámetros de perforación. Se colocó a muerte y las demás brocas se mecanizaron utilizando los parámetros de la broca antigua.

Registraremos los parámetros de perforación para calcular la velocidad de perforación y el costo total. En la Ilustración 20 Los resultados de cada broca fueron registrados durante el mes de julio, cuando cada broca utilizó los nuevos parámetros de perforación. Desde el 09 hasta el 15 de julio, se registró una velocidad de perforación de 44.11 m/h, lo que demuestra la

diferencia notable entre las corridas de las otras brocas que utilizaron otros parámetros.

*Ilustración 17.*

*Avance de la Broca y Velocidad de Perforación en Terreno Medio*



Fuente: propia

### 4.3. Prueba de hipótesis

Mediante la variable independiente y dependiente, se realiza la prueba de la hipótesis, las mencionadas variables fueron determinadas para la ejecución del proyecto de investigación, con las cuales aceptamos la hipótesis:

Reducir el costo de Perforación, incrementando la velocidad de penetración en el tajo de la fase 1 de la mina Toquepala.

- **H0:** Reducir costos de perforación en el tajo de la fase 1 de la mina Toquepala.
- **H1:** Incrementar la velocidad de penetración en el tajo de la fase 1 de la mina Toquepala.

#### **4.4. Discusión de resultados**

Dado que el costo horario de la perforadora, el avance y el ROP son parámetros variables en el cálculo del TDC, estos valores siempre tendrán un cálculo diferente para cada broca. Esto es diferente al costo de la broca, que ya es un valor estándar durante un período de tiempo. De esta manera, realizaremos los cálculos adecuados y calcularemos el costo total de perforación para terrenos duros y medios.

##### **4.4.1. Cálculo del TDC en terreno duro**

Después de averiguar la velocidad de penetración (ROP) ideal según el avance de la broca (m), solo queda poner el costo de la broca de 12 1/4" (B), que es el costo de venta del proveedor con nuestra unidad minera y finalmente el costo horario de la broca (P), que se muestra en la Tabla 8, que ya se estableció para este caso en el período de tiempo de agosto:

- $ROP = 32.72$  (m/hr)
- $M = 2084$  (m) 112
- $B = 3542.54$  (US\$)
- $P = 357.02$  (US\$)

**Tabla 7.**  
*Costos Unitarios de Perforación – Agosto 2022.*

EQUIPO	COSTOS				TOTAL	HORAS	METROS	COSTO/HORA
	MANO DE OBRA	OPERACION	MANTENIMIENTO	DEPRECIACION		OPERACION	PERFORADOS	(USD)
(1) Perf. P&H 120A	14,715	77,913	160,245	7,837	260,710	438	8,843	595.41
(2) Perf. P&H 100XP	27,463	116,618	44,402	46,149	234,632	822	20,353	285.41
(4) Perf. BE 49HR	57,786	237,841	160,731	162,848	619,205	2,054	46,720	470.32
(2) Perf. BE 49RIII	30,102	114,758	42,053	18,562	205,474	1,009	23,255	203.68
(1) Perf. QUBEX DR560	-	55,362	19,898	6,934	82,194	473	7,416	173.75
(2) Perf. QUBEX DR580	-	72,214	99,125	57,362	228,701	808	13,505	282.88
(3) Perf. P&H 320XPC	40,552	135,104	31,361	121,935	328,952	921	20,169	357.02
(1) Perf. BE 39HR	16,596	32,867	11,033	113,156	173,652	23	349	7,420.31
<b>TOTAL</b>	<b>187,215</b>	<b>842,676</b>	<b>568,848</b>	<b>534,783</b>	<b>2,133,521</b>	<b>6,549</b>	<b>140,610</b>	<b>325.77</b>

Sabemos que el cálculo del costo total de perforación está determinado por:

$$TDC = \frac{B}{M} + \frac{P}{ROP}$$

$$TDC = \frac{3542.54}{2084} + \frac{357.02}{32.72}$$

$$TDC = 12.61 \text{ US\$/m}$$

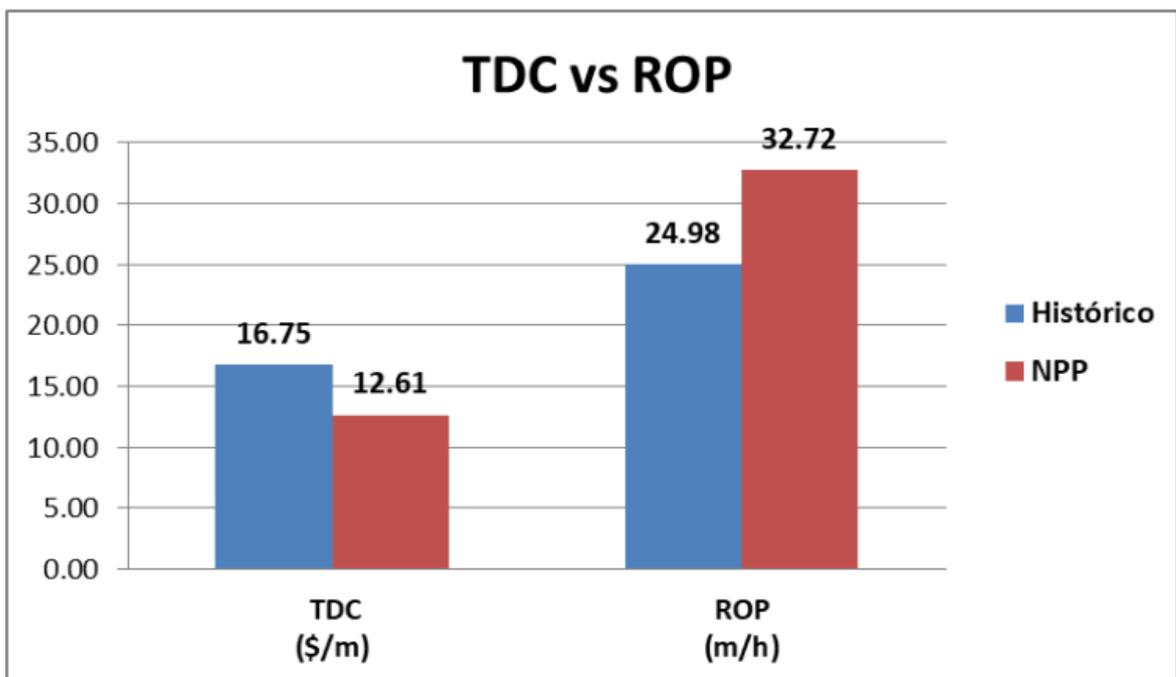
El costo promedio que obtenemos después de registrar los parámetros de perforación ideales para cada tipo de terreno es esta estimación. La Tabla 9 muestra el TDC de agosto, que muestra los valores de los parámetros históricos y óptimos de perforación, mientras que la Figura 10 muestra el análisis comparativo final de TDC y ROP. Para mantener un valor único para el precio de la broca, los contadores de perforación de la plataforma y el precio unitario, este análisis comparativo se realizó en un solo taladro de columna sin cambios en el acero de la plataforma. para una máquina de tiempo por hora

**Tabla 8.**  
*Costos de Perforación en el Periodo de Agosto Para Terreno Duro.*

Periodo		ROP (m/h)	TDC (\$/m)
4-Aug	1-Aug	23.48	17.36
8-Aug	4-Aug	25.29	16.02
12-Aug	8-Aug	21.88	18.79
17-Aug	12-Aug	32.72	12.61
21-Aug	17-Aug	23.22	17.78
25-Aug	21-Aug	25.32	16.43
29-Aug	25-Aug	22.98	18.22

*Fuente: propia*

**Ilustración 18.**  
*Costo Total de Perforación vs Velocidad de Penetración en Terreno Duro - \*NPP (nuevos parámetros de perforación).*



*Fuente: propia*

Según el informe oficial de agosto, la perforadora 12 logró perforar 12,418 metros, mientras que el TDC promedio mensual era de 16,75 USD por metro

cuadrado, lo que equivale a US\$ 207 952.60. Por otro lado, si se aplicaran los nuevos parámetros según los estudios de profundidad y corte, se requerirían costos de \$ 156 622.12, lo que resultaría en un ahorro mensual de \$ 51 330.48 para una perforadora primaria que opera en terreno duro.

#### 4.4.2. Cálculo del TDC en terreno medio

Así como los procedimientos que nos condujeron a calcular la velocidad de penetración (ROP) ideal, según el avance de la broca (m) en terreno duro, de la misma manera para el terreno medio, solo da la posibilidad de consignar el costo de compra de la broca (B) y el costo horario de la broca (P), que también se establecieron durante el período en el mes de julio, veamos:

- ROP = 44.11 (m/hr)
- M = 3542 (m)
- B = 3542.54 (US\$)
- P = 470.32 (US\$)

Teniendo de conocimiento de modo que el cálculo del TDC está definido por:

$$\text{TDC} = \frac{B}{M} + \frac{P}{ROP}$$
$$\text{TDC} = \frac{3542.54}{3542} + \frac{470.32}{44.11}$$
$$\text{TDC} = 11.66 \text{ US\$/m}$$

De la misma manera, este valor se utiliza para calcular el costo-metro promedio después de seleccionar los parámetros de perforación apropiados según el tipo de terreno, en este caso en terreno medio. Los TDC correspondientes al período de julio, en el que se determinaron los valores con los parámetros de perforación óptimos versus los parámetros de perforación históricos, se muestran en la tabla 8.6, y el análisis comparativo final entre TDC y ROP se muestran en la figura 8.8.

*Fuente: propia*

**Tabla 9.**

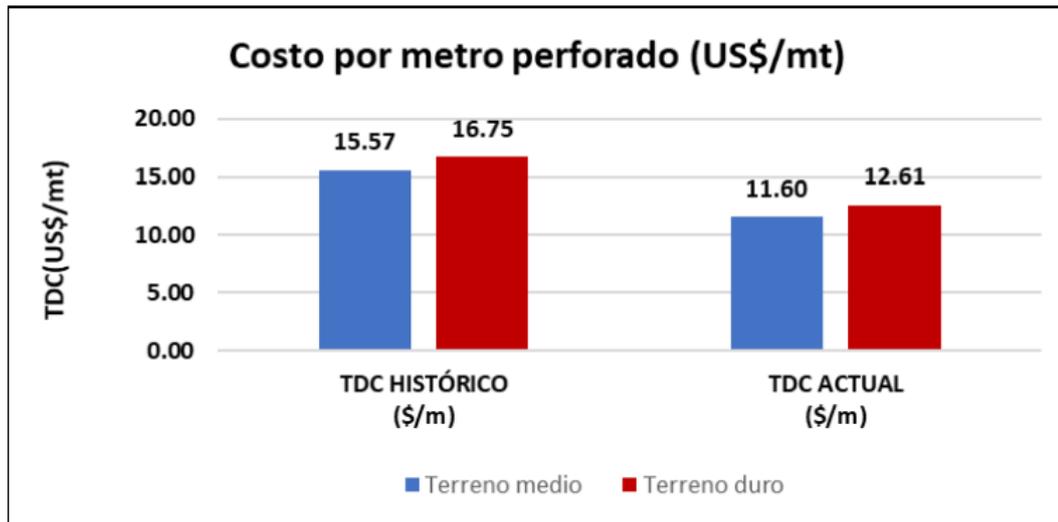
*Costos de Perforación en el Periodo de Julio Para Terreno Medio.*

<b>Periodo</b>		<b>ROP (m/h)</b>	<b>TDC (\$/m)</b>
3-Jul	9-Jul	30.28	16.27
9-Jul	15-Jul	44.11	11.66
15-Jul	20-Jul	28.72	16.84
20-Jul	24-Jul	23.90	17.43
24-Jul	1-Aug	21.90	15.66

El informe oficial de la perforadora 19 para julio mostró un avance de 13.656 metros, lo que equivale a US\$ 212 675.28. El TDC promedio mensual fue de 15.57 US\$/m, lo que equivale a US\$ 212 675.28. Esto contrasta con los costos de US\$ 159 267.71 si se aplican los nuevos parámetros según los estudios de profundidad y corte, lo que resulta en un ahorro total mensual de US\$ 53 407.58 para una perforadora primaria operada en terreno medio. Como terminación del análisis de resultados, poseemos una tabla que confronta el costo total de perforación histórico con el actual, donde podemos visualizar la notable diferencia entre ambos.

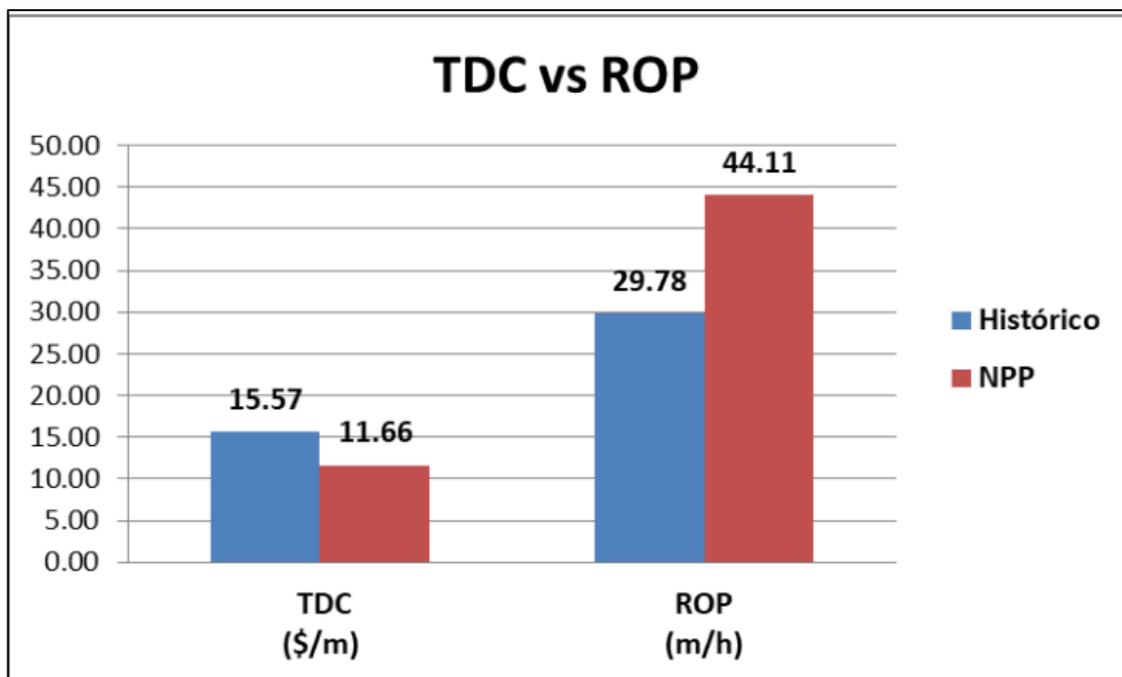
*Ilustración 19.*

*Costo Total de Perforación vs Velocidad de Penetración en Terreno Medio - \*NPP.*



*Ilustración 20.*

*Costo Total de Perforación vs dureza del terreno.*



*Fuente: propia*

#### **4.4.3. Incremento de la productividad**

Los estudios realizados para encontrar los parámetros de perforación adecuados no solo resultaron en costos de perforación más bajos, sino que también tuvieron un impacto directo en la productividad. Esto se puede ver en las Ilustraciones 11 y 12, donde el promedio de productividad aumentó en 30% en terrenos duros y 45% en terrenos medios.

## CONCLUSIONES

- Los avances en tecnología, combinados con nuevos desarrollos en otros diseños de aceros de perforación, nos han permitido alcanzar importantes velocidades de perforación, además de extender enormemente la vida útil de estos aceros, aumentando así la productividad y por ende la eficiencia y las exigencias de las necesidades de la minería moderna. (Los avances en la tecnología y el diseño de elementos de corte y otros aceros de perforación han permitido que estas herramientas alcancen tasas de penetración más altas y vidas útiles más largas, lo que generalmente se traduce en costos de perforación primaria más bajos).
- Optimizando los costos totales de perforación de \$11.66 por tonelada para terreno medio y \$12.61 por tonelada para terreno duro, aunque dependiente de ciertos parámetros de perforación, cabe señalar que el desempeño en sí dependerá de esta parte que afecta a todo el sistema de perforación, es decir; También debemos prestar atención al funcionamiento del compresor, sistema hidráulico de caída y presión rotativa y demás accesorios directamente involucrados en la perforación, sin olvidar capacitar bien al perforador. Con todo esto seguramente podremos optimizar aún más la productividad y así poder reducir el coste total de perforación.
- Otro factor determinante durante la perforación es la presión del aire del compresor. El funcionamiento de este sistema hace que el aire sea expulsado a través de la sarta de perforación, lo que lubrica los cojinetes internos de la tubería de perforación. Al perforar los agujeros, el aire se expulsa al suelo. Como resultado de la perforación, los escombros se depositaron en el fondo del pozo. La presión y el flujo de agua que probamos fueron valores estándar

de 52 psi y 1,5 gal/min, respectivamente. Con todo esto seguramente podremos optimizar aún más la productividad y así poder reducir el coste total de perforación.

- Tener en cuenta el buen mantenimiento de los equipos de perforación para poder realizar los trabajos con total normalidad.
- El empuje durante la perforación es variable. Porque el empuje y el par de perforación causan la rotura del terreno, es crucial medir el empuje.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda un control estadístico adecuado y el control de los parámetros de perforación será clave para que alcancemos tasas máximas de perforación y lograremos una reducción significativa en los costos generales de perforación, en nuestro caso una reducción en comparación con los costos históricos de \$15,57 por tonelada en comparación con 16, A 75 dólares por tonelada, el costo total de perforación en estas dos áreas se reduce en un 25%.  
Adecuado para terrenos medios y duros respectivamente.
- Para garantizar una buena evacuación hacia la superficie, se recomienda mantener una velocidad de salida de desechos superior a los 1 500 m/min. Por lo tanto, se encomienda inspeccionar y monitorear el desgaste de las barras de perforación, que se debe considerar un desgaste máximo de 1/2" y un desgaste de 10 3/4" hasta 10 1/4".
- Se recomienda controlar constantemente la presión del aire durante la perforación, ya que la presión es el factor determinante para arrojar tierra a la superficie, mientras que el aumento de presión puede obstruir la broca y provocar pérdidas. También se recomienda un flujo de agua adecuado, generalmente entre 1,5 gal/min cuando la unidad está instalada y 4 gal/min cuando la unidad se instala inicialmente. El abuso también puede generar mucho polvo o suciedad que dificulta la eliminación de los detritus.
- Se recomienda utilizar estos análisis para otros procesos en minería para así reducir costos.
- Se recomienda encontrar un adecuado intervalo de afilado optimiza la vida útil del material, intervalos inadecuados puede incluso ser perjudicial.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Bernaola, J., Castilla, J., Herrera, J. (2013). Perforación y voladura de rocas en minería. Madrid: Departamento de explotación de recursos minerales y obras subterráneas.
- López, C. (1994). Manual de perforación y voladura en rocas. España: Instituto Geominero de España.
- López, Jimeno. (2017). Manual de perforación, explosivos y voladura. España: Instituto Geominero de España.
- Richard, K., Courtright, J. (1964). "Geology Toquepala, Perú". Lima.
- Stevenson, F, Damiani, O. (1965). "Interpretación Estructural del depósito de Toquepala": Asociación de Geólogos del Perú.
- Thuro, K. (2003). Rock parameters for excavatability. Switzerland: Swiss Institute of Technology Zurich.
- Zwang, Paul. (1985). "Evolución Hipógena del Depósito Porfirítico de Cobre Molibdeno de Toquepala, Moquegua, Sudeste del Perú
- Atlas Copco BHMT Inc. (2006). Sweden: AIR PRACTICES HANDBOOK.
- EXSA. (2000). "Manual práctico de voladura". (3ª. ed.). Lima.
- ISEE - International Society of Explosives Engineers. (2010). "Blaster's Handbook" (8ª. ed.). Ohio.
- Tacna: Southern Peru Copper Corporation.
- Universidad de Chile (2010). Diseño de minas a cielo abierto. Chile.

# **ANEXOS**

*Anexo I.*  
*Matriz de Consistencia*

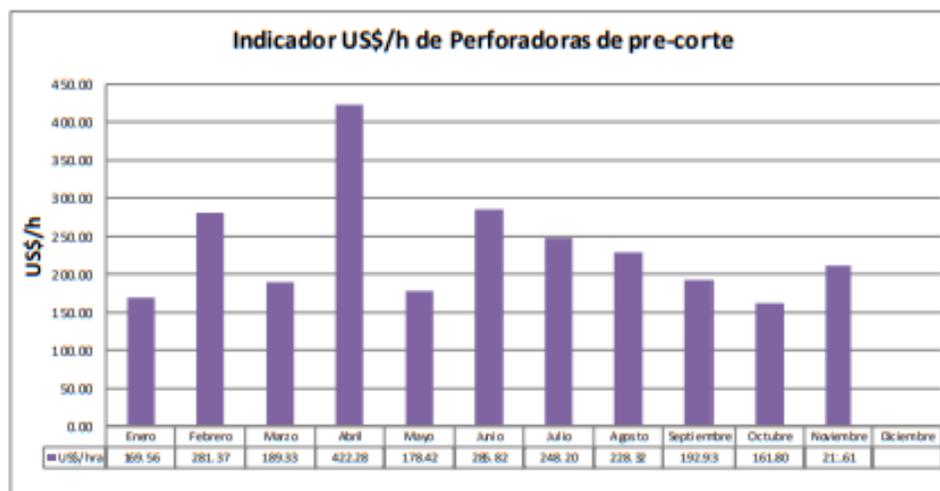
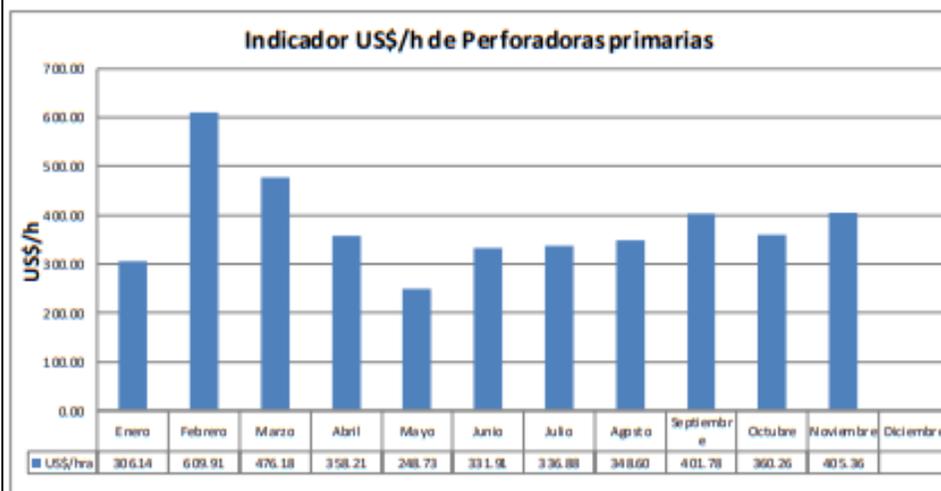
<b>MATRIZ DE CONSISTENCIA</b>						
TÍTULO: “ Reducción del costo de Perforación Incrementando la Velocidad de Penetración en el Tajo de la Fase 1 de la Mina Toquepala..”						
Tesis: Bach. Eliseo Rodrigo BERROSPI AVALOS						
<b>PROBLEMA</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>HIPÓTESIS</b>	<b>VARIABLES</b>	<b>DIMENSIONES</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACION</b>
<p><b>GENERAL:</b> ¿En qué medida se podría reducir el costo de Perforación, incrementando la velocidad de penetración en el tajo de la fase 1 de la mina Toquepala?</p> <p><b>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</b> A. ¿Qué mecanismos aplicaremos para reducir el costo de perforación con el uso de otras técnicas en el tajo de la fase 1 de la mina Toquepala? B. ¿Se podrá reducir el costo de perforación con la evaluación del incremento de la presión de aire en el tajo de la fase 1 de la mina Toquepala?</p>	<p><b>GENERAL:</b> Reducir el costo de Perforación, incrementando la velocidad de penetración en el tajo de la fase 1 de la mina Toquepala.</p> <p><b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> A. Aplicar mecanismos para reducir el costo de perforación con el uso de otras técnicas en el tajo de la fase 1 de la mina Toquepala B. Reducir el costo de perforación con la evaluación del incremento de la presión de aire en el tajo de la fase 1 de la mina Toquepala.</p>	<p><b>GENERAL</b> Reducir el costo de Perforación, incrementando la velocidad de penetración en el tajo de la fase 1 de la mina Toquepala.</p> <p><b>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</b> A. Si aplicamos mecanismos reduciremos el costo de perforación con el uso de otras técnicas en el tajo de la fase 1 de la mina Toquepala? B. Si reduciremos el costo de perforación mediante la evaluación del incremento de la presión de aire en el tajo de la fase 1 de la mina Toquepala.</p>	<p><b>INDEPENDIENTE</b> X: Reducir costos de perforación en el tajo de la fase 1 de la mina Toquepala.</p> <p><b>DEPENDIENTE:</b> Y: Incrementar la velocidad de penetración en el tajo de la fase 1 de la mina Toquepala.</p>	<p>Plan de Minado Ciclo de Minado Minera Toquepala.</p>	<p>Meto de Explotacion Parametros de Perforacion Reduccion de Costos</p>	<p><b>TIPO:</b> Aplicada.</p> <p><b>NIVEL:</b> Evaluativa.</p>

**Anexo 2.**  
**Costo Horario Perforado**

Perforadora	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre
	Costo/ Horario	Costo/ Horario	Costo/horario	Costo/horario	Costo/horario	Costo/horario	Costo/horario	Costo/horario	Costo/ horario	Costo/horario	Costo/horario
	(US\$/h)	(US\$/h)	(US\$/h)	(US\$/h)	(US\$/h)	(US\$/h)	(US\$/h)	(US\$/h)	(US\$/h)	(US\$/h)	(US\$/h)
P&H 120A (1)	494.65	568.02	229.21	488.49	268.43	442.14	342.97	595.41	476.77	278.20	742.74
P&H 100XP (23)	275.84	317.33	775.94	364.39	253.47	307.05	326.19	285.41	364.63	654.08	446.59
BE 49HR & CAT (7, 8, 9, 12 Y 18)	267.02	337.69	360.89	278.20	254.93	358.03	293.44	301.46	278.54	302.63	291.99
BE 49RIII (4,5.)	168.89	283.05	224.78	255.65	184.22	215.67	206.74	203.68	252.53	305.53	242.94
P&H 320XP C (11, 16 y 17)	234.47	273.82	306.74	308.57	251.90	297.03	470.32	357.02	636.45	260.83	302.55
BE 39HR	395.95	1879.55	999.52	453.98	279.46	371.57	381.60	-	-	-	-
<b>TOTAL</b>	<b>306.14</b>	<b>609.91</b>	<b>476.18</b>	<b>358.21</b>	<b>248.73</b>	<b>331.95</b>	<b>316.81</b>	<b>348.60</b>	<b>401.78</b>	<b>360.26</b>	<b>405.36</b>

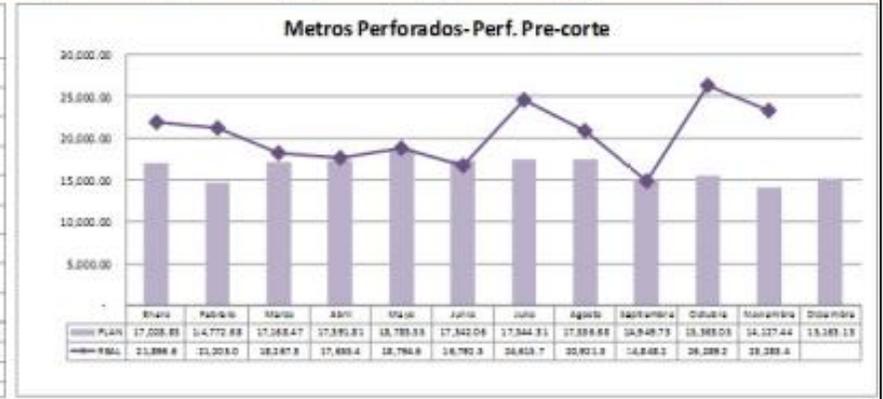
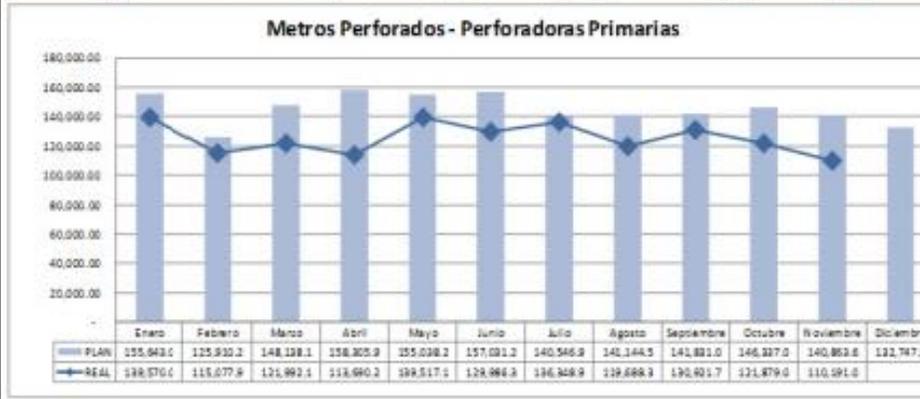
  

Perforadora	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre
	Costo/ Horario	Costo/ Horario	Costo/horario								
	(US\$/h)	(US\$/h)	(US\$/h)	(US\$/h)	(US\$/h)	(US\$/h)	(US\$/h)	(US\$/h)	(US\$/h)	(US\$/h)	(US\$/h)
(1) Perf. QUBEX DRS60	151.20	387.85	135.32	605.61	128.90	233.76	386.28	173.75	177.38	159.44	133.69
(1) Perf. QUBEX DRS80	187.92	174.90	243.33	238.95	227.94	337.88	310.12	282.88	208.48	164.16	289.53
<b>TOTAL</b>	<b>369.56</b>	<b>281.37</b>	<b>189.33</b>	<b>422.28</b>	<b>178.42</b>	<b>285.82</b>	<b>248.20</b>	<b>228.32</b>	<b>192.93</b>	<b>161.80</b>	<b>211.61</b>



**Anexo 3.**  
**Metros Perforados**

Perforadora	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
	Metros Perf. (m)											
DR01	4,679.55	8,822.3	8,867.0	8,087.5	9,419.50	8,665.8	8,771.5	8,843.0	9,308.5	8,942.0	7,285.0	
DR02	10,793.00	8,300.7	10,961.1	9,718.0	12,898.80	10,701.0	10,101.6	10,245.4	9,712.9	569.5	-	
DR03	10,087.30	6,963.0	8,090.5	4,772.5	10,882.50	11,921.4	10,990.5	10,107.5	10,920.9	9,746.5	11,000.1	
DR04	11,649.80	9,289.5	10,404.5	7,587.0	8,390.20	8,785.0	10,688.0	9,859.0	10,561.0	6,880.5	6,983.5	
DR05	9,535.80	7,318.0	6,241.3	7,969.0	9,363.60	13,903.3	15,247.0	13,395.6	15,815.5	12,456.0	10,505.0	
DR07	12,213.00	11,355.1	12,392.5	9,187.5	11,782.30	10,708.5	13,190.1	13,028.7	13,807.0	10,821.5	8,502.5	
DR08	12,140.00	7,775.0	8,435.8	10,758.9	11,125.30	11,756.0	10,617.0	11,082.0	10,287.2	10,855.3	7,455.0	
DR09	14,360.00	12,518.0	11,474.0	9,852.4	12,703.30	10,903.0	11,061.2	10,190.5	13,369.5	10,538.5	11,364.6	
DR11	13,784.30	12,659.1	10,115.4	11,831.1	11,750.70	11,170.3	13,298.0	9,403.9	11,147.2	11,870.5	10,912.6	
DR12	12,033.70	10,080.0	10,316.0	9,649.3	12,643.50	11,896.0	13,654.1	12,418.7	10,633.1	9,738.8	9,847.0	
DR13	3,513.00	1,498.0	2,956.0	4,538.0	6,164.00	5,075.5	7,598.7	349.0	-	-	-	
DR16	14,259.00	9,448.0	12,493.5	8,347.5	11,409.20	11,188.0	11,114.0	10,765.0	8,837.8	9,108.4	8,673.0	
DR17	10,521.90	9,051.0	9,234.5	11,581.5	10,984.20	3,314.5	-	-	358.4	8,396.3	7,943.9	
DR18	-	-	-	-	-	-	-	-	6,167.5	11,933.0	9,718.8	
<b>TOTAL</b>	<b>139,570.0</b>	<b>115,077.9</b>	<b>121,950.1</b>	<b>113,690.2</b>	<b>139,517.1</b>	<b>129,966.3</b>	<b>136,346.9</b>	<b>119,688.3</b>	<b>130,921.7</b>	<b>121,879.0</b>	<b>110,191.0</b>	
Perforadora	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
	Metros Perf. (m)											
DR10	6,377.50	6,627.20	5,987.20	4,879.90	7,233.50	9,060.50	11,276.00	7,416.00	6,185.80	8,077.70	7,688.60	
DR14	8,382.50	8,455.70	4,638.50	7,030.50	7,353.50	7,586.00	8,323.10	4,905.70	8,303.80	9,813.20	7,651.00	
DR15	7,136.60	6,120.10	7,651.60	5,745.00	4,207.60	148.00	5,016.30	8,599.60	358.60	8,398.30	7,943.80	
<b>TOTAL</b>	<b>21,896.6</b>	<b>21,203.0</b>	<b>18,267.3</b>	<b>17,655.4</b>	<b>18,794.6</b>	<b>16,792.5</b>	<b>24,615.7</b>	<b>20,921.3</b>	<b>14,848.2</b>	<b>26,209.2</b>	<b>23,283.4</b>	



**Anexo 5.**  
**Utilización de perforadoras**

Perforadora	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
	Util.	Util.										
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
DR01	61.48	69.50	77.01	47.75	75.76	69.58	72.34	9.0	76.2	67.6	57.8	
DR02	76.31	71.77	70.98	70.54	66.64	69.13	66.13	66.3	73.1	47.7	-	
DR03	73.25	70.46	67.64	64.32	70.10	72.72	70.98	65.8	75.2	65.8	65.7	
DR04	76.74	73.61	74.83	62.95	78.88	75.82	74.60	74.1	74.1	69.9	73.8	
DR05	79.81	68.94	74.11	74.05	76.68	70.66	76.96	73.2	80.7	72.9	54.7	
DR07	79.75	78.47	78.92	64.17	77.29	71.52	75.44	77.1	76.7	70.0	67.4	
DR08	79.94	64.91	69.96	74.91	76.73	75.20	74.17	79.1	79.5	75.9	82.8	
DR09	73.32	76.22	66.23	71.57	72.42	73.31	70.18	75.7	76.9	65.5	58.5	
DR11	69.30	70.33	68.16	68.69	67.95	74.95	73.95	61.1	76.4	71.2	68.9	
DR12	72.89	71.81	74.90	68.17	67.09	66.80	71.73	74.7	75.9	71.8	88.3	
DR13	67.81	69.50	77.01	47.75	75.76	69.58	72.34	9.0	-	-	-	
DR16	75.93	74.15	75.87	50.99	74.87	73.0	77.2	72.4	77.9	67.9	66.0	
DR17	70.54	73.66	74.67	72.82	73.42	67.2	0.0	0.0	52.7	75.2	69.4	
DR18									73.9	70.9	72.1	
<b>TOTAL</b>	<b>73.62</b>	<b>71.80</b>	<b>73.30</b>	<b>64.51</b>	<b>73.39</b>	<b>71.49</b>	<b>73.00</b>	<b>61.48</b>	<b>74.55</b>	<b>68.63</b>	<b>65.43</b>	

Perforadora	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
	Util.	Util.										
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
DR10	62.47	58.95	68.52	66.02	64.49	74.88	80.52	81.46	70.06	80.62	81.67	
DR14	75.93	82.11	71.15	82.12	80.46	74.33	85.63	70.33	78.05	76.04	65.06	
DR15	70.54	82.01	80.99	84.72	46.36	20.97	50.79	79.23	85.25	77.90	80.59	
<b>TOTAL</b>	<b>69.65</b>	<b>74.36</b>	<b>73.55</b>	<b>67.62</b>	<b>63.78</b>	<b>56.73</b>	<b>72.31</b>	<b>77.01</b>	<b>77.78</b>	<b>78.19</b>	<b>75.77</b>	



*Anexo 6.  
Resumen de Perforación*

<b>Métrica del proceso de Perforación y Voladura</b>				
	Planificado (m)	Ejecutado (m)	Cumplimiento (%)	Observaciones
<b>Metros perforados</b>	<b>158,091.26</b>	<b>160,964.60</b>	<b>101.82</b>	Diferencia a favor de 2,873.34 m.
<b>Voladura</b>				
	Planificado (Tn)	Ejecutado (Tn)	Cumplimiento (%)	Observaciones
<b>Material fragmentado</b>	<b>20,676,769.0</b>	<b>21,482,788</b>	<b>103.90</b>	Diferencia a favor de 806,018.83 TM
<b>Eficiencia del Proceso de Perforación y Voladura</b>				
	Meta (%)	Eficiencia del Proceso (%)	Diferencia (%)	Observaciones
<b>EPPV= S (Mpmm+Mvtm)/2</b>	<b>≥ 80</b>	<b>102.86</b>	<b>22.9</b>	Estamos por encima con 22.9 puntos porcentuales
<b>Nota 1.-</b> El Factor de Seguridad S se aplica: <b>S= 0</b> si se tiene incidente LTI ; <b>S=1</b> si no se tiene incidente LTI				
<b>Nota 2.-</b> Con respecto al mes de Agosto se obtuvo una eficiencia de 79.72%.				

	Planificado (m)	Ejecutado (m)	Cumplimiento (%)	Observaciones
<b>Metros perforados</b>	<b>158,681.27</b>	<b>140,609.60</b>	<b>88.61</b>	Diferencia en contra de 18,071.67 m.
<b>Voladura</b>				
	Planificado (Tn)	Ejecutado (Tn)	Cumplimiento (%)	Observaciones
<b>Material fragmentado</b>	<b>20,457,885.0</b>	<b>19,156,087</b>	<b>93.64</b>	Diferencia en contra de 1,301,797.57 TM
<b>Eficiencia del Proceso de Perforación y Voladura</b>				
	Meta (%)	Eficiencia del Proceso (%)	Diferencia (%)	Observaciones
<b>EPPV= S (Mipmm+Mvtm)/2</b>	<b>≥ 80</b>	<b>91.12</b>	<b>11.1</b>	Estamos por encima con 11.1 puntos porcentuales
<b>Nota 1.-</b> El Factor de Seguridad S se aplica: <b>S= 0</b> si se tiene incidente LTI ; <b>S=1</b> si no se tiene incidente LTI				
<b>Nota 2.-</b> Con respecto al mes de Agosto se obtuvo una eficiencia de 79.72%.				