



UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS

TESIS:

**“INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD DE
PENETRACIÓN EN EL PROCESO DE
PERFORACIÓN PRIMARIA EN MINERA
YANACOCCHA, CAJAMARCA, 2018”**

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

**PRESENTADO POR EL BACHILLER:
ALAYA CRUZADO, LUIS PRIMITIVO**

CAJAMARCA – PERÚ

- 2018 -

DEDICATORIA

A mi esposa Nancy por su apoyo y comprensión.

A mis padres y hermanos por su respaldo y aliento. A mis jefes y colegas que me apoyaron e impulsaron este proyecto.

Luis Alaya.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas de La Universidad Alas Peruanas – y de forma especial al Ing. Isidro Oyola Mejía por el asesoramiento y apoyo en el presente trabajo.

Luis Alaya.

RECONOCIMIENTO

A través de esta tesis hacer un reconocimiento a la empresa minera Yanacocha, por brindarme las facilidades para realizar esta tesis.

A la Universidad Alas Peruanas, por acogerme en sus aulas y brindarme sus mejores enseñanzas.

Luis Alaya.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO	iii
RECONOCIMIENTO	iv
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	v
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN.....	xiv
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO	1
1.1. Descripción de la realidad problemática	1
1.2. Delimitación de la investigación.....	2
1.2.1. Delimitación espacial.....	2
1.2.2. Delimitación social.....	2
1.2.3. Delimitación temporal.....	2
1.2.4. Delimitación conceptual	2
1.3. Problemas de investigación	2
1.3.1. Problema principal.....	2
1.3.2. Problemas secundarios.....	3
1.4. Objetivos de la investigación	3
1.4.1. Objetivo general	3
1.4.2. Objetivos específicos	3
1.5. Hipótesis y variables de la investigación	4
1.5.1. Hipótesis general.....	4
1.5.2. Hipótesis secundarias	4
1.5.3. Variables	5

	Pág.
1.5.4. Definición conceptual	5
1.5.5. Operacionalización de variables.....	5
1.6. Metodología de la investigación.....	6
1.6.1. Tipo y nivel de investigación.....	6
a) Tipo de investigación.....	6
b) Nivel de investigación.....	6
1.6.2. Método y diseño de la investigación.....	7
a) Método de investigación.....	7
b) Diseño de investigación	7
1.6.3. Población y muestra de la investigación.....	7
a) Población	7
b) Muestra	8
1.6.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	8
a) Técnicas.....	8
b) Instrumentos	8
1.6.5. Justificación, importancia y limitaciones de la investigación.....	11
a) Justificación.....	11
b) Importancia	11
c) Limitaciones	12
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	13
2.1. Antecedentes de la investigación	13
2.1.1. A nivel internacional	13
2.1.2. A nivel nacional	15
2.1.3. A nivel local	18
2.2. Bases teóricas.....	21
2.2.1. Velocidad de penetración.....	21
2.2.1.1. Factores que afectan la velocidad de penetración.....	21
2.2.1.2. Tipo y diseño de la barrena para mejorar la velocidad	24
2.2.2. Perforación primaria	29
2.2.2.1. Equipo de perforación	30

	Pág.
2.2.2.2. Mecanismos de rotura de la roca	33
2.2.3. Evaluación del desgaste de las brocas tricónicas	36
2.3. Definición de términos básicos	46
CAPÍTULO III: PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	49
3.1. Aspectos generales de la mina.....	49
3.1.1. Ubicación y accesibilidad	49
3.1.2. Operaciones mineras	52
3.2. Geología	53
3.2.1. Geología general.....	53
3.2.2. Geología local	54
3.2.3. Estratigrafía sedimentaria y volcánica	56
3.2.4. Geología estructural.....	58
3.3. Aire comprimido	59
3.3.1. Aire estándar	59
3.3.2. Presión de aire absoluta y presión de aire manométrica	60
3.3.3. Densidad del aire y presión atmosférica.....	60
3.3.4. Compresores de aire.....	60
3.3.5. Factor altitud temperatura A/T.....	61
3.3.6. Velocidad de barrido	61
3.3.7. Velocidad de caída del chip.....	62
3.3.8. Velocidad de salida del detrito.....	62
3.3.9. Fuerza de limpieza del fondo del pozo	62
3.3.10. Modulación o regulación de compresor	63
3.3.11. Presión del aire en la broca tricónica	63
3.3.12. Inyección de agua.....	64
3.3.13. Inyección de aceite	64
3.3.14. Kit para la prueba de presión de aire	64
3.4. Costo total de perforación	65
3.4.1. Estructura del costo total de perforación	65

	Pág.
3.4.2. Costo total de perforación	67
3.4.3. Importancia de la velocidad de penetración en el costo mínimo	67
3.5. Tipo de roca	68
3.6. Parámetros de perforación	68
CONCLUSIONES	79
RECOMENDACIONES	81
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82
ANEXOS	85
Anexo 1: Matriz de consistencia.....	86

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Operacionalización de las variables.....	5
Tabla 2 Ficha de campo para herramientas de perforación.....	9
Tabla 3 Datos para tomar en campo con respecto a velocidad de penetración.	9
Tabla 4 Ficha de reporte de perforación	10
Tabla 5 Tipos de malla y sus características.	30

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Estratos definidos con el tipo de formación.....	22
Figura 2: Presiones que intervienen en la velocidad de penetración	24
Figura 3: Tipos de barrenas.	25
Figura 4: Mecanismos de corte en formación	28
Figura 5: Fase de Abrasión.....	33
Figura 6: Fase de fatiga	34
Figura 7: Fase Spalling	34
Figura 8: Fase Deep Spalling.....	35
Figura 9: Exceso de peso.....	35
Figura 10: Cono roto	36
Figura 11: Insertos rotos.	37
Figura 12: Cono fisurado.....	38
Figura 13: Cono arrastrado	38
Figura 14: Interferencia de conos.....	39
Figura 15: Pérdida de nariz	40
Figura 16: Inserto fragmentado	40
Figura 17: Erosión.....	41
Figura 18: Desgaste plano	41
Figura 19: Marcas de calentamiento	42
Figura 20: Pérdida de cono	43
Figura 21: Pérdida de insertos	43
Figura 22: Boquilla obstruida.....	44
Figura 23: Redondeo del calibre.	45
Figura 24: Daño de faldón.....	45
Figura 25: Desgaste fuera de centro.....	46
Figura 26: Mapa de las cuatro cuencas hidrográficas.....	51
Figura 27: Mapa de ubicación de MYSRL en los distritos de Cajamarca.	52
Figura 28: Columna estratigráfica generalizada.....	59
Figura 29: Kit para Test de Aire	64
Figura 30: RPM óptimo en terreno Duro.	68

	Pág.
Figura 31: RPM óptimo en terreno Medio	69
Figura 32: RPM óptimo en terreno Suave	70
Figura 33: Pulldown óptimo en terreno Duro.....	71
Figura 34: Pulldown óptimo en terreno medio	71
Figura 35: Pulldown óptimo en terreno suave	72
Figura 36: Resultados de la prueba de Pulldown	73
Figura 37: Resultados de la prueba de agua.....	74
Figura 38: Velocidad de Barrido	75
Figura 39: Velocidad de Salida del Chip	75
Figura 40: Diámetro de boquillas óptimo.....	76
Figura 41: Costo Total de Perforación.....	77
Figura 42: Promedio en Metros.....	78

RESUMEN

El objetivo principal fue determinar la influencia de la velocidad de penetración en el proceso de perforación primaria en la mina Yanacocha.

Para poder maximizar el rendimiento de la perforación rotativa, es necesario observar todo el sistema de perforación como un conjunto. Es decir, que llevando un control de los parámetros de perforación los cuales involucran a la perforadora, capacidad del compresor, los sistemas hidráulicos de Pulldown y Presión de Rotación, así como también los accesorios de perforación. Y lo más importante con un buen entrenamiento a los operadores de las perforadoras, podremos incrementar la velocidad de penetración y optimizar el costo total de perforación.

De acuerdo a los análisis anteriormente expuestos, se puede decir fehacientemente que existen una serie de beneficios obtenidos al incrementar la velocidad de penetración. Esto conlleva a aumentar la capacidad de los equipos de perforación incrementando su productividad.

El desarrollo de la tecnología y la evolución en el diseño de las brocas tricónicas y los accesorios de perforación, hoy en día nos permiten alcanzar velocidades de penetración muy altas, combinadas con una razonable vida útil en metros. Y a la vez logramos utilizar la máxima capacidad de los equipos de perforación. Logrando así la eficiencia que exigen las operaciones mineras de nuestros días.

ABSTRACT

The main objective was to determine the influence of the speed of penetration in the primary drilling process at the Yanacocha mine. In order to maximize the performance of rotary drilling, it is necessary to observe the entire drilling system as a whole. That is, taking control of the drilling parameters which involve the drilling machine, compressor capacity, the hydraulic systems of Pulldown and Rotation Pressure, as well as the drilling accessories. And most importantly with a good training to the operators of the drills, we can increase the speed of penetration and optimize the total cost of drilling. According to the analyzes previously exposed, it can be said that there are a series of benefits obtained by increasing the speed of penetration. This leads to increase the capacity of the drilling equipment increasing their productivity. The development of technology and the evolution in the design of tricone bits and drilling accessories, nowadays allow us to reach very high penetration speeds, combined with a reasonable useful life in meters. And at the same time we managed to use the maximum capacity of the drilling equipment. Achieving the efficiency required by today's mining operations.

INTRODUCCIÓN

Una de las razones para enfatizar en los controles de perforación están basados en rendimientos, tiempos improductivos llámese: tiempo muerto, stand by, ciclos lentos de limpieza por parte del área de movimiento de tierras, inadecuada programación del mantenimiento preventivo, que, al fin de cuentas, terminan siendo las variables que si se pueden controlar de manera práctica y realizando un seguimiento diario.

Uno de los factores clave que influye directamente en el proyecto, es que la roca no se encuentra dispuesta uniformemente, sino que, por lo contrario, cambia de forma repentina, esto repercute en la columna de perforación de los Rock Drills cuyo mecanismo se basa en tres partes básicas: Shank, Barras y Broca, siendo la primera la más afectada por los motivos mencionados en función a su mecanismo rotopercutivo. Se identificó las variables que se pueden controlar desde el inicio de la perforación. Corrigiendo la velocidad de penetración y la profundidad de los cortes.

La velocidad con que se penetra la roca, es decir la perforación, depende de muchos factores externos, tales como las propiedades físicas de la roca y la resistencia a la compresión. Si bien es difícil determinar la velocidad de penetración, ésta define un conjunto de parámetros de rendimiento de la operación minera.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

1.1. Descripción de la realidad problemática

La perforación del macizo rocoso dentro del campo de la explotación de minas es la primera operación que se realiza y esta tiene como finalidad abrir huecos. (Chirinos, 2015)

La problemática surge al detectar que durante este año 2017, en el área de perforación de la Mina Yanacocha se observa un decrecimiento en su producción como operación unitaria respecto a los años anteriores. Al hacer el seguimiento, se detecta que hay desgastes prematuros de brocas tricónicas en los tajos diversos de la mina, por lo cual esta condición no era favorable para lograr los objetivos de producción de Mina Modelo como de la parte de la operación unitaria de la misma.

Actualmente la Mina Yanacocha en Cajamarca busca una mayor productividad. Por lo cual, en el área de perforación de esta mina se busca relacionar la velocidad de penetración, desgaste de brocas triconicas y los costos que implican.

Los factores que intervienen en el costo total de perforación (TDC) son: metros perforados por el tricono, precio de la broca, costo horario de la perforación y la velocidad de penetración, este último factor que, al

incrementar en los diferentes terrenos operativos, probablemente permitirá reducir el TDC y la optimización en esta operación unitaria.

1.2. Delimitación de la investigación

1.2.1. Delimitación espacial

El proyecto de tesis se llevó a cabo en el distrito minero Yanacocha, de la provincia y departamento de Cajamarca.

1.2.2. Delimitación social

En el proyecto de tesis se contó con los trabajadores del área de perforación de la empresa minera Yanacocha.

1.2.3. Delimitación temporal

El estudio se llevó a cabo durante el año 2018 entre los meses de enero a abril en la cual se realizó el análisis de las campañas de perforaciones, para evaluar la velocidad de penetración.

1.2.4. Delimitación conceptual

Para la realización de esta tesis se define claramente el concepto de velocidad de penetración y así determinar su influencia en la perforación.

1.3. Problemas de investigación

1.3.1. Problema principal

¿Cómo influye la optimización de la velocidad de penetración en el proceso de perforación primaria en la mina Yanacocha, provincia y departamento de Cajamarca, en el año 2017?

1.3.2. Problemas secundarios

- ¿Cuáles son los parámetros de perforación adecuados para cada tipo de formación geológica que incrementarían la velocidad de penetración en la perforación primaria de la mina Yanacocha, provincia y departamento Cajamarca, en el año 2017?
- ¿Cuál es el desgaste de las brocas tricónicas al incrementar la velocidad de penetración en la perforación primaria de la mina Yanacocha, provincia y departamento Cajamarca, en el año 2017?
- ¿Cómo optimizar el Costo Total de Perforación (T.D.C), mediante la velocidad de penetración en la perforación primaria de la mina Yanacocha, provincia y departamento Cajamarca, en el año 2017?

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo general

Determinar la influencia de la velocidad de penetración en el proceso de perforación primaria en la mina Yanacocha, provincia y departamento de Cajamarca, en el año 2017.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar los parámetros de perforación adecuados por cada tipo de litología y así incrementar la velocidad de penetración en la perforación primaria de la mina Yanacocha, provincia y departamento Cajamarca, en el año 2017.

- Determinar el desgaste de las brocas tricónicas al incrementar la velocidad de penetración en la perforación primaria de la mina Yanacocha, provincia y departamento Cajamarca, en el año 2017.
- Evaluar la optimización del Costo Total de Perforación (T.D.C) al incrementar la velocidad de penetración en la perforación primaria de la mina Yanacocha, provincia y departamento Cajamarca, en el año 2017.

1.5. Hipótesis y variables de la investigación

1.5.1. Hipótesis general

La determinación de la influencia de la velocidad de penetración influye favorablemente en el rendimiento del proceso de perforación primaria en la mina Yanacocha, provincia y departamento de Cajamarca, en el año 2017.

1.5.2. Hipótesis secundarias

- Si se determina los parámetros de perforación adecuados para cada tipo de formación geológica se incrementará la velocidad de penetración en la perforación primaria de la mina Yanacocha, provincia y departamento Cajamarca, en el año 2017.
- Si se determinar el desgaste de las brocas tricónicas se optimizará costos e incrementará costos en el proceso de perforación primaria de la mina Yanacocha, provincia y departamento Cajamarca, en el año 2017.

- Al evaluar la optimización del Costo Total de Perforación (T.D.C) del incremento la velocidad de penetración se optimizará la perforación primaria de la mina Yanacocha, provincia y departamento Cajamarca, en el año 2017.

1.5.3. Variables

- Variable Independiente: Velocidad de penetración.
- Variable Dependiente: Perforación primaria.

1.5.4. Definición conceptual

- **Velocidad de penetración:** La velocidad con la que la barrena puede romper la roca. Esta velocidad se indica habitualmente en unidades de pies por hora o metros por hora. (Llaique y Sánchez, 2015)
- **Perforación primaria:** Es una de las actividades a la cual se le debe dedicar especial interés y estudio, para de esta manera obtener una explotación controlada y eficaz de un yacimiento. (Gonzáles, 2016)

1.5.5. Operacionalización de variables

Tabla 1
Operacionalización de las variables.

VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADOR
Velocidad de penetración	Largo del inserto	Medido en milímetros
	Constante de velocidad en perforación	1.4
	Velocidad de perforación	Revoluciones por minuto

	Constante de perforación	1000
Perforación primaria	La fuerza de empuje o Pulldown	Libras
	Velocidad de penetración	Metros/hora
	Revoluciones por minuto	Giro del cuerpo de la broca
	Desgaste de elementos de perforación	L = Desgaste Moderado
		M = Desgaste Medio
	H = Desgaste Fuerte	

Fuente: Elaboración propia, 2017.

1.6. Metodología de la investigación

1.6.1. Tipo y nivel de investigación

a) 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 "Influencia de la Velocidad de Penetración en el Proceso de Perforación Primaria en Minera Yanacocha, Cajamarca, 2017". A la que se aplican referentes del marco referencial y planteamientos teóricos directamente relacionados. (Hernández, Fernández y Baptista, 2010)

b) 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. (Hernández, Fernández y Baptista, 2010)

1.6.2. Método y diseño de la investigación

a) Método de investigación

Se aplicó el método experimental, ya que se aplica la observación de los problemas en perforación primaria en la mina Yanacocha. Con el pensamiento abstracto se elaboran las hipótesis y se controla la velocidad de penetración para probar la validez de las hipótesis. (Sabino, 1996)

b) 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 la influencia de la velocidad de penetración en el proceso de perforación primaria en la mina Yanacocha, los datos deben correlacionados contrastados seguir un proceso que nos lleve a la hipótesis general. (Hernández, Fernández y Baptista, 2010)

1.6.3. Población y muestra de la investigación

a) Población

Todos los equipos de perforación en el distrito Minero Yanacocha.

b) Muestra

Se analizaron los equipos de perforación Marca Ingersoll Rand Pit Viper 271, con un compresor de aire de tornillos de 2600 CFM a 110 psi y con barras de 8 5 /8" de diámetro.

1.6.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

a) Técnicas

- La técnica documental
La que permitirá la recopilación de información para enunciar las teorías que sustentan los procesos de perforación primaria.

- La técnica de campo
Mediante la cual permitirá la observación en contacto directo con el objeto de estudio, y el acopio de información referente a velocidad de penetración que permitan confrontar la teoría con la práctica.

b) Instrumentos

Los instrumentos a emplearse para la elaboración del presente trabajo de investigación serán:

- Instrumento para la técnica de campo: Se utilizarán tres instrumentos de campo que nos permitirán recolectar datos y se muestran a continuación.

- Instrumento de campo 1: Ficha de toma de datos básicos de las herramientas de perforación.

Tabla 2

Ficha de campo para herramientas de perforación.

Velocidad de perforación:

Vida Útil de aceros brocas:

Vida Útil de aceros barras:

Velocidad de barrido de detritus:

Consumo de combustible
perforadora:

- Instrumento de campo 2: Ficha de toma de datos referentes a la velocidad de penetración empleada acorde al tipo de roca.

Tabla 3*Datos para tomar en campo con respecto a velocidad de penetración.*

Diámetro Broca	Diámetro de Barra	Volumen de Aire Para 5,000 f/m BV	Volumen de Aire Para 7,000 f/m BV	Volumen de Aire Para 9,000 f/m BV
6 ¼	3 1/2 4			
	4 ½			
6 ¾	4			
	4 ½			
	5			
	6			
	6 ½			
	6 5/8			
9 7/8	7			
	6 5/8 7			
	7 5/8			
	8 5/8			
11	8 5/8			
	7 5/8			
	8 5/8			
	9 ¼			
13 ¾	10 ¾			
	11 ¾			
	12 ¼			
15	12 ¼			
	12 ¾			
16	13 3/8			
	13 3/8			

1.6.5. Justificación, importancia y limitaciones de la investigación

a) Justificación

Teniendo como base el costo total de perforación, este se verá reducido cuando la velocidad de penetración se incremente, esta optimización tendrá un gran impacto dentro el TDC.

El estudio, monitoreo y control de las herramientas de perforación, en especial el de las brocas tricónicas, ayudará a mejorar el rendimiento de cada una de estas, así como el de mejorar el diseño de la misma, esta mejora en el diseño también podrá mejorar la velocidad de penetración, reduciendo el costo de perforación para la operación minera.

Esta investigación servirá a la empresa minera porque se plantea una alternativa para incrementar la productividad mineras, asimismo sirve como base teórica para aquellas personas que busquen información en perforación minera.

b) Importancia

Esta investigación es importante para incrementar la productividad en las actividades de perforación primaria. Este incremento se verá reflejado en los costos.

El estudio de la velocidad de penetración es una herramienta importante que nos permitirá mejorar los parámetros de la perforación.

Este proyecto de investigación servirá como base para la realización de la tesis profesional para obtener el título de Ingeniero de Minas.

c) Limitaciones

- Hasta la actualidad no existen trabajos o documentos relacionados con el tema de nuestro proyecto; por lo tanto, no se puede hacer comparaciones profundas con situaciones detectadas con anterioridad, de manera que los resultados tendrán validez solo para el ámbito de estudio.
- El ingreso a la zona de estudio es con un permiso especial de la empresa y por un tiempo determinado, ya que la permanencia en la zona de trabajo está restringida, por ser un lugar peligroso y se encuentra en constante operación.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. A nivel internacional

En España, Madrid, en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía. En Departamento de Ingeniería Geológica y Minera, en el proyecto de fin de grado, titulado: “*Evaluación de los Parámetros de Perforación en Barrenos y Correlación con la Geología del Terreno*”, se concluyó que las variaciones de los parámetros de perforación nos proporcionan una gran cantidad de información casi instantánea pero que sólo aporta una idea para predecir las características del terreno (dureza y fracturas de la roca principalmente, pero no son valores cuantitativos). Es por ello, que no se puede hacer una relación fiel a la realidad con este sistema. Es cierto que los costes de operación son prácticamente despreciables, pero los costes de adquisición del equipo, licencias, puesta a punto y actualizaciones, procesado y análisis de datos... hacen que sea una tecnología cara y que precisa de otros sistemas (como los registros geofísicos) para calibrar el equipo y/o comparar resultados, es decir, se duplica trabajo. Las características de la perforación condicionan mucho los resultados, por lo que este tipo de tecnologías aplicada a pequeña escala (barrenos de voladura en bancos cortos, bulonaje, taladros de pequeño diámetro) no aportan mucha información y es por ello que su uso en estas

aplicaciones es más limitado. Para los diseños de voladuras no ha supuesto un gran avance, ya que es preciso conocer la geología antes de realizar los trabajos. (González, 2016)

En México, en la Universidad Nacional Autónoma de México. En la Facultad de Ingeniería, en la tesis titulada: “*Selección de Barrenas por Correlación*”, para optar el título de ingeniero petrolero, se concluyó que la selección de barrenas por correlación es una metodología sencilla y rápida con la cual se puede definir cada una de las características primarias y secundarias de las barrenas. En general, la selección de barrenas se realiza con el análisis de la información de los pozos vecinos. De los métodos presentados, el que analiza de manera más detallada la información y propone todas las características de las barrenas es el de Selección de Barrenas por Correlación. La litología es el parámetro que influye mayormente en la selección de barrenas, ya que son las características de las rocas las que determinan las características primarias y secundarias que deberán tener las barrenas para que presenten un buen desempeño. La principal ventaja del uso de la metodología de Selección de Barrenas por Correlación en comparación con el de los demás métodos es el de poder determinar las características secundarias de las barrenas, además de no ser necesario el uso de fórmulas; por otro lado, este método no es recomendable para pozos exploratorios ya que la cantidad de información dificulta el uso de este método. (De La Torre, 2015)

En Ecuador, Quito, en la Universidad Tecnológica Equinoccial. En la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, en el trabajo previo a la obtención del título de tecnólogo en petróleos, titulado: “*Elección de Brocas de Perforación en Pozos Petroleros de Acuerdo a las Características de las Formaciones y al Perfil del Pozo*”, se concluyó que, para perforar un pozo, la información que se puede

obtener de los pozos es: litología, parámetros operacionales, registros geofísicos, entre otros; es de vital importancia para diseñar el programa de brocas más óptimo. El conglomerado superficial (zona de cantos rodados) se debe perforar triturándolo, mediante el uso de brocas tricónicas de dientes de acero. La selección del tipo de broca se facilita conociendo la litología a perforar y características, tales como dureza, abrasión y composición permitirán establecer la estructura de corte más adecuada. El peso del lodo es la propiedad del fluido de perforación más influyente en el comportamiento hidráulico de las brocas, no se debe perforar con pesos elevados de lodo, a excepciones estrictamente necesarias, ya que pesos altos disminuyen la tasa de penetración. Un alto torque indica que la broca probablemente tenga algún daño en su estructura de corte o la inclinación del pozo está cambiando, se debe hacer una revisión de todas las herramientas usadas en el BHA, principalmente los estabilizadores, los cuales podrían estar generando dicho torque. Para que la estructura de corte se mantenga perforando a una óptima ROP se debe aplicar peso sobre la broca antes que aumentar la velocidad rotaria, tanto para la tricónica como la PDC, logrando además estabilizar la broca y evitar remolino. (Quilca, 2012)

2.1.2. A nivel nacional

En Perú, La Libertad, en la Universidad Nacional de Trujillo. En la Facultad de Ingeniería, en la tesis para optar el título profesional de ingeniero de minas, titulada: *“Desarrollo e Implementación de una Herramienta Informática para Reducir Costos Operativos en la Etapa de Perforación y Voladura en Labores Subterráneas de la Empresa Constructores Mineros Los Andes SAC –Marsa”*, se concluyó que, la malla de perforación optimizada con la herramienta informática de corte quemado o cilíndrico con 2 taladros de alivio, se logró aumentar el avance lineal de cómo es 6

pies (1.50-1.58), en perforación con barras de 8 pies se alcanzó hasta 2.16 metros , logrando un 98.5% de eficiencia. Se redujo los costos directos incurridos en la etapa de perforación y voladura, y se estableció los disparos de 8 pies en labores lineales, siendo poco común esta perforación en marsa, logrando estandarizar los disparos de 8 pies en los andes. Redujo la Sobre excavación o sobrerotura de un 19.72% a 7.39%, esto se producía debido al excesivo número de taladros de la malla de corte quemado con 01 taladro de alivio, y por consiguiente su excesiva carga de explosivo en los taladros, afectando a la roca y dañando demás las paredes y el techo de la labor. Se disminuyó el número de taladros perforados en 4 unidades, significando un menor tiempo de perforación, menor desgaste de aceros y martillos de perforación Reduciendo los costos generados por dicha actividad. Con la malla de perforación de corte quemado y/o cilíndrico con 2 taladros de alivio, el factor de carga disminuyó en un 4 % lo cual nos indica un ahorro de explosivo para el disparo de un frente. Por consiguiente, se logró mejorar el avance, estandarizar disparos de 8 pies en labores lineales, se logró reducir la incidencia de los disparos deficientes de 3.82% a 1.7% en la contrata minera los Andes, logró reducir costos de perforación teniendo en cuenta el análisis específico de materia prima utilizada; es decir, consumo de horas de perforadora, consumo de aceros y consumo de explosivo, eso nos arroja un resultado final de 118 soles por metro lineal. (De La Cruz y Rojas, 2016)

En Perú, Arequipa, en la Universidad Nacional San Agustín de Arequipa. En la Facultad de Geología, Geofísica y Minas, en tesis para optar el Título de Ingeniero de Minas, titulada: "*Control de Aceros de Perforación, Factores que Influyen la Vida Útil, su Relación con el Paralelismo y Profundidad en el Proyecto de Expansión K-115 JJC Contratistas Generales S.A. Sociedad Minera Cerro Verde*", se concluyó que, la relación entre el

paralelismo y la desviación de los taladros influyen directamente sobre el resultado de una voladura, sobre todo cuando la profundidad es mayor para cumplir con las metas programadas sin que el área de perforación se vea perjudicada por tiempos improductivos ocasionados por equipos con baja disponibilidad operativa. La fragmentación adecuada no sólo depende del explosivo que se va a utilizar, sino también del diseño de malla, se debe mantener las dimensiones de la misma por más que cambie el tipo o dureza de la roca para que las ondas actúen de forma similar en todos los tramos de la plataforma. Es muy complicado llevar un control preciso cuando se trata de aceros de perforación. Hay muchas variables que no se pueden controlar, pero que sí se pueden identificar para tener las herramientas de solución a la mano y así la producción no pare, sobre todo cuando por proceso constructivo el trabajo es concatenado. Se llegó a estandarizar la cantidad de explosivo y su disposición en el taladro para lograr la fragmentación deseada Z-1 (4 - 6 cartuchos de Senatel) y Z-2 (8 cartuchos de Senatel de 1 % de pulg y 20 % de carga con ANFO respectivamente) requerida para la construcción del dique. (Chirinos, 2015)

En Perú, Piura, en la Universidad Nacional de Piura. En la Facultad de Ingeniería de Minas, en tesis para optar el Título de Ingeniera de Petróleo, titulada: "*Optimización del Fluido de Perforación para Superar Problemas Potenciales en Perforación de Pozos en el Lote Z-1 Yacimiento Corvina - Región Tumbes*", se concluyó que, el caudal debe maximizarse dentro de la ventana de trabajo limitada por el máximo SPP y la ECD. La Velocidad de rotación de la broca (RPM), debe asegurarse una rotación mínima mientras se perfora de 70 rpm. Está demostrado, que este parámetro es una condición necesaria para limpieza de pozos de alto ángulo al permitir un mezclado eficiente de los recortes perforados en el seno del flujo del fluido y permitir su acarreo a la superficie. Nuevamente, hay que

tener en cuenta la excentricidad de la tubería en el pozo, la cual causa la distribución no uniforme de las velocidades en el espacio anular. Las píldoras de limpieza, la efectividad de las mismas será determinada por la inspección visual del Ing. luego de retomar la misma en zarandas, y cualquier ajuste de volúmenes, densidad o frecuencia de uso se hará en común acuerdo con el representante de la operadora en el pozo (Company Man). La perforación de este pozo aplicando nuevas tecnologías y las mejores prácticas de operacionales de perforación pueden asegurar el uso y distribución de los recursos de manera eficiente. El equipo de control de sólidos en la perforación de estos pozos con problemas debe ser muy eficiente para que ayude a que los ripios sean transportados de manera eficiente al tener alta presencia de arcillas. (Sánchez, 2015)

2.1.3. A nivel local

En Perú, Cajamarca, en la Universidad Privada del norte. En la Facultad de Ingeniería, en la tesis para optar el título profesional de ingeniero de minas, titulada: *“Estudio y Selección de los Métodos de Perforación y Voladura para Optimizar la Fragmentación de la Roca, en la Cantera Mitopampa, Cajamarca, 2016”*, se concluyó que los patrones propuestos parten del estudio de diferentes métodos de cálculo, siendo estos; El método Sueco, el método Konya, el método de proporcionalidad, el método propuesto por López-Jimeno y el método de Langefords, para estimar el tamaño de la fragmentación producto de la perforación y voladura. En tal sentido, se dedujo que el método propuesto por López-Jimeno es el más idóneo para el cálculo de un adecuado patrón de voladura. El informe de la investigación realizada consta de siete capítulos: introducción; marco teórico; hipótesis; descripción y generalidades de la cantera; materiales y métodos; desarrollo de actividades; resultados y discusión. En conclusión, el estudio y selección de los

métodos de perforación y voladura mejora la fragmentación de la roca, siendo más óptimo el método de López-Jimeno utilizado para el cálculo de un adecuado patrón de voladura en la cantera Mitopampa. (Becerra y Hernández, 2016)

En Perú, Cajamarca, en la Universidad Privada del norte. En la Facultad de Ingeniería, en la tesis para optar el título profesional de ingeniero de minas, titulada: *“Determinación del Costo Total de Perforación para Optimizar esta Operación Unitaria en Mina Modelo a Tajo Abierto, Cajamarca – Perú, 2015”*, se concluyó que, los factores que intervienen en el Costo Total de Perforación (TDC) son: precio de la broca (US\$), metros perforados (m), costo horario de la perforadora (US\$) y la velocidad de penetración (m/h); según los resultados obtenidos en el estudio, de los cuatro factores que intervienen en la determinación del TDC, el factor de mayor incidencia es el ROP (velocidad de penetración), porque tanto el TDC y ROP son magnitudes inversamente proporcionales. Además de los resultados de la investigación se obtuvieron porcentajes significativos de reducción del TDC en comparación de los valores históricos del TDC. Las brocas seleccionadas para el estudio realizado, corresponde a la marca PDB Tools. Inc., modelos EX 722, EX 712 y EX 532, todas ellas con diámetros de 10 5/8”. Esta selección se realizó al evaluar su alta tecnología de diseño, para ser sometida a las exigentes condiciones de los diferentes tipos de rocas que presenta la mina, estas brocas son ideales para perforación rotativa ya que ofrecen tasas de penetración más rápida, mayor vida útil, buena protección contra el desgaste, los cuales, son beneficios necesarios en el proceso de optimización de la producción en Mina Modelo. Para optimizar la operación unitaria, es necesario observar todo el sistema de perforación rotativa como un conjunto, es decir, realizar las mediciones de los factores que intervienen en la fórmula del TDC y llevar un control de los parámetros de perforación, los cuales conllevan a la determinación

y reducción del TDC. Esto significa, que, según estimaciones, por determinados periodos y cantidades de taladros, podemos obtener un ahorro mensual estimado de 48 000 US\$ para terrenos duros y 34 000 US\$ para terrenos medios, trabajando 40 000 metros perforados al mes según lo planificado en la Mina Modelo. (Llaique y Sánchez, 2015)

En Perú, Cajamarca, en la Universidad Nacional de Cajamarca. En la Facultad de Ingeniería, en la tesis para optar el título profesional de ingeniero civil, titulada: “*Rendimiento de Mano de Obra en la Construcción de Accesos y Plataformas de Perforación en el Proyecto Minero La Granja · Cajamarca 2013-2014*”, se concluyó al evaluar el rendimiento considerado por Minera, CAPECO, RM N°175 y los obtenidos en la Investigación se concluye que están en la relación del 82.86% al 94.61%. De la evaluación y análisis realizado para las actividades en estudio se concluye que los rendimientos de la mano de obra obtenidos en la Investigación resultaron ser menores a los rendimientos usados por Minera; por lo que se concluye que se necesitó mayor cantidad de horas hombres para la realización de las actividades programadas en obra. Al evaluar lo rendimientos promedios globales obtenidos en la Investigación y al relacionarlo con los establecidos en CAPECO, RM N°175 y Minera se concluye que están por encima del 100% y no al 70% como se planteó en la hipótesis. Del análisis realizado para la subpartida Eliminación de Material Excedente (Pad - 369 A), se concluye que se necesitó 0.683 hH por cada m³ de material transportado en carretilla para los 35m adicionales. Del análisis realizado para la actividad Excavación Manual En Roca Suelta, el rendimiento que se obtuvo en Huánuco es menor al rendimiento promedio global obtenido en obra (Cajamarca) cuya relación es 62.56%. (Becerra, 2014)

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Velocidad de penetración

Este término es usado para determinar el rendimiento de las perforadoras y se mide mediante los metros perforados durante un tiempo determinado, es decir metros por horas o metros por minutos.

El que determina las velocidades máximas de perforación es la broca o tricono que estemos usando, esta es nuestra limitante es por eso que debemos escoger adecuadamente la broca para el tipo de terreno en el vamos a trabajar.

La tasa de penetración depende las siguientes variables (Chirinos, 2015):

- Presiones en el pozo y tipo de formación.
- Tipo de barrena y su diseño.
- Peso aplicado sobre la barrena
- Velocidad de rotación de la barrena.
- La hidráulica en la perforación.
- Tipo y control del lodo.

2.2.1.1. Factores que afectan la velocidad de penetración

a. Tipo de formación

Los costos de perforación dependen de los proyectos de la localización y de la profundidad. En relación a la profundidad. Ésta es gobernada por la litología que debe ser penetrada. La tasa de penetración que puede ser ganada en varias formaciones varía en proporción inversa con la comprensibilidad de la roca y esfuerzo de corte. Sin embargo, sobre el factor del tipo de formación

que se perfora tenemos muy poco control con respecto a la dureza y condiciones abrasivas, pero cada día se sabe más sobre la mecánica de las rocas, tal como se muestra en la figura 1. (Chirinos, 2015)

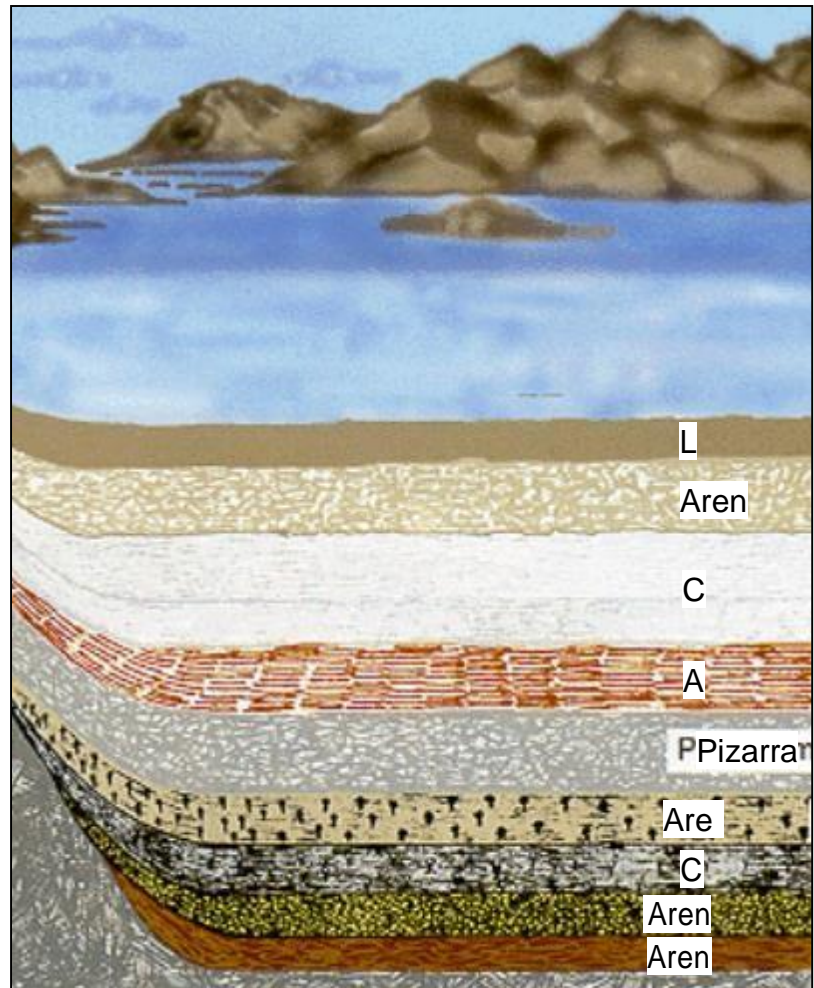


Figura 1: Estratos definidos con el tipo de formación.

Fuente: Chirinos. (2015).

b. Presiones en el pozo

Los esfuerzos de la roca tienden a incrementar con la profundidad al profundizar, debido al confinamiento de presión causado por el peso de la sobrecarga de los estratos. Las presiones existentes en el hoyo cuando se perfora son:

- Presión hidrostática: Es la presión ejercida por el peso de una columna de fluido en función a la densidad del fluido y longitud de la columna del mismo. Para su cálculo en el pozo se aplican las siguientes fórmulas.

En pozos verticales:

$$Ph = \frac{Dl \cdot Prof}{10}$$

Donde:

Ph = Presión hidrostática, en Kg/cm².

DI = Densidad del fluido o lodo, en gr/cm³.

Prof = Profundidad o longitud de la columna de fluido, en m.

En pozos direccionales:

$$Ph = \frac{Dl \cdot P.V.V}{10}$$

Donde:

Ph = Presión hidrostática, en Kg/cm².

DI = Densidad del fluido o lodo, en gr/cm³.

P.V.V = Profundidad vertical verdadera o real, en m.

El uso de esta profundidad, se debe a que el peso, hablando físicamente es una fuerza con que los cuerpos son atraídos (dirección vertical) hacia el centro de la tierra. (Sánchez, 2015)

- Presión de sobrecarga: Es la presión ejercida por el peso combinado de la matriz de la roca.
- Presión de formación: Una condición muy importante en la relación entre estas variables es la de conseguir un control de pozo tanto en estado estático como dinámico o circulando, bien sea

perforando o no con el fin de mayor avance o mayor tasa de penetración (ver figura 2). Las definiciones y características de cada tipo de presión se verán con mayores detalles en los tópicos de métodos de control de arremetidas. Se ha concluido que la tasa de penetración decrece si aumentamos en exceso a la presión hidrostática; pero depende más aun de la presión diferencial entre la presión hidrostática y la presión de la formación. (Sánchez, 2015)

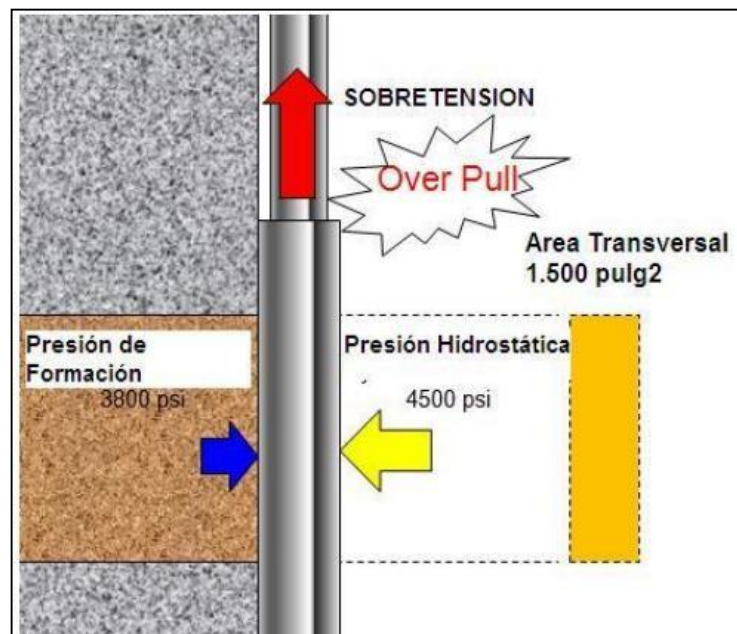


Figura 2: Presiones que intervienen en la velocidad de penetración.

Fuente: Sánchez. (2015).

2.2.1.2. Tipo y diseño de la barrena para mejorar la velocidad de penetración

Sabemos que algunas barrenas trabajan triturando la roca, y otras raspando las paredes y el fondo del hoyo. La mayoría de la barrena, sin embargo, está dotada de estas dos características, y el máximo rendimiento en la perforación depende de la elección de la barrena apropiada, según las condiciones de la formación (ver

figura 3). La selección de barrenas no es sencilla ya que se basa en un estudio de los pozos perforados en esa área y un análisis de los costos por pie. En los recientes años esta selección se ha vuelto más compleja debido a la extensa variedad de sus diseños, sin embargo, con el uso del computador la optimización de barrenas de perforación mediante análisis de costo por pie, se pueden obtener los programas de barrenas. (Sánchez, 2015)

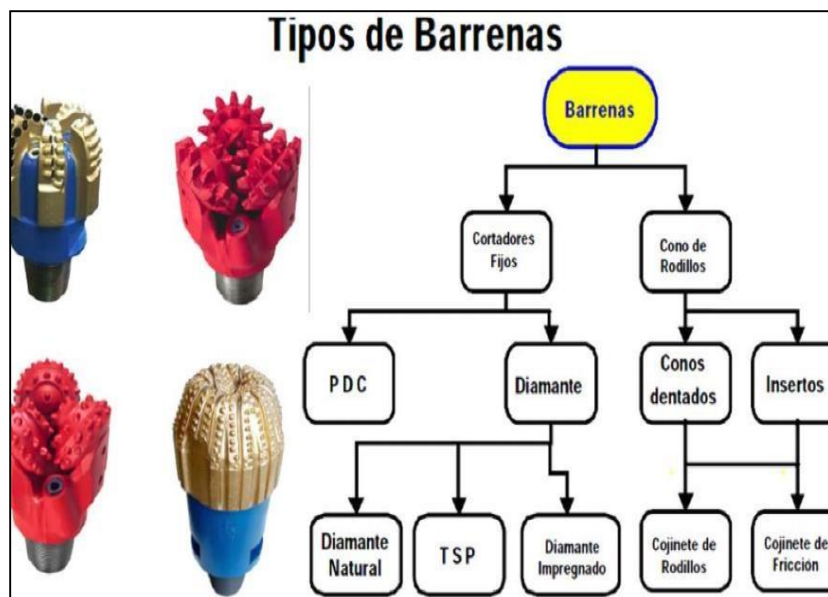


Figura 3: Tipos de barrenas.

Fuente: Sánchez. (2015).

a) Peso aplicado sobre la barrena

Se sabe por experiencia que la tasa de penetración aumenta a mayor peso y a mayor velocidad de rotación. No obstante, esta regla no siempre se cumple si tomamos en cuenta lo siguiente:

- Más peso y mayor velocidad de rotación acelera usualmente el desgaste en las partes de la barrena al producir mayor vibración.
- Esto no se cumple muy eficientemente si la limpieza es pobre.

- El excesivo peso sobre la barrena, puede producir desviación y falla de la tubería de perforación. Esto también depende tanto de las condiciones del hoyo referente a la aplicación hidráulica y las propiedades del lodo como de la naturaleza de la formación que se perfora. (Sánchez, 2015)

b) La hidráulica en la perforación

La perforación de pozos petroleros requiere de una hidráulica que cumpla con los objetivos de mejorar la eficiencia de la barrena y proveer un eficiente acarreo de los recortes de formación a la superficie. El sistema hidráulico está integrado por el equipo superficial, la sarta de perforación, y el espacio anular. El cálculo hidráulico en este sistema define el diámetro óptimo de las toberas de la barrena, con el cual se obtendrá la potencia hidráulica del flujo del fluido de perforación que promueva la óptima remoción de recortes, incremento en la velocidad de penetración y en la vida de la barrena. En consecuencia, una reducción en el costo total de la perforación. (Sánchez, 2015)

c) Tipo de lodo y su control

Se debe contar con un lodo que permita la aplicación hidráulica eficiente y que imparta condiciones favorables al hoyo para permitir una mayor tasa de penetración. Un aspecto también importante que se puede mencionar, aquí es la aplicación de tácticas o maniobras para atacar problemas potenciales en las operaciones de perforación. (Sánchez, 2015)

- Problemas de desviación de pozos.
- Problemas de pérdidas de circulación.
- Problemas de atascamiento de tubería.
- Derrumbes del hoyo.
- Descontrol del pozo. (Presiones anormales).
- Altas temperaturas.
- Falla de tubería.

d) Factores de formación

La mayoría de las barrenas de roca trabajan bien en casi todas las formaciones. A fin de obtener la cantidad de pies perforados y las tasas de penetración máxima para así bajar los costos de perforación, se debe seleccionar un tipo de barrena de roca diseñada para la formación específica que se va a perforar. Las barrenas de dientes de acero son útiles para formaciones blandas, medianamente blandas y de dureza media. Una barrena de roca con cortadores de rodillo puede usarse en formaciones blandas plásticas si la barrena tiene dientes largos y bien separados con suficiente acción de raspaduras en el fondo. Esta acción se obtiene por la excentricidad de los conos, pero también es importante que los dientes estén bien separados para evitar el embolamiento de la barrena. El embolamiento ocurre cuando la formación se empaqueta muy apretada entre los dientes, tal que la corriente de lodo no logra mantenerlos limpios. Los dientes, también, deben ser tan largos como sea posible para permitir la máxima penetración en la formación, obteniendo de esta manera cortes grandes. Estas barrenas se rotan normalmente algo rápido, de 200 a 250 rpm; y el tiempo de rotación puede ser tanto como 30 horas. En formaciones blandas con frecuencia

se encuentra arena, por esto, los dientes sefortifi can contra la abrasión aplicándoles carburos de tungsteno (ver figura 4). Las barrenas de dientes de acero diseñadas para formaciones medianamente blandas utilizan algunas de las mismas características de diseño usadas para formaciones blandas. (Sánchez, 2015)



Figura 4: Mecanismos de corte en formación.
Fuente: Sánchez. (2015).

La excentricidad es empleada en un menor grado para darle a los dientes una acción de raspadura y torcedura en el fondo del hoyo. Para este tipo de formación, los dientes usados en las barrenas son un poquito más cortos, debido a que la penetración de los mismos no es tan grande como en las rocas blandas. Se necesitan más dientes un poquito más fuertes para una vida más larga, pero manteniendo espacio para que el fluido remueva los cortes fácilmente. Debido a que la formación puede ser abrasiva, las superficies de los dientes y de los conos se revisten con un material duro.

Las formaciones de dureza media tales como caliza dura, dolomitas y lutitas duras son demasiado duras y quizás demasiado abrasivas para los diseños de

barrenas de dientes de acero discutidos anteriormente. Los dientes no penetran muy profundo en este tipo de roca, pero estas pueden ser astilladas y trituradas por la aplicación de una acción de torsión moderada. Por eso, a los conos de la barrena para este tipo de formación se les da una pequeña cantidad de excentricidad. Los dientes están menos espaciados y sin interrupción porque la ventilación no es necesaria. Para formaciones que son abrasivas y de resistencia relativamente baja, a los flancos de los dientes se les aplica revestimiento duro para fortificarlos contra el desgaste. En las formaciones que tienen alta resistencia a la compresión y que requieren bastante peso para triturarse y desmenuzarse efectivamente, máximo rendimiento se puede obtener sin revestimiento duro de los dientes. (Sánchez, 2015)

2.2.2. Perforación primaria

Para esta operación se necesita Perforadoras marca Ingersoll Rand modelo DM-45E. Las cuales perforan taladros verticales de 77/8" de diámetro y 8.00 mts. de profundidad (perforación efectiva).

El área de planeamiento determina las mallas a utilizarse de acuerdo al tipo de material y dureza de la roca, a continuación, el área de topografía replantea en campo dichas mallas.

Para el diseño de mallas se toman en consideración el tipo de material, la dureza y ubicación del proyecto, tal como se muestra en la tabla 6. El diseño de las mallas es de forma triangular y tenemos (Gonzáles, 2016):

Tabla 5
Tipos de malla y sus características.

MALLAS DE PERFORACIÓN		
ID	MALLA	CARACTERÍSTICAS
1	4.5 x 5.2	Crestas de alta fractura y congelado
2	4.8 x 5.5	Crestas fracturadas
3	5.2 x 6.0	Zona dura, fractura media
4	5.5 x 6.3	Dureza media
5	5.8 x 6.7	Dureza suave
6	6.1 x 7.0	Desmonte argilico

Fuente: Gonzáles, (2016).

2.2.2.1. Equipo de perforación

- a. Especificaciones técnicas perforadora Ingersoll Rand Modelo DM-45E HP montaje y sistemas de propulsión: Hay dos sistemas de montaje para las perforadoras rotativas: sobre orugas y sobre neumáticos, los factores que influyen en la elección de un tipo u otro son las condiciones de terreno y el grado de movilidad requerido. Las perforadoras montadas con orugas de teja, tipo tractor, son útiles en terrenos difíciles y accidentados, sin embargo, su principal inconveniente es su baja velocidad de traslación. Pero en las grandes operaciones de equipos se desplazan poco debido a que perforan gran cantidad de taladros en un solo nivel. (Quilca, 2012)

- b. Fuentes de energía: Las fuentes principales de energía pueden ser: motores diesel o eléctricos. Las perforadoras con un diámetro de perforación por encima de los 9" (230mm) están generalizadas en

empleo de energía eléctrica a media tensión, alimentando la perforadora con corriente alterna mediante cable de cuatro conductores con recubrimiento de goma. (Quilca, 2012)

- c. Sistemas de rotación: Con el fin de hacer girar las barras y transmitir el par, las perforadoras llevan un sistema de rotación montado generalmente sobre un bastidor que se realiza a lo largo del mástil de la perforadora. El sistema hidráulico consiste en un circuito cerrado con la bomba de presión constante y un convertidor de par con el que se logra variar la velocidad de rotación del motor hidráulico, situado en la cabeza situada en la cabeza de sarta de perforación. (Quilca, 2012)
- d. Sistemas de empuje y elevación: Para obtener una buena velocidad de penetración en la broca es precisó un determinado empuje, que depende tanto de la resistencia de la roca como del diámetro del barreno que se pretende perforar. Como el peso de las barras no es suficiente para obtener la carga precisa, se hace necesario aplicar fuerzas adicionales que suelen transmitirse casi exclusivamente a través de energía hidráulica. (Quilca, 2012)

Existen básicamente cuatro sistemas:

- Cremallera y piñón directo.
- Cadena directa.
- Cremallera y piñón con cadena.
- Constituido con uno o dos cilindros accionados hidráulicamente.

- e. Mastil o cambiador de barras: La estructura del mástil que soporta las barras y la cabeza de rotación, debe estar diseñada para resistir las flexiones debidas al peso, el esfuerzo de empuje y las tensiones originadas por el par de rotación. La perforación inclinada suele ser perjudicial por los esfuerzos de fatiga a los que se somete al mástil y a las barras, además de la disminución de la capacidad de empuje y dificultad en la evacuación del detritus.

Los equipos disponen de sistemas del tipo bandeja de una a tres barras normalmente, o del tipo revolver que con más de cuatro barras tienen una capacidad de perforación de 50-60 metros.

El accionamiento es hidráulico ambos sistemas, os tiempos invertidos en lo cambios de barras oscilan entre los 2 y los 6 minutos por cada una de ellas. (Quilca, 2012)

- f. Sistema de evacuación de los detritus: El aire comprimido cumple las siguientes funciones:
- Enfriar y evacuar los cojinetes del tricono.
 - Limpiar el fondo del barreno.
 - Elevar el detritus con una velocidad ascensional adecuada.

El aire circula por un tubo del compresor al mástil y desde este, por manguera flexible protegida, a la cabeza de rotación, donde pasa al interior de la barra de perforación que lo conduce hasta la broca, saliendo entre los conos para producir la remoción de los detritus elevándolos hasta la superficie. Si los trozos

son grandes y el caudal de aire insuficiente vuelve a caer en el fondo, produciéndose su remolienda hasta alcanzar el tamaño adecuado para ascender.

La falta de aire produce así un consumo de energía innecesario, una menor velocidad de penetración y un mayor desgaste de la broca. Por el contrario, si la velocidad ascensional es muy alta aumentan los desgastes en el centralizador y en las barras de perforación. Si se conoce la densidad de la roca y el diámetro de las partículas, pueden aplicarse dos fórmulas para calcular la velocidad ascensional mínima. (Quilca, 2012)

2.2.2.2. Mecanismos de rotura de la roca

a) Abrasión

Esta es una ilustración de la primera fase de la fractura de la roca, la cual llamamos abrasión. Esta fase es el resultado del poco peso aplicado a la broca, los insertos están en contacto con la roca con una baja presión en la broca, esta genera pequeñas fisuras alrededor del inserto, como se muestra la figura 5. (De La Torre, 2015)

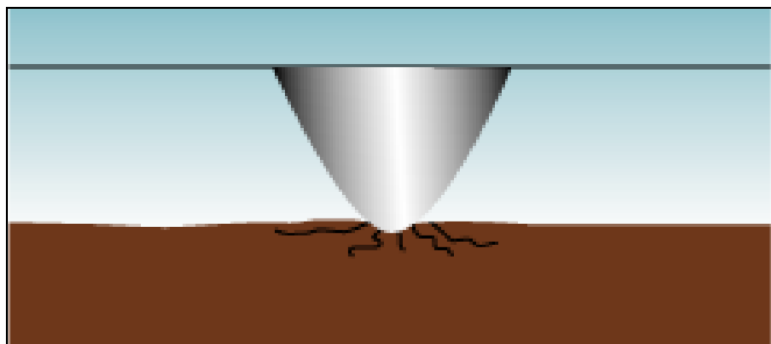


Figura 5: Fase de Abrasión.
Fuente: De la Torre, (2015).

b) Fatiga (Abrasión profunda)

Es este momento se agrega mayor peso sobre la broca combinado con un bajo RPM, esto causa una mayor penetración del inserto dentro de la roca generando fisuras más persistentes (ver figura 6), pero estas no se llegan a conectar entre filas de insertos, y la roca no se llega a romper, a esta fase la llamamos fatiga. (De La Torre, 2015)

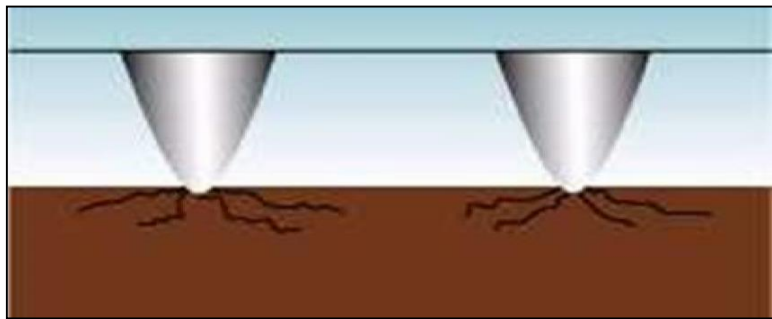


Figura 6: Fase de fatiga.
Fuente: De la Torre, (2015).

c) Spalling (Generación de chips poco profundos)

En este momento la velocidad de rotación es la misma, pero el suficiente peso es aplicado sobre la broca, y este genera una efectiva penetración del inserto logrando que las fisuras generadas se crucen entre las filas de insertos, tal como se muestra en la figura 7. (De La Torre, 2015)

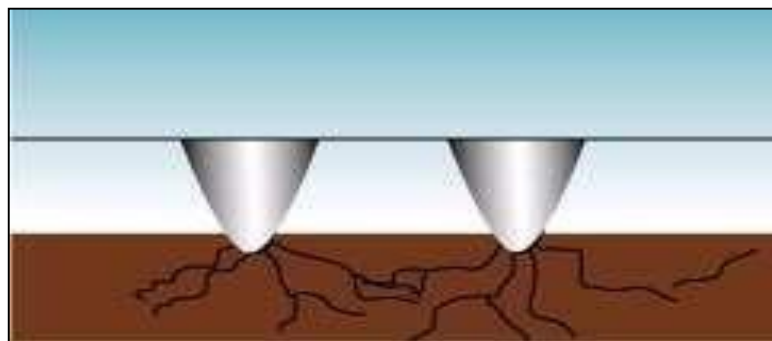


Figura 7: Fase Spalling.
Fuente: De la Torre, (2015).

d) Deep Spalling (Generación de chip profundos)

En esta fase, los insertos alcanzaron la velocidad de rotación y presión en la broca óptimos, los cuales provocan la fractura de la roca en pequeños chips, los cuales, por la ayuda de la circulación de aire, logran ser evacuados fuera del taladro, es necesario notar que en esta fase las fisuras generadas por la penetración de los insertos dentro de la roca (ver figura 8), se cruzan entre los insertos y entre las filas. (De La Torre, 2015)

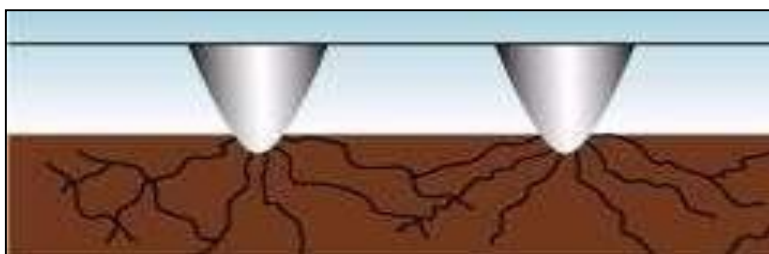


Figura 8: Fase Deep Spalling.
Fuente: De la Torre, (2015).

e) Exceso de presión

Cuando alcanzamos la fase de Deep Spalling, si aplicamos peso adicional, provocaremos una penetración ineficiente, este peso adicional aplicado causará que los insertos se introduzcan totalmente dentro de la roca, reduciendo la velocidad de penetración y erosionando prematuramente la superficie del cono, como se muestra en la figura 9. (De La Torre, 2015)



Figura 9: Exceso de peso.
Fuente: De la Torre, (2015).

2.2.3. Evaluación del desgaste de las brocas tricónicas

El desgaste de una broca nos indica el estado o las condiciones en las que está trabajando el equipo de perforación, la eficiencia del operador del equipo, el estado del compresor de aire y condiciones de la línea de aire, los parámetros de la perforación, y la condición de la columna de perforación, a continuación, se describe las principales características del desgaste que se presentan en la perforación de pozos en minería. (Becerra, 2014)

a. BC, Cono Roto (Broken Cone): Describe a una broca con uno o más conos rotos en dos o más piezas, pero con la mayoría del cono intacto. El cono roto puede ser causado por (Becerra, 2014):

- Interferencia de conos, cuando los conos chocan unos contra otros después de la falla del rodamiento (ver figura 10).
- Cuando se deja caer la columna de perforación.



Figura 10: Cono roto.
Fuente: Becerra, (2014).

b. BT, Inserto Roto (Broken Teeth): En algunas formaciones el BT es una característica normal del desgaste del Carburo de Tungsteno y no necesariamente un indicador de problemas con la selección de brocas, sin embargo, si rendimiento de la broca no es el adecuado, los insertos rotos nos indican la necesidad de utilizar un amortiguador (ver figura 11), exceso de Pulldown o RPM o inapropiada aplicación de la broca, las causas del BT pueden ser (Becerra, 2014):

- Golpe de la columna de perforación en el fondo del pozo.
- Excesivo peso sobre la broca.
- Formación muy dura para el tipo de broca.



Figura 11: Insertos rotos.
Fuente: Becerra, (2014).

c. CC, Cono Fisurado (Cracked Cone): El cono fisurado es el inicio de cono roto o pérdida total del cono y tiene varias causas posibles (ver figura 12), algunas de ellas son:

- Golpe de la columna de perforación en el fondo del pozo.
- Sobrecalentamiento del cono.
- Erosión del cuerpo del cono.



Figura 12: Cono fisurado.
Fuente: Becerra, (2014).

d. CD, Cono Atracado (Cone Dragged): Este desgaste nos indica que uno o más conos no giraron durante la perforación, originando un desgaste plano en la superficie de contacto con la roca (ver figura 13), las causas principales son:

- Falla de los rodamientos en uno o más conos.
- Broca golpeada en el fondo causando interferencia de conos.
- Bloqueo de los conductos de aire para la refrigeración de los conos.



Figura 13: Cono arrastrado.
Fuente: Becerra, (2014).

e. CI, Interferencia de Cono (Cone Interference): La interferencia de conos a menudo generan una cavidad en forma de anillo provocado por los insertos del cono adyacente (ver figura 14), algunas de las causas son:

- Broca Golpeada en el fondo.
- Falla de rodamientos en un cono o más.



Figura 14: Interferencia de conos.
Fuente: Becerra. (2014).

f. CR, Pérdida de Narices (Cored): La pérdida de narices se origina con la pérdida de los insertos de la nariz causando la posterior pérdida de la nariz (ver figura 15), algunas de las causas son:

- Formaciones muy abrasivas.
- Desgaste del cuerpo del cono ocasionando pérdida de los insertos.
- Golpe en el fondo del pozo ocasionando rotura de los insertos de la nariz.
- Bajo volumen de aire causando erosión del cuerpo del cono.



Figura 15: Pérdida de nariz.
Fuente: Becerra, (2014).

- g. CT, Inserto Fragmentado (Chipped Teeth): Usualmente el inserto fisurado es el inicio de los insertos rotos (ver figura 16), un inserto se considera fragmentado cuando parte considerable del mismo permanece con proyección sobre el cuerpo del cono, las causas comunes son:

- Cargas de impacto durante la perforación.
- Interferencia de conos.



Figura 16: Inserto fragmentado.
Fuente: Becerra, (2014).

- h. ER, Erosión (Erosión): La erosión es causada por la reducción del cuerpo del cono, logrando exponer los insertos provocando la pérdida o ruptura de insertos (ver figura 17), la erosión puede ser causada por:

- Formaciones abrasivas que tienen contacto con el cuerpo del cono que está entre los insertos, causado por el encarrilamiento, desgaste fuera de centro o excesivo peso sobre la broca.
- Excesivas revoluciones de la broca, perforación de alta velocidad de penetración.
- Excesiva fuerza de limpieza en el fondo del pozo.

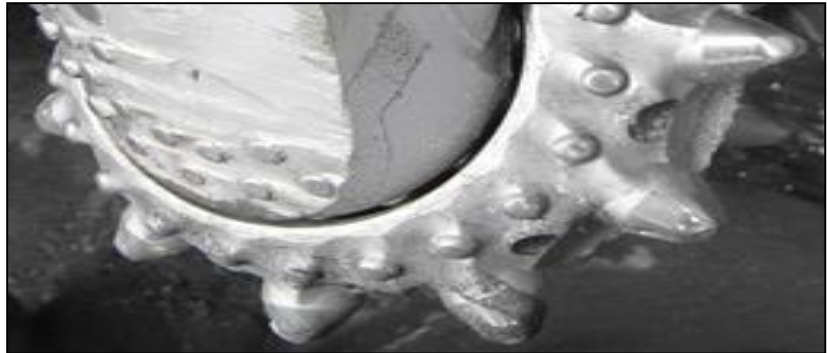


Figura 17: Erosión.
Fuente: Becerra, (2014).

- i. FC, Desgaste Plano de Inserto (Flat Crested): Se presenta con la reducción de la proyección del inserto con un desgaste plano característico cuando no se aplica el pulldown adecuado para romper la resistencia a la compresión de la roca (ver figura 18), las causas relacionadas a este desgaste son:

- Bajo peso sobre la broca y alta RPM en formación dura
- La broca seleccionada es muy suave para la formación rocosa a perforar.



Figura 18: Desgaste plano.
Fuente: Becerra, (2014).

- j. HC, Piel de Lagarto (Heat Checking): Las marcas por calentamiento o piel de lagarto ocurren cuando el inserto es sobrecalentado (ver figura 19), contra la roca durante la perforación y posteriormente es rápidamente enfriado por la inyección de agua usada para suprimir el polvo, el HC generalmente ocurre en formaciones duras y abrasivas, no siempre es causa de rotura de insertos.
- Exceso de RPM en formaciones duras y abrasivas.



Figura 19: Marcas de calentamiento.
Fuente: Becerra, (2014).

- k. LC, Pérdida del Cono (Lost Cone): Es posible la pérdida de un cono o más debido a muchas causas, la única excepción para denominar la pérdida del cono cuando este no se encuentra sujetado a la pata (ver figura 20). Las causas frecuentes son:
- Golpe de la broca en el fondo del pozo.
 - Falla del rodamiento, causando la falla del sistema de retención del cono.



Figura 20: Pérdida de cono .
Fuente: Becerra, (2014).

- I. LT, Pérdida de Insertos (Lost Insert): La pérdida de insertos se produce cuando el inserto es removido por completo de la cavidad del cono (ver figura 21), esto es causado por:
- Erosión del cuerpo del cono.
 - Fisura o fractura del cono.



Figura 21: Pérdida de insertos .
Fuente: Becerra, (2014).

- m. PN, Boquilla Obstruida (Plugged Nozzle): Esta característica no describe el desgaste de la estructura de corte, pero es muy importante para determinar información sobre el rendimiento de

la broca, una boquilla obstruida, ocasiona una inapropiada limpieza del fondo del pozo (ver figura 22), esta obstrucción puede ser causado por:

- Materia desprendida de los conductos de aire del compresor.
- Material dejado en el interior de la barra de perforación antes de ser instalada.



Figura 22: Boquilla obstruida.
Fuente: Becerra, (2014).

n. RG, Redondeo de Insertos (Rounded Gauge): Esta describe el desgaste experimentado en la fila del calibre, los insertos presentan un desgaste en forma redondeada (ver figura 23), las causas de este desgaste son:

- Formación abrasiva.
- Exceso RPM.
- Perforación en un pozo de menor diámetro.
- Broca muy suave para la formación perforada.

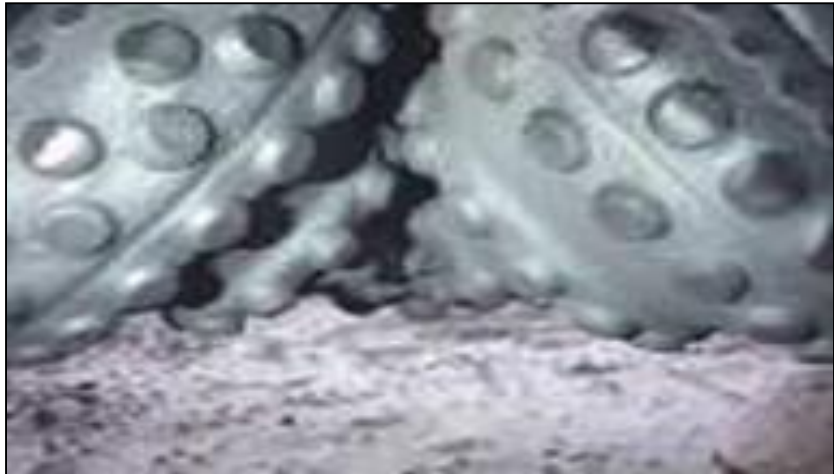


Figura 23: Redondeo del calibre.
Fuente: Becerra, (2014).

- o. SD, Daño de Faldón (Shirttail Damage): Este no es un desgaste de la estructura de corte, el desgaste de la pata se produce por la falla de los rodamientos (ver figura 24), algunas causas son:
 - Golpe en el fondo del pozo.
 - Broca apretada causando que se exponga la pata y tenga contacto directo con la pared del pozo.



Figura 24: Daño de faldón.
Fuente: Becerra, (2014).

p. OC, Desgaste fuera de Centro (Of Center Wear): La principal característica es el desgaste que se presenta entre filas de insertos, las cavidades de alojamiento de los insertos son expuestas (ver figura 25). Las causas son:

- Eje de perforación fuera de centro.



Figura 25: Desgaste fuera de centro.
Fuente: Becerra, (2014).

2.3. Definición de términos básicos

- **Barrena:** Herramienta que se usa para perforar. La parte de una herramienta de perforación que corta la roca. (Becerra, 2014)
- **Barreno:** Agujero practicado en una roca, que se rellena de pólvora u otro explosivo, para hacerla volar. (De La Torre, 2015)
- **Broca:** Es una pieza metálica de corte que crea orificios circulares en diversos materiales cuando se coloca en una herramienta mecánica como taladro, berbiquí u otra máquina. Su función es formar un orificio o cavidad cilíndrica. (Sánchez, 2015)

- **Depósito mineral:** Concentración natural de material valioso que puede ser extraído y vendido con una ganancia. (De La Cruz y Rojas, 2016)
- **Empuje:** El empuje aplicado sobre la broca o bit debe ser suficiente para sobrepasar la resistencia a la compresión que opone la roca, pero no debe ser excesivo, puesto que puede causar fallas en todo el sistema de perforación, como el "atascamiento" de las barras. (González, 2016)
- **Explotación minera:** Actividades relacionadas con un depósito mineral que empiezan en el punto en que se puede estimar de manera razonable que existen reservas económicamente recuperables y que, en general, continúan hasta que la producción comercial empieza. (Quilca, 2012)
- **Labores de preparación:** Se refiere a los trabajos realizados en una mina, previos, para su extracción, mediante la construcción de socavones, guías, sobreguías, tambores, pozos verticales, inclinados, cruzadas, vías de transporte o mediante remoción del estéril de cobertura y minería parcial. (Becerra y Hernandez, 2016)
- **Perforación:** Es la operación que se realiza con la finalidad de abrir huecos en el macizo rocoso, con una distribución y geometría adecuada, en donde se alojarán cargas explosivas. (Chirinos, 2015)
- **Perforación diamantina:** Perforación rotatoria de roca que corta una muestra de roca que se recupera en secciones cilíndricas largas de dos centímetros o más de diámetro. (Quilca, 2012)
- **Revoluciones por minuto:** La velocidad con que se va penetrando la roca (velocidad de penetración) es directamente proporcional a las

revoluciones por minuto, en una proporción algo menor que la unidad, hasta el límite impuesto por la evacuación de detritos. (Chirinos, 2015)

- **Roca:** Una masa que contiene una combinación de minerales. (De La Torre, 2015)
- **Velocidad de penetración:** La velocidad con que se penetra la roca (perforación) (Quilca, 2012)

CAPÍTULO III: PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

3.1. Aspectos generales de la mina

3.1.1. Ubicación y accesibilidad

Minera Yanacocha es la productora de oro más grande de América del Sur, situada a gran altura sobre la Cordillera de los Andes Peruanos, a 48 kilómetros (30 millas) al norte de la ciudad de Cajamarca. La misma está compuesta por cinco tajos a cielo abierto, cuatro plataformas de lixiviación y tres plantas de recuperación de oro.

El accionariado de Minera Yanacocha está compuesto de la siguiente forma:

- Newmont Mining Corporation, con sede en Denver, Estados Unidos (51.35% de las acciones).
- Compañía de Minas Buenaventura, empresa peruana (43,65%) Compuesta por más de 2800 socios que comparten acciones de esta compañía.

- Corporación Financiera Internacional (IFC), brazo financiero del Banco Mundial (5%), la presencia del Banco Mundial garantiza la exigencia de los estándares más altos en seguridad, medio ambiente y responsabilidad social.

Newmont comenzó a explorar en Perú en 1982 y a producir a fines de 1993. La mina vendió 1,6 millones de onzas de oro en el 2004 e informó una reserva de 12,1 millones de onzas de oro para finales de ese año. Las reservas son estimaciones de depósitos de oro que pueden ser extraídos de manera lucrativa.

Minera Yanacocha posee un plantel que incluye 2.303 empleados permanentes de la mina y hasta 6.745 contratistas, que viven junto a sus familias en la ciudad de Cajamarca. Cerca de 104 empresas locales de bienes y servicios son proveedoras directas de Minera Yanacocha. Las operaciones están en una zona que cuenta con 65 comunidades cercanas con 20 000 habitantes, beneficiados por los proyectos de salud, educación, saneamiento e infraestructura impulsados por la empresa minera.

El depósito de oro y plata “Cerro Yanacocha”, es uno de los varios depósitos de alta sulfuración en el distrito de Yanacocha. Este distrito está localizado en un cinturón volcánico Cenozoico en el norte de los Andes del Perú, aproximadamente a 600km.

Al norte de Lima (capital del Perú).

El acceso al distrito Yanacocha se hace por la carretera Cajamarca-Bambamarca. Son aproximadamente 39 km de carretera desde la ciudad de Cajamarca hasta las instalaciones de la mina.

El acceso a Cajamarca: Vía aérea Lima-Cajamarca (vuelo directo), el tiempo de vuelo es de 1 hora. Vía Terrestre: Lima-Cajamarca, el tiempo de viaje es de 14 horas (la carretera está asfaltada en un 100%).

Está ubicado en la línea divisoria continental, separando arroyos que drenan hacia el este a la Cuenca del Amazona y posteriormente al Océano Atlántico (en las cuencas de Porcón, Chonta y Honda) de aquellas que drenan hacia el oeste al Océano Pacífico (en la cuenca Rejo), según se muestra en las Figura 1 y 2.

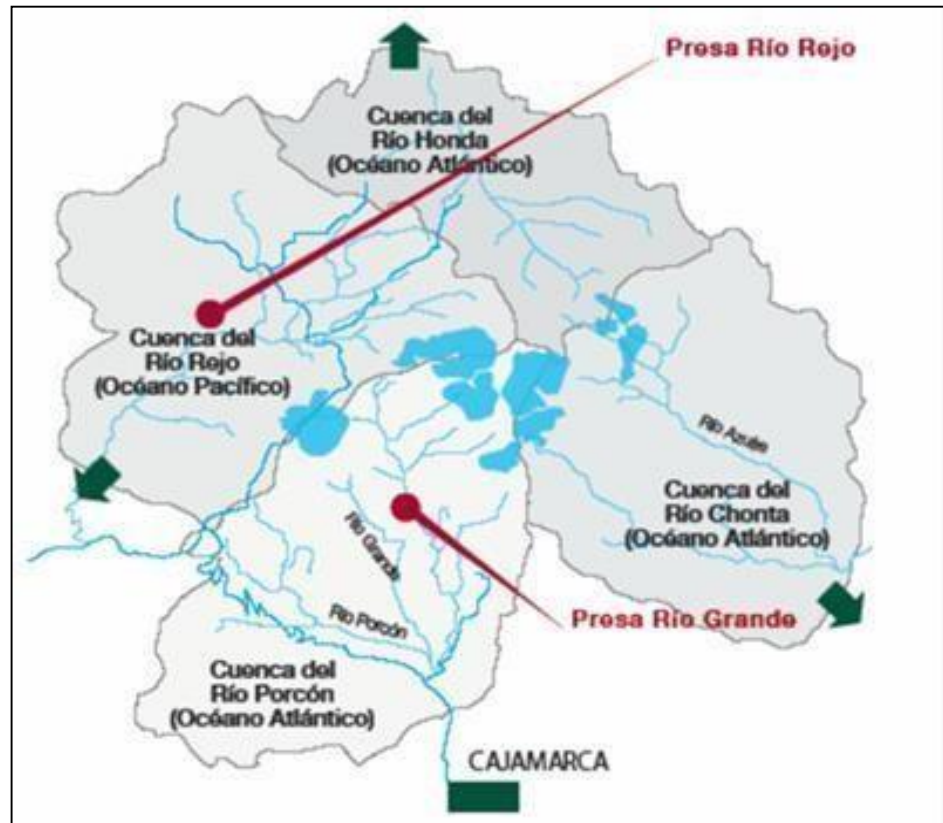


Figura 26: Mapa de las cuatro cuencas hidrográficas.

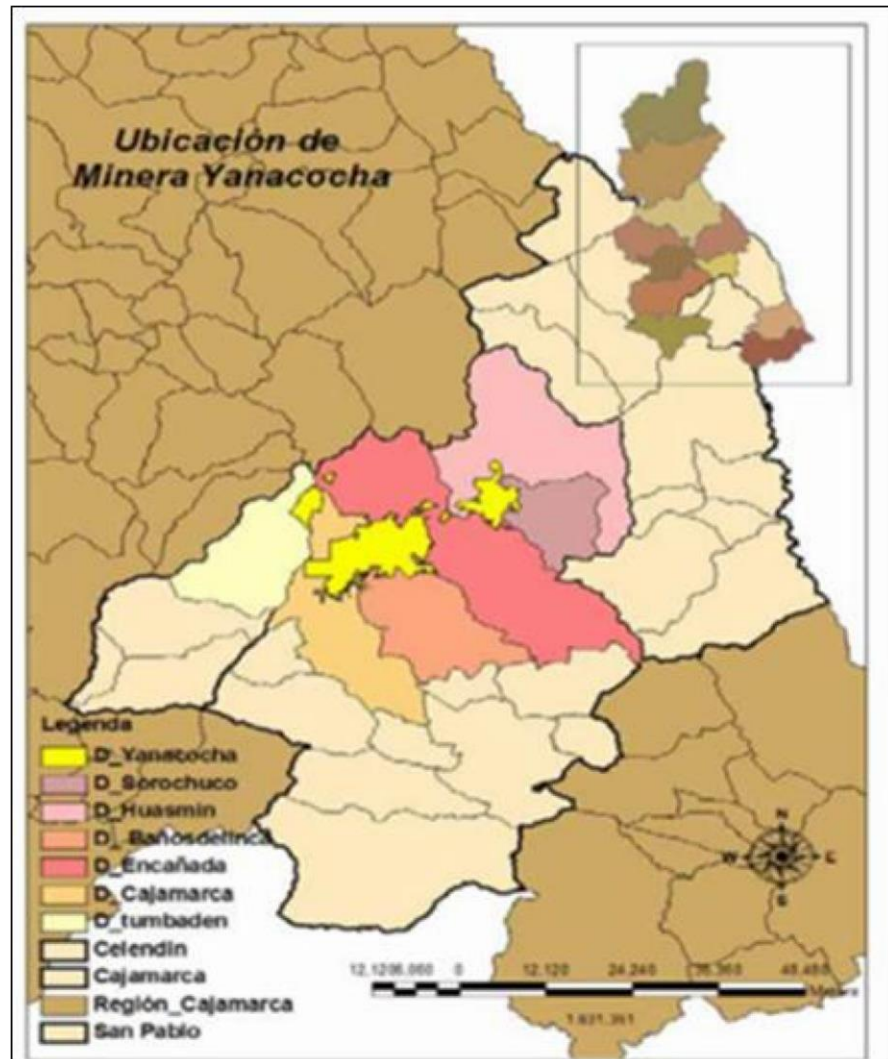


Figura 27: Mapa de ubicación de MYSRL en los distritos de Cajamarca.

3.1.2. Operaciones mineras

Minera Yanacocha (MYSRL), es una mina de extracción de oro a Tajo abierto por lixiviación de cianuro y a partir del año 2008 cuenta con la Planta de tratamiento para minerales de alta ley, denominada Gold Mill. Actualmente está compuesta por cuatro tajos a cielo abierto en operación: Chaquicocha, Yanacocha, El Tapado y Carachugo.

Las operaciones de Perforación se realizan con equipos de perforación Marca Ingersoll Rand Pit Viper 271, con un compresor de aire de tornillos de 2600 CFM a 110 psi y con barras de 8 5/8" de diámetro.

El diámetro de las brocas es de 10 5/8" modelos de la serie 50 y 60. Para este estudio se tomó como referencia el modelo 10 5/8" EX722.

3.2. Geología

3.2.1. Geología general

El Distrito de Yanacocha está centrado en unidades volcánicas intermedias a ácidas del Eoceno al Mioceno conocidas como Complejo del Domo de Flujo Yanacocha. La geología refleja los procesos activos tectónicos y volcánicos de los Andes. En el distrito minero, hubo erupciones de magma con sílice o ácido a lo largo de fallas estructurales, produciendo estructuras de domo en el flujo. Estas composiciones de sílice fueron mineralizadas por soluciones hidrotérmicas ricas en oro y, dado que estas composiciones contienen oro, son el objetivo principal de la extracción.

Las rocas contienen predominantemente cuarzo, alunita $KAl_3(SO_4)_2(OH)_6$, además de arcillas. La mineralización aurífera estuvo acompañada de pirita, enargita $Cu_3(As, Sb)_4S_4$, y otros minerales sulfúricos de cobre (covelita, digenita y chalcocita). El mineral contiene niveles elevados de arsénico, 130 mg/kg, y plomo, 630 mg/kg, además de bajos niveles de cobre, 41 mg/kg, mercurio, 8.6 mg/kg, zinc, 25 mg/kg, y molibdeno, 25 mg/kg. (Turner, 1997).

En el Distrito Minero de Yanacocha, las formas de sílice están casi totalmente oxidadas. Alrededor de estas formas hay zonas argílicas avanzadas, y alteración argílica, que no contienen oro, sino que contienen minerales de sulfuro sin oxidar, teniendo potencial de generar ácido.

La profundidad de oxidación (la profundidad donde predominan los minerales de sulfuro) varía en todo el distrito, fluctuando entre más de 200 m en Yanacocha Sur, hasta 150 m en el centro de Maqui Maqui, hasta la exposición superficial de minerales de sulfuro en

márgenes de Yanacocha Norte. No se han encontrado zonas de sulfuro bajo los yacimientos de Carachugo o San José en perforaciones de 300 m de profundidad. En esta profundidad, la roca empieza a ceder y se mezclan los óxidos con sulfuros, conformando la zona transicional de 50 a 60 m de espesor. Debajo de la zona transicional, las formas minerales de oro continúan contenidas en sulfuros primarios.

En esta zona, los niveles poco profundos son porosos y contienen bajas concentraciones de la mayoría de los metales, con la excepción del mercurio (por ello aparece como subproducto del proceso minero). Por ejemplo, se encuentra el cobre que ha lixiviado, hay oro en óxidos de hierro, plata en jarosita (hidróxido de sulfato de hierro potásico), y arsénico en escorodita (arsenato de hierro hidratado) o con plomo en beudanita (un sulfato de arsénico-plomo). En la zona de sulfuro, hay oro en enargita, que a su vez contiene plata, y pirita que contiene arsénico.

A diferencia de los otros yacimientos minerales, La Quinoa es un yacimiento fluvioglacial cuaternario. Un glaciar cortó la parte superior y una porción del lado oeste del yacimiento Yanacocha y lo transportó 2 km al oeste al área de La Quinoa. Los arroyos y posiblemente un aluvión (huaico) re movilizaron el material glacial, extendiéndolo en un área de 9 km², dejando la mineralización aurífera en gravas originalmente derivadas del yacimiento Yanacocha.

3.2.2. Geología local

La mineralización de oro en el distrito de Yanacocha forma parte del cinturón de depósitos polimetálicos que están ubicados a lo largo de la Cordillera de los Andes, y el cual está asociado al volcanismo Cenozoico y las rocas intrusivas (Turner, 1997).

Los Andes Peruanos son el resultado de la subducción de la litósfera oceánica (placa de Nazca) debajo de la litósfera continental (placa Sudamericana). La primera actividad magmática ocurre en el Terciario inferior y es representado por un volcanismo efusivo de tipo lávico andesítico, correspondiente al volcánico Llama. Contemporáneamente se inicia la primera pulsación intrusiva en la región, correspondiente a intrusivos dioríticos (stocks Michiquillay y Picota) datada del Eoceno medio.

La segunda manifestación magmática ocurre durante el Mioceno inferior (fase Quechua I) y corresponde al emplazamiento de numerosos stocks, entre ellos los pórfidos de: Chailhuagón, Perol, Mishacocha, Corona, Jesús y Yanacocha, todos ellos datados (K/Ar) entre 11 y 20 Ma. La composición evoluciona desde una microdiorita con hornblenda hasta microgranodioritas y pórfidos cuarzo feldespático. Paralelamente a esta fase intrusiva se desarrolla la depresión volcano tectónica de Yanacocha (20 x 20 km), compuesta de derrames lávicos y flujos piroclásticos de composición dacítica-andesítica y asociado a domos porfiríticos andesíticos, cuyas edades varían desde el Mioceno inferior a medio entre 10 y 19 Ma (Longo, 2002; Turner, 1997). Este volcanismo es el principal albergante de la mineralización epitermal de Au-Ag y está asociado a stocks porfiríticos del tipo pórfidos, diatremas y brechas pipes.

Posterior a la gran actividad volcano-plutónica Miocénica se produce el levantamiento Andino y erosión, seguidamente se deposita el volcanismo de la Formación Huambos, constituido por coladas piroclásticas de composición andesítica-dacítica que recubren valles y depresiones del distrito de Yanacocha. Finalmente, en el Pleistoceno, ocurre una fuerte etapa de glaciación que erosiona el depósito de Yanacocha dando lugar a la depositación de morrenas y gravas del depósito La Quinua.

3.2.3. Estratigrafía sedimentaria y volcánica

La geología de la región de Cajamarca – Yanacocha está constituida por un basamento sedimentario de edad Cretácea que ha sido plegado, fallado e intruído por stocks terciarios y recubiertos por efusiones volcánicas de edad Terciaria.

Regionalmente el grupo Calipuy se subdivide en dos unidades: Volcánicos Llama y Volcánicos Porculla. Sobre ellas yacen con discordancia erosional las ignimbritas de la Formación Huambos. Turner, considera a la Formación Huambos como parte del Grupo Calipuy.

Basamento Cretáceo

La serie Cretáceo inferior, está constituida principalmente por una secuencia arenácea cuarcítica con intercalaciones de limolita, correspondientes al Grupo Goyllarisquizga; estas secuencias están coronadas por una secuencia limo- calcárea correspondientes a las grandes transgresiones albiánas. Las rocas del Cretáceo superior están mejor desarrolladas y conforman una potente secuencia calcárea, correspondientes a las formaciones: Inca, Chulec, Pariatambo, Yumagual, Mujarrún, Quilquiñan y Celendín. Las rocas del Cretáceo superior y Paleoceno (Terciario inferior) consisten de Capas Rojas y conglomerados de la Formación Chota. Las capas rojas están relacionadas con la fase orogénica Andina del Cretáceo superior (Reyes, 1980; Megard, 1987; Ingemmet, 1995).

Volcánicos Llama

Es la secuencia basal y está dominada por flujos de lava, conglomerados volcánicos (flujo de debris) y rocas volcanoclásticas. Esta secuencia se localiza al sur del distrito de Yanacocha y presenta una débil alteración argílica y propilítica.

Volcánicos Porculla

Consiste de rocas piroclásticas intercaladas con niveles lávicos y cortadas por multi-fases de eventos intrusivos. Según Turner, los volcánicos Porculla se subdividen en el Complejo Volcánico Yanacocha y los Volcánicos Regalado.

Complejo Volcánico Yanacocha: Esta secuencia volcanoclásticas se extiende regionalmente y es en donde se alberga la mineralización del distrito de Yanacocha. Este Complejo Volcánico de edad Miocénica está constituido por rocas piroclásticas y flujos de lava de composición andesítica.

Volcánicos Regalado: Una secuencia delgada de lavas andesíticas muy viscosas, cubren principalmente las zonas de depresiones y sobreyacen a las rocas del Complejo Volcánico Yanacocha. Estos flujos de probable origen fisural son correlacionados con los Volcánicos Regalado (Reyes, 1980).

Volcánicos Huambos

Posterior a la gran actividad volcano-plutónica Miocénica se produce el levantamiento Andino y erosión, seguidamente se deposita el volcanismo de la Formación Huambos constituido por coladas piroclásticas andesítica-dacítica que recubren valles y depresiones del distrito de Yanacocha. Dos secuencias de distinta composición de flujos de brechas piroclásticas son reconocidas al norte y sur del distrito. La primera de composición dacítica, corresponde al miembro Fraylones y la segunda de composición andesítica corresponde al miembro Otuzco, ambos de la Formación Huambos, asociados a distintos centros eruptivos.

3.2.4. Geología estructural

La más importante característica estructural en la región es el lineamiento trans- andino que forma el corredor estructural Chicama – Yanacocha (Quiroz, 1997). Este corredor alberga una serie de fallas de dirección NE, emplazamiento de intrusivos, y controla la localización de varios pórfidos y yacimientos de alta sulfuración.

Un conjunto de fallas de rumbo general NW-SE se disponen con ligeras variaciones de rumbo, definiendo el corredor estructural Yanacocha – Hualgayoc, de 5 a 6 Km de ancho (Quiroz, 2002). A lo largo de este corredor se disponen coincidentemente una serie de ocurrencias de mineralización tanto dentro como fuera del distrito de Yanacocha.

Dentro del distrito de Yanacocha se observa un alineamiento de dirección NE definido por la sucesión de depósitos que constituyen parte del Complejo Volcánico Yanacocha. Entre ellos tenemos al Cerro Yanacocha, Carachugo, Maqui Maqui, Chaquicocha, Cerro Negro, Cerro Quillish, el Tapado y La Quinoa, según se muestra en la Figura 28.

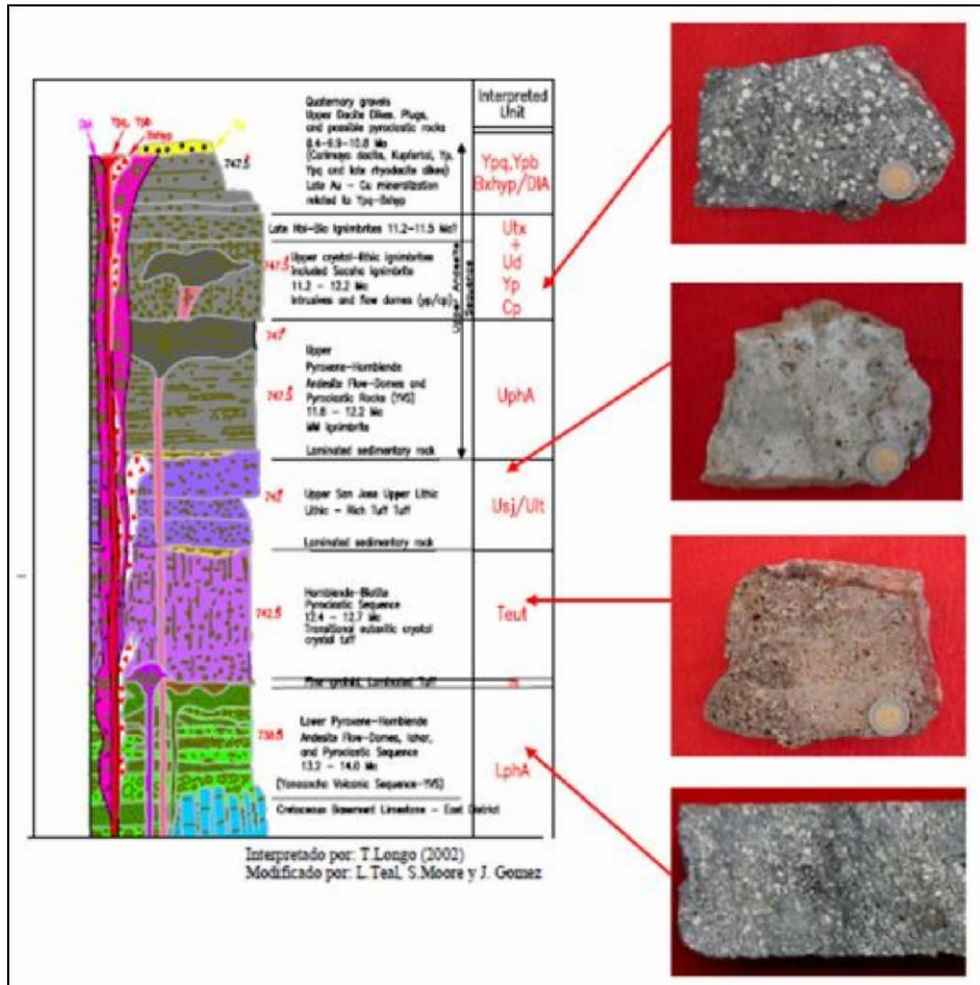


Figura 28: Columna estratigráfica generalizada.

3.3. Aire comprimido

El aire es un factor crítico en la perforación rotativa. Sin un flujo de aire apropiado los equipos de perforación rotativa no son operados de forma eficiente. Los pozos o taladros no se mantienen limpios, los trozos de roca no pueden ser removidos de la superficie de la cara de la perforación y expelidos a la superficie, y la perforación no es eficiente.

3.3.1. Aire estándar

El aire es un gas compresible. Para el trabajo de un compresor de aire y los cálculos de aire, la unidad de volumen estándar de aire aceptada es el pie cúbico, la temperatura estándar son 70°F y la altura estándar son 0 pies a nivel del mar. La presión estándar a nivel del mar es de 14,7 psia. El pie cúbico estándar (SCF) de aire

pesa 0,07494 libras (la densidad estándar es de 0,07494 (libras / pie³).

3.3.2. Presión de aire absoluta y presión de aire manométrica

Las presiones se informan como “psia” o “psig”. La letra final “a” o “g” se refiere a si la presión es absoluta o manométrica. La “presión absoluta” es la suma de la presión local atmosférica más la presión leída en el manómetro. La presión manométrica “g” es la presión registrada en el manómetro.

3.3.3. Densidad del aire y presión atmosférica

A medida que aumenta la altitud, disminuye la presión atmosférica en un SCF. Esto permite al “contenido de ese SCF expandirse hasta alcanzar el equilibrio con la nueva presión atmosférica. Lo que comenzó como un pie cúbico estándar de aire es ahora un poco más grande, debido a que la presión de confinamiento es un poco menor. A nivel del mar, la presión atmosférica es de 14,7 psia. A 5 000 pies la presión atmosférica ha caído a 12,23 psia. Esto permite que el mismo peso de aire (0,07494 libras) se expanda en un volumen más grande.

La densidad del aire y la presión atmosférica disminuyen con la altura. La temperatura tiene el mismo efecto en el aire que la presión de confinamiento (altitud). A medida que la temperatura aumenta, disminuye la densidad del aire. Esto se puede corroborar con las leyes de los gases.

3.3.4. Compresores de aire

En la perforación rotativa se pueden encontrar varios tipos de compresores de aire. Los tipos más antiguos incluyen los reciprocantes y de aspa. Las perforadoras modernas, están equipadas con compresores rotatorios de hélice de una o dos etapas. La tarea del compresor de aire es entregar aire a la broca para enfriar y limpiar los rodamientos, y remover la roca triturada de la perforación y evacuarla hacia la superficie del pozo.

3.3.5. Factor altitud temperatura A/T

El factor A/T es un dato muy importante para el cálculo de la capacidad del compresor. Se obtiene a partir de la Tabla de Factores Altitud/Temperatura, Anexo I, este factor permite calcular en forma correcta la capacidad SCFM de la entrada del compresor a cualquier altura y temperatura, y determinar los pies cúbicos por minuto de aire libre (ACFM) que fluyen a través del espacio anular después que el aire comprimido abandona la broca.

3.3.6. Velocidad de barrido

La velocidad de barrido está definida como la velocidad con que sale el aire del fondo del taladro a través del espacio anular, y se calcula de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$BV = \frac{ACFM \cdot 183.35}{Dh^2 - Dp^2}$$

Donde:

BV: Velocidad de Barrido

ACFM: Metros cúbicos por minuto actuales, suministrados por el compresor de aire

Dh: Diámetro de la broca en pulgadas

Dp: Diámetro de la barra en pulgadas

Para alcanzar una óptima velocidad de barrido se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones, Anexo 4.

- La Velocidad de Barrido deberá ser de 5 000 – 7 000 ft/min para material seco y ligero.
- La Velocidad de Barrido deberá ser de 7 000 – 9 000 ft/min para material húmedo y pesado.

Se debe utilizar barras de perforación de 2" a 3" de diámetro menor que la broca tricónica, solo si se tiene suficiente volumen de aire. No se debe utilizar un diámetro de barra de 1 ½" de diámetro menor que la broca tricónica, en este caso específico los detritos no podrán ser evacuados libremente, ocasionando turbulencia, retritución y erosión de los aceros.

3.3.7. Velocidad de caída del chip

La velocidad de caída del chip o detrito se define como la velocidad con que la partícula cae al fondo del taladro y se calcula con la siguiente fórmula:

$$CFV = 60 \times \sqrt{\frac{\left[64 \times \left(0.708 \times \left(\frac{Dp}{12} \right) \right) \right] \times \left[(62.38 \times Ge) - \left(\frac{0.07494}{Fc} \right) \right]}{1.12 \times \left(\frac{0.07494}{Fc} \right)}}$$

Donde:

CFV: Velocidad de caída del chip

Dp: Diámetro del chip

Fc: Factor de corrección

Ge: Gravedad específica del chip

3.3.8. Velocidad de salida del detrito

La velocidad de salida del detrito está definida como la resultante entre la velocidad de barrido y la velocidad de caída del chip

Esta velocidad de salida del chip debe ser mayor a 1 000 pies/min.

3.3.9. Fuerza de limpieza del fondo del pozo

La limpieza del fondo de la perforación es una función de la "fuerza" o "poder" que el chorro de aire ejerce contra el fondo del pozo.

El volumen de aire es convertido en peso. La velocidad de salida del aire a través de la boquilla es calculada multiplicando la descarga de aire en libras por segundo por la velocidad del aire pies por segundo.

La fuerza ejercida por el aire está dada por:

$$\left(\frac{CFM}{60} \right) \times 0.07494 = lb / seg$$

$$\left(\frac{\frac{CFM}{60}}{Area_Boquilla} \right) = V_{aire}, ft / seg$$

$$\left[\frac{lb}{seg} \times \frac{ft}{seg} \right] = \left[\frac{lb \cdot ft}{seg^2} \right]$$

3.3.10. Modulación o regulación de compresor

La presión de modulación o regulación del compresor es el nivel de presión máxima de un compresor. El nivel de presión en el tanque receptor es el que controla el sistema de modulación, el cual empieza a cerrar la válvula de ingreso de aire al sistema del compresor con el objetivo de mantener una presión máxima constante en el tanque receptor.

Cuando el compresor ha alcanzado el punto de modulación, este ya no produce volumen de aire. Y como consecuencia la velocidad de barrido disminuye considerablemente.

3.3.11. Presión del aire en la broca tricónica

La presión de aire requerida en la broca es de 40 – 45 psi, esta presión garantiza la limpieza y refrigeración de los cojinetes del

cono. Esta presión en broca debe ser la máxima posible dependiendo del punto de modulación del compresor.

3.3.12. Inyección de agua

La inyección de agua al taladro solo se da a los primeros tres metros de perforación, para formar el collar del taladro y para eliminar el polvo, es necesario aclarar que la refrigeración de los cojinetes del cono se realiza mediante el aire suministrado por el compresor.

3.3.13. Inyección de aceite

La inyección de aceite lubricante ayuda a incrementar la vida útil de las brocas tricónicas ya que este aceite es pulverizado y forma una capa de lubricante en los rodamientos ayudando a disminuir la presión de rotación de los conos y a la vez refrigerar y lubricar las pistas y los rodamientos de la broca.

3.3.14. Kit para la prueba de presión de aire

El kit básico consiste en un tubo de aluminio, placas orificio graduadas cada 1/8" de diámetro interno, 3 1/2", 4 1/2", 6 5/8" y 7 5/8" adaptadores API REG, un termómetro, manómetro, manguera y sujetadores de placas orificio. La Figura 29 muestra el kit ID AC BHMT de 5".



Figura 29: Kit para Test de Aire.

3.4. Costo total de perforación

3.4.1. Estructura del costo total de perforación

Hablar de la evaluación de los costos de perforación, es referirse a la velocidad de penetración y a los metros perforados por cada broca tricónica, ya que estos dos parámetros inciden fundamentalmente en la perforación. Debido a que existe una relación inversamente proporcional entre ambos, es imposible mejorar el rendimiento de uno sin afectar el otro. Para elegir una adecuada combinación de estos factores, se requiere un patrón de medida en el cual, estén considerados todas las condiciones particulares de la operación, por lo que el mejor parámetro de evaluación está en función del costo métrico.

En Yanacocha, todo análisis para determinar el costo total de perforación, debe realizarse en base a los factores mencionados anteriormente, mediante la siguiente fórmula:

$$TDC = \frac{B}{ROP} + D$$

Donde:

TDC: Costo Total de Perforación

B: Precio de la broca en [US\$]

D: Costo horario de la perforadora [US\$/Hr]

ROP: Velocidad de penetración [m/Hr]

Realizando una evaluación de la fórmula tenemos:

El precio de la broca tricónica (B) es diferente para cada empresa minera, ya que se obtiene al ponderar el precio de lista ofrecido por el fabricante por un factor que depende fundamentalmente de la situación geográfica de los proveedores, gravámenes e impuestos

que debe tributar cada consumidor, según sea el tipo, marca y diámetro, Por lo anterior, el factor no es estándar para los fabricantes.

$$C_1 = \frac{C}{M}$$

Donde:

C1: Costo del elemento de corte

B: Precio de la broca tricónica puesta en el terreno [US\$]

M: Total de metros perforados por la broca tricónica [m]

$$C_2 = \frac{D \cdot T}{M}$$

Donde:

C2: Costo de la operación Minera

D: Costo horario del equipo de perforación [US\$/Hr]

T: Tiempo de operación del Tricóno [Hr]

M: Metros perforados por el Tricóno [m]

El Costo horario del equipo de perforación o perforadora (D) está dado por:

a) Costo directo

Dependiendo del sistema de costos que adopte cada empresa, se pueden determinar los costos directos del equipo por hora, para un periodo determinado a través de:

$$C_{\text{directo}} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{\sum_{i=1}^n T_i}$$

Donde:

Di: Costo directo [US\$]

Hi: Horas de trabajo [Hr]

En donde los costos directos comprenden:

Costos de mano de obra (d1)

Costo de energía (d2)

3.4.2. Costo total de perforación

El Costo total de perforación está dado por:

$$C = C_1 + C_2$$

Reemplazando la ecuación tenemos:

$$C = \frac{C_1}{H} + \frac{C_2}{H^2}$$

3.4.3. Importancia de la velocidad de penetración en la obtención del costo mínimo

De acuerdo a la ecuación tenemos:

$$C = \frac{C_1}{H} + \frac{C_2}{H^2}$$

Replanteando la variable "T" en el denominador, se obtiene:

$$C = \frac{C_1}{M/T} + \frac{C_2}{(M/T)^2}$$

Pero sabemos que M/T se denomina la velocidad de penetración y se denota como ROP, luego al reemplazar en la ecuación, se obtiene:

$$C = \frac{C_1}{ROP} + \frac{C_2}{ROP^2}$$

Luego, de la ecuación anterior se concluye que:

$$C = C_0 \cdot (V, R)$$

El costo es una función de los metros perforados y de la velocidad de penetración obtenidos en la perforación. Esto quiere decir que, a mayor velocidad de penetración, el costo total de perforación.

3.5. Tipo de roca

En Yanacocha se clasifican tres tipos de roca, los cuales están condicionados a la velocidad de penetración que se alcanza en cada proyecto de perforación.

ROCA SUAVE	Velocidad de penetración mayor a 34 m/hr
ROCA MEDIA	Velocidad de penetración entre 26 – 34 m/hr
ROCA DURA	Velocidad de penetración menor a 26 m/hr

3.6. Parámetros de perforación

a) Revoluciones por minuto RPM

Los valores determinados de acuerdo al estudio son:

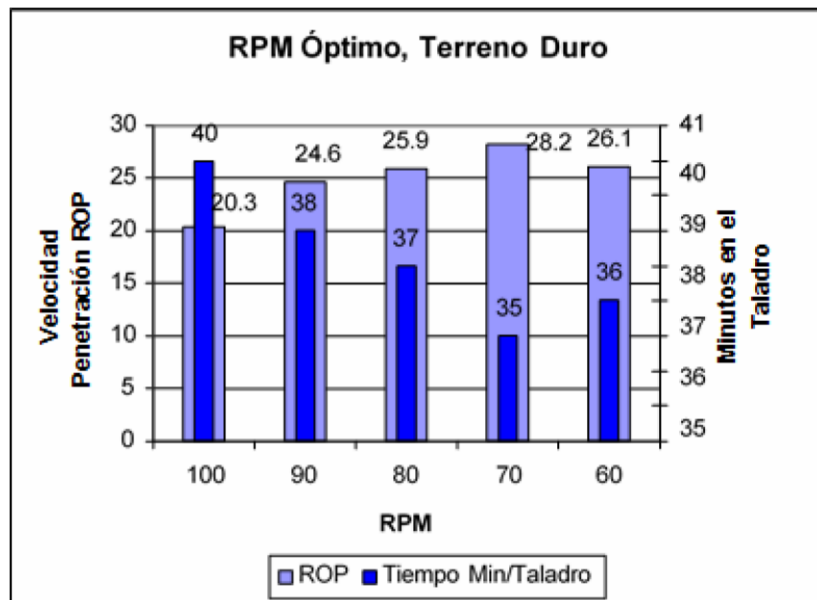


Figura 30: RPM óptimo en terreno Duro.

En la figura 30, se muestra la relación entre el tiempo de perforación en minutos, la velocidad de penetración y las revoluciones por minuto de la broca. De acuerdo al gráfico podemos determinar que para terreno Duro las revoluciones por minuto (RPM) recomendadas son de 70 RPM alcanzando una velocidad de penetración máxima de [28,2 m/hr].

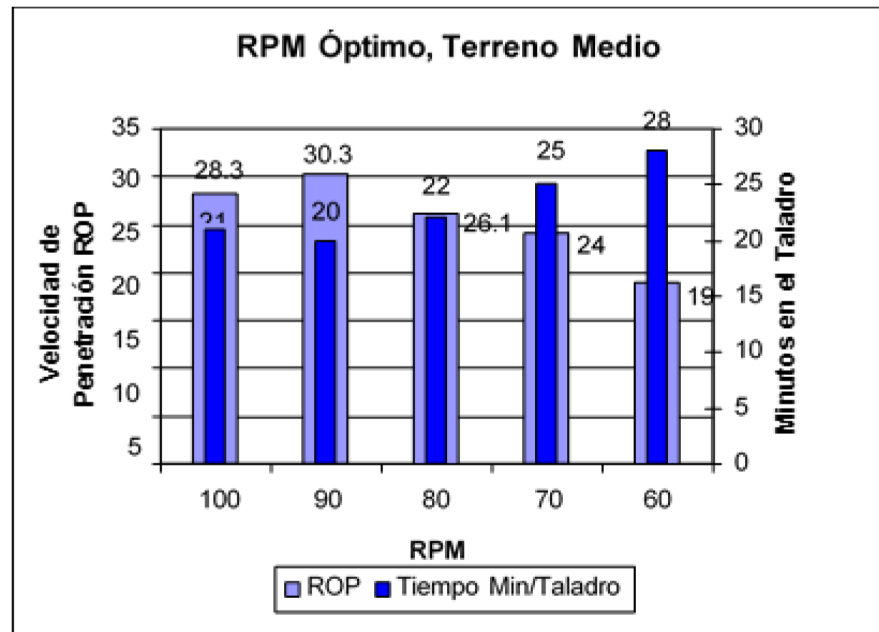


Figura 31: RPM óptimo en terreno Medio.

En la figura 31, se muestra la relación entre el tiempo de perforación en minutos, la velocidad de penetración y las revoluciones por minuto de la broca. De acuerdo al gráfico podemos determinar que para terreno Medio las revoluciones por minuto (RPM) recomendadas son de 90 RPM alcanzando una velocidad de penetración máxima de [30.3 m/hr].

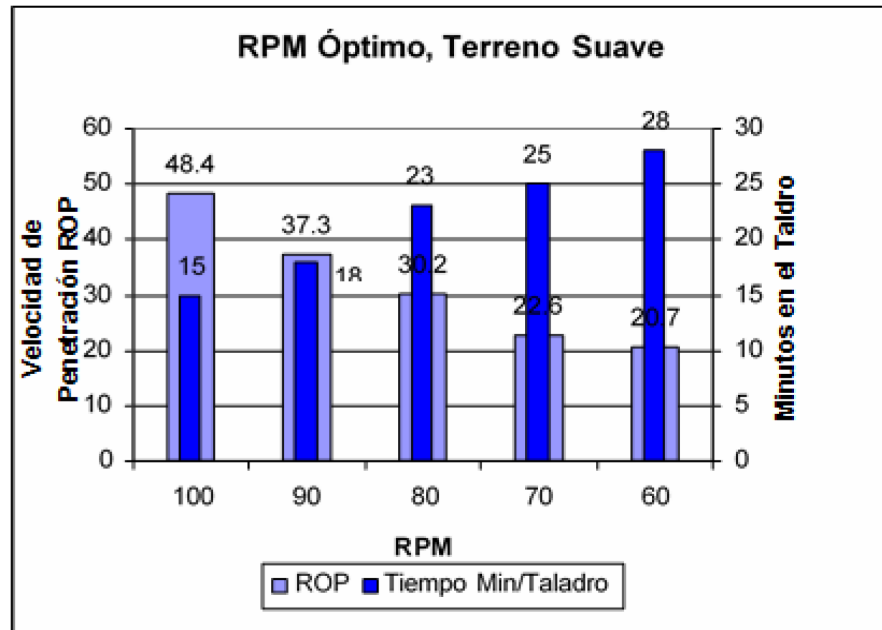


Figura 32: RPM óptimo en terreno Suave.

En la figura 32, se muestra la relación entre el tiempo de perforación en minutos, la velocidad de penetración y las revoluciones por minuto de la broca. De acuerdo al gráfico podemos determinar que para terreno Suave las revoluciones por minuto (RPM) recomendadas son de 100 RPM las cuales alcanzan una velocidad de penetración máxima de [48.4 m/hr].

En conclusión, las RPM que se deben aplicar son:

ROCA SUAVE	100 RPM
ROCA MEDIA	90 RPM
ROCA DURA	70 RPM

b) Presión Sobre Broca o Pulldown

Con las revoluciones por minuto RPM recomendadas para cada tipo de roca procedemos a realizar los estudios para obtener el Pulldown óptimo:

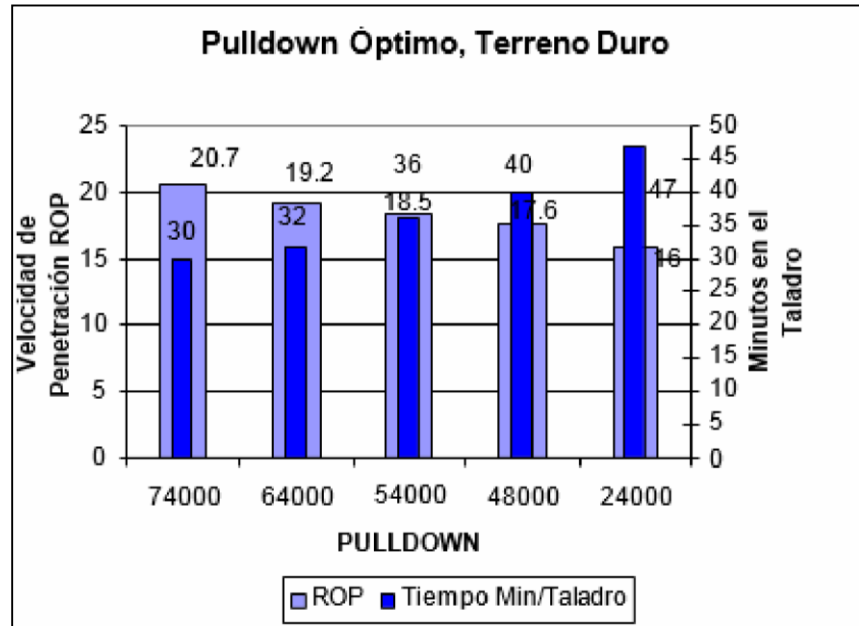


Figura 33: Pulldown óptimo en terreno Duro.

En la figura 33, se muestra la relación entre el tiempo de perforación en minutos, la velocidad de penetración y el Pulldown aplicado sobre la broca. De acuerdo al gráfico podemos determinar que para terreno Duro el Pulldown recomendado es de 74 000 Lb. Con las que alcanzamos una velocidad de penetración máxima de [20.7 m/hr].

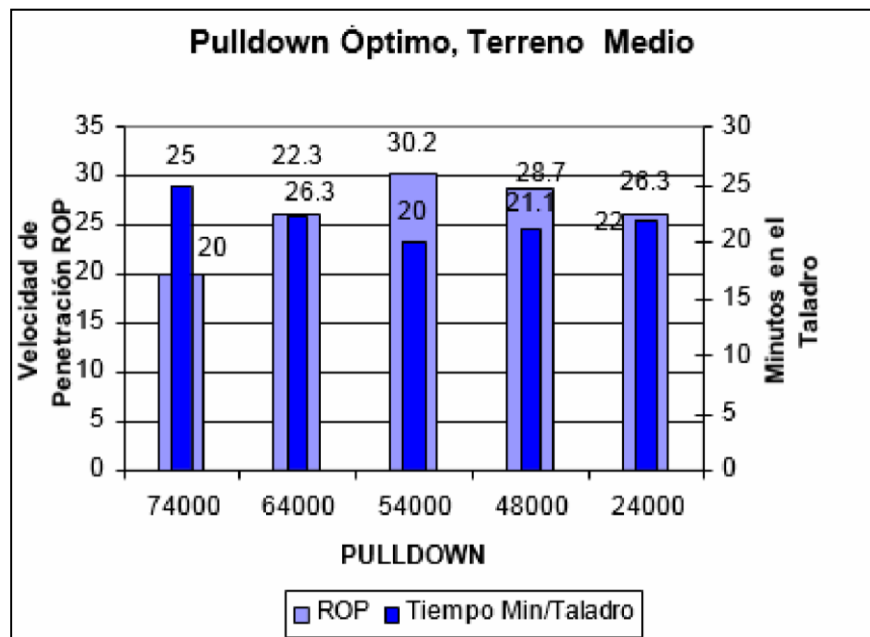


Figura 34: Pulldown óptimo en terreno medio.

En la figura 34, se muestra la relación entre el tiempo de perforación en minutos, la velocidad de penetración y el Pulldown aplicado sobre la broca. De acuerdo al gráfico podemos determinar que para terreno Medio el Pulldown recomendado es de 54 000 Lb. Y Logramos alcanzar una velocidad de penetración máxima de [30.2 m/hr].

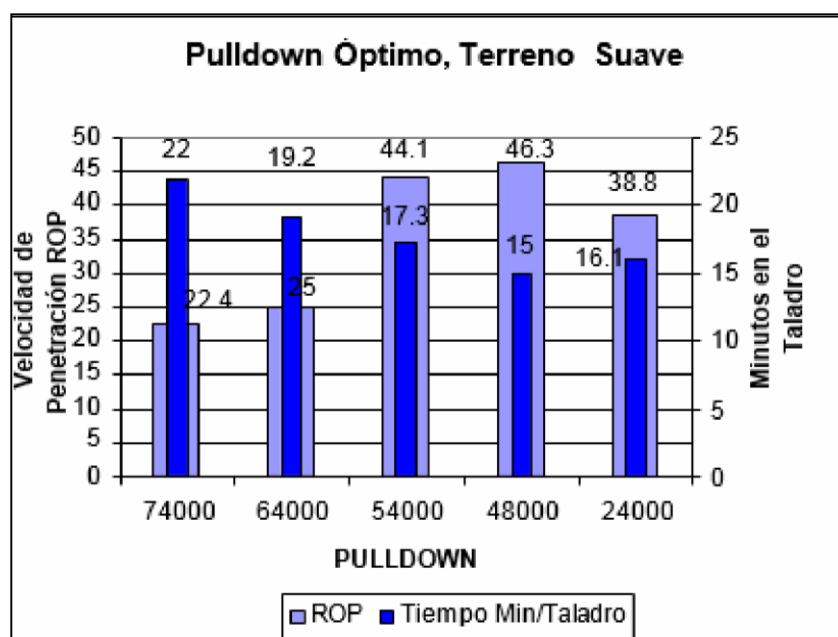


Figura 35: Pulldown óptimo en terreno suave.

En la figura 33, se muestra la relación entre el tiempo de perforación en minutos, la velocidad de penetración y el Pulldown aplicado sobre la broca. De acuerdo al gráfico podemos determinar que para terreno Suave el Pulldown recomendado es de 48 000 Lb.

Y Logramos alcanzar una velocidad de penetración máxima de [46.3 m/hr].

En conclusión, el Pulldown que se debe aplicar es el siguiente:

- ROCA SUAVE 48 000 Lb
- ROCA MEDIA 54 000 Lb
- ROCA DURA 74 000 Lb

c) Prueba de Presión de Empuje o Pulldown

Los resultados de la prueba de Pulldown realizados a la perforadora N°027 son:

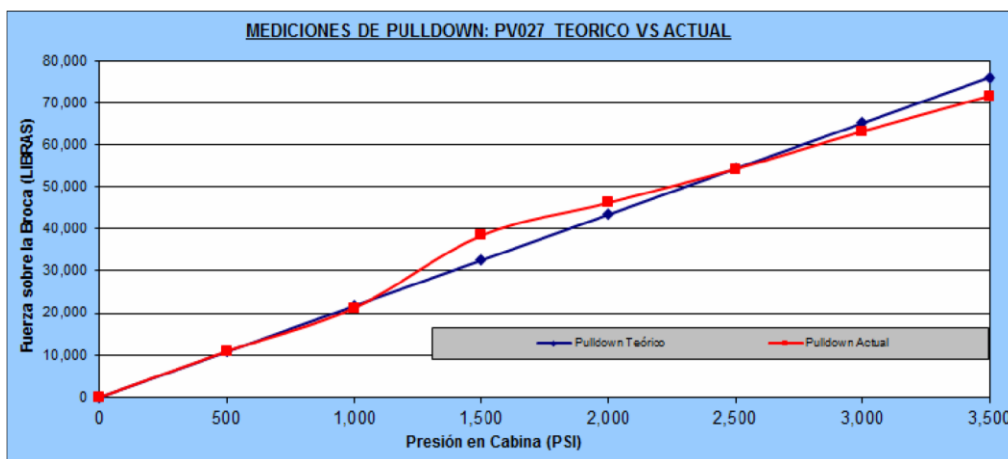


Figura 36: Resultados de la prueba de Pulldown.

En la figura 36, se muestra la diferencia entre el valor indicado en el manómetro de Pulldown en cabina y el peso real aplicado sobre la broca, de acuerdo al gráfico, cuando se aplica 75 000 Lb en cabina, realmente se está aplicando 72 650 Lb.

d) Prueba de Presión de aire del compresor, velocidad de barrido, velocidad de caída del chip y velocidad de salida del Chip.

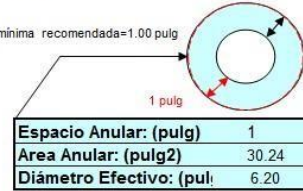
De acuerdo a las pruebas realizadas tenemos los siguientes valores:

Cliente:	Minera Yanacocha SRL	Compresora:	Ingersoll Rand
Mina:	Yanacocha	Capacidad Teórica del Compresor: (cfm)	2,600
Perforadora:	Atlas Copco	Capacidad Compresor Corregida: (cfm)	1,720
Modelo:	Pit Viper 271	Diámetro de Barra: (pulg)	8 5/8
Código:	# 27	Diámetro de Broca: (pulg)	10 5/8

SISTEMA DE AIRE: CONDICIONES DE OPERACIÓN ACTUAL

espacio anular mínima recomendada=1.00 pulg

Presión del Tanque Recibidor: (psi)	94
Presión de Aire en Cabina: (psi)	72
Altura de Operación s.n.m.: (pies)	11,417
Temperatura del Ambiente: (F)	60
Diámetro de Nozzle: (mm)	16



Comentarios:

El espacio anular mínimo recomendado es 1 pulgada, esta dentro de lo recomendado.

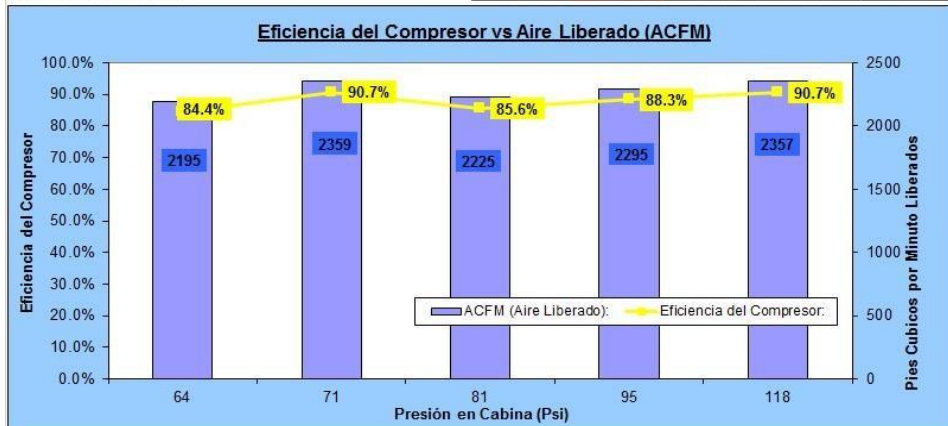
MEDICIONES AL SISTEMA DE AIRE

CONDICIONES ACTUALES DE PERFORACIÓN SIN AGUA

Diámetro del Orificio : (pulg)	1 1/2	1 3/8	1 1/4	1 1/8	1
Presión del Tanque Recibidor: (psi)	90	93	99	112	132
Presión en Cabina: (psi)	64	71	81	95	118
Presión en el Equipo de Medición: (psi)	42	86	63	80	102
Temperatura en Equipo de Medición: (F)	86	90	96	100	102

CALCULO DE LA EFICIENCIA DEL COMPRESOR VS PRESIÓN SIMULADA EN LA BROCA

dSCFM (Aire Comprimido):	1452	1560	1472	1518	1559
C.I. (Lb. Ft./Sec Force)	116,883	205,448	252,366	422,202	732,661
Eficiencia del Compresor:	84.4%	90.7%	85.6%	88.3%	90.7%
Factor Alt/Temp:	1.512	1.512	1.512	1.512	1.512
ACFM (Aire Liberado):	2195	2359	2225	2295	2357



Comentarios: La presión en cabina durante la perforación es 71 psi con nozzles de 5/8", obteniendo una presión en la broca de 55 psi con una eficiencia del compresor de 90.7% y un volumen de aire liberado de 2,359 cfm. El sistema de aire está trabajando bajo condiciones normales de operación.

CALCULO DE LA VELOCIDAD DE BARRIDO & VELOCIDAD DE SALIDA DE LA PARTICULA

Velocidad de Barrido (fpm): Barra Nueva	10,455	11,236	10,597	10,931	11,227
Velocidad de Barrido (fpm): Barra Gastada 1"	7,352	7,901	7,452	7,687	7,895
Gravedad Especifica del Material	2.5				
Diámetro de la Particula Rota (en pulgadas)	1/2				
Velocidad de la Particula en Caída Libre	3,967				
Velocidad de Salida Particula (fpm): Barra Nueva	6,489	7,269	6,631	6,965	7,260
Velocidad de Salida Particula (fpm): Barra Gastada 1"	3,386	3,634	3,485	3,720	3,928

Figura 37: Resultados de la prueba de agua.

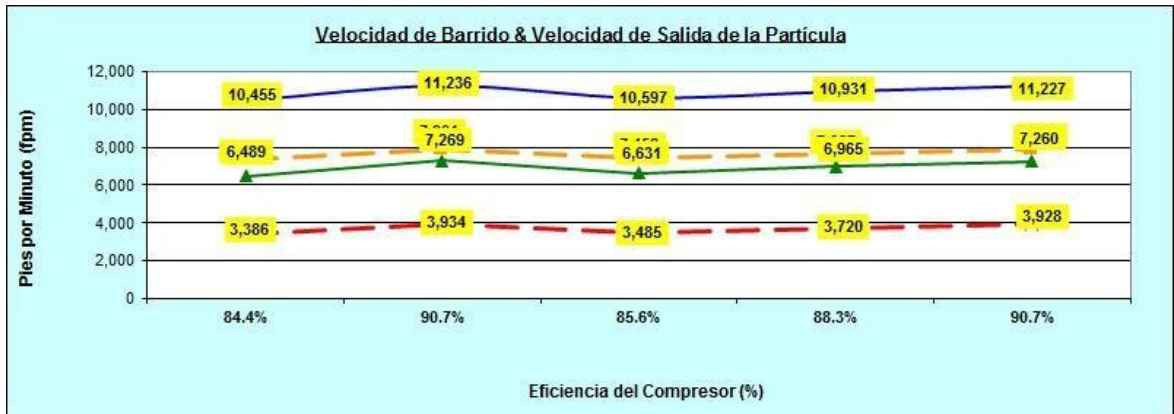


Figura 38: Velocidad de Barrido.

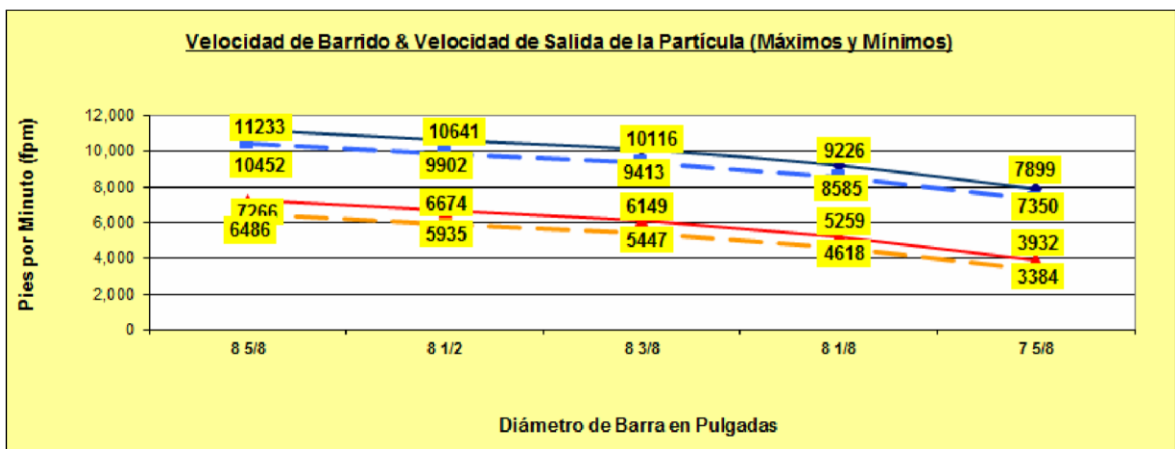


Figura 39: Velocidad de Salida del Chip.

De las pruebas de presión de aire del compresor podemos observar que la máxima presión en broca es de 55 psi, y la presión en cabina es de 71 psi, cuando esta presión se incrementa se alcanza la presión de modulación del compresor y comienza a disminuir el caudal de aire del compresor la cual margina a la velocidad de barrido.

De acuerdo al reporte de la prueba de presión de aire podemos determinar que a condiciones estándar de trabajo tenemos 60 PSI en cabina, 42 PSI en broca (presión baja a la recomendada), dsCFM 1560, Porcentaje de capacidad del compresor del 90.7 %, ACFM 2359, Velocidad de Barrido de 7901 fpm cuando la barra es nueva y de 5308 fpm cuando la barra presenta un desgaste máximo de 1" de diámetro, la Velocidad de Salida del Chip de 1/2" de diámetro 3934 fpm cuando la barra esta gastada.

e) Determinación del diámetro de boquillas.

De acuerdo a los datos obtenidos en la prueba de presión de aire del compresor se determinó el diámetro de las boquillas de 5/8" el cual nos brinda 72 psi en cabina.

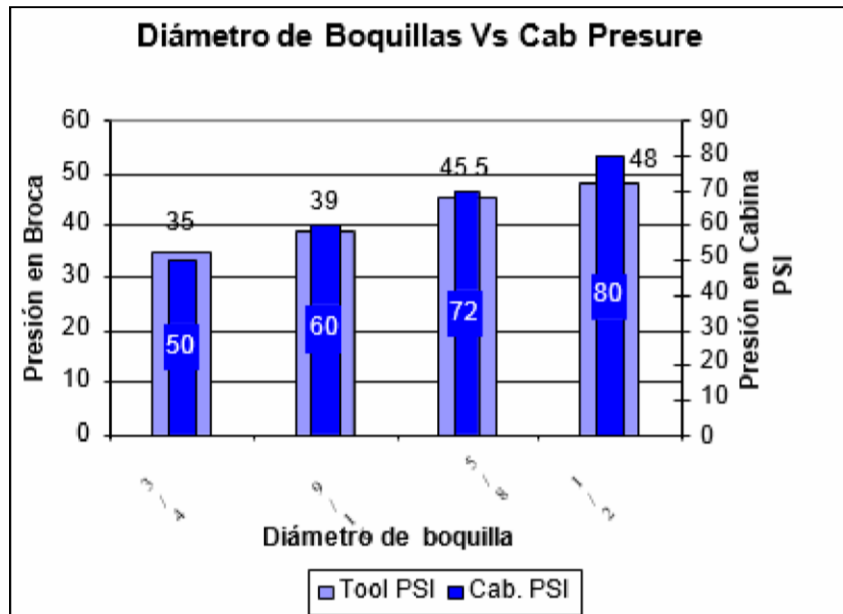


Figura 40: Diámetro de boquillas óptimo.

En la figura 39, se muestra la presión en PSI que se alcanza en cabina cuando se varia el diámetro interno de las boquillas, de acuerdo al reporte de presión de aire del compresor Cuadro 4, necesitamos alcanzar una presión en cabina de 72 PSI como máximo, para así poder oponer la máxima capacidad del compresor, por lo que se concluye utilizar boquillas de 5/8".

f) Desgaste de la broca Tricónica

El desgaste principal y más recurrente de las brocas tricónicas, es la pérdida de las narices del cono, así como el redondeo de los insertos del calibre.

g) Reducción del Costo Total de Perforación.

Los datos obtenidos en el presente estudio dieron como resultado una reducción del costo total de perforación en un 14 % y el incremento de la velocidad de penetración en un 19 % respecto al histórico.

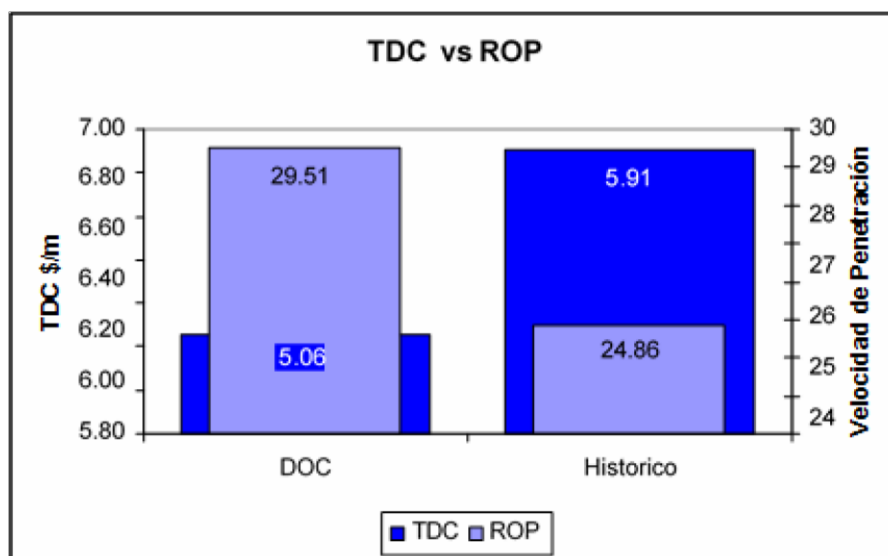


Figura 41: Costo Total de Perforación.

Según lo planificado se necesita perforar 20,833 metros por mes, con el TDC histórico obtenemos un costo en perforación de USD\$ 123,123.03, y aplicando los estudios realizados obtenemos un costo en perforación de USD\$ 105,414.98, y como resultado tenemos un ahorro de USD\$ 17,708.05 mensuales y un total de USD\$ 212,496.00 al año.

h) Incremento de la Productividad

Se puede deducir que cuando utilizamos una menor cantidad de revoluciones para perforar un taladro, el trabajo aplicado sobre la broca es menor, y como consecuencia se incrementa la vida de la broca en por lo menos en un 30 %.

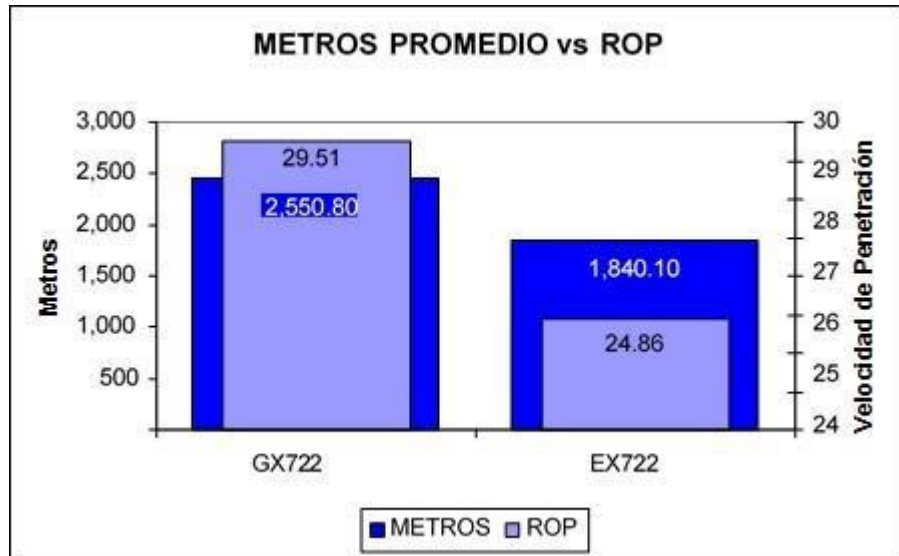


Figura 42: Promedio en Metros.

En la figura 42, relaciona el promedio en metros con la velocidad de penetración, diferenciando los dos modelos de brocas tricónicas utilizadas este estudio, claramente se observa que el nuevo modelo de broca 10 5/8" GX72 presenta un mejor rendimiento a comparación del modelo 10 5/8" EX72.

Esta mejora en Vida [metros] y Velocidad de Penetración [m/hr] es producto de la aplicación de los parámetros de perforación adecuados para cada tipo de terreno de perforación las mejoras en la broca tricónica, sugeridas inicialmente por el desgaste presentado del modelo EX72.

CONCLUSIONES

- Para lograr incrementar la velocidad de penetración, el factor que más importa y que en muchos casos no sea considerado así, es el volumen y presión de aire que suministra el compresor a diferentes condiciones atmosféricas. Dentro de este estudio se trata de explicar el funcionamiento del sistema de aire del compresor y los requerimientos de presión de aire para refrigerar y lubricar los rodamientos internos del tricono así como del volumen de aire brindado por el compresor, ya que este es factor principal para la velocidad de barrido. Y además del correcto uso de las boquillas en los triconos.
- Los parámetros de perforación los cuales involucran a la perforadora, son la capacidad del compresor, los sistemas hidráulicos de Pulldown y Presión de Rotación, así como también los accesorios de perforación. Y lo más importante con un buen entrenamiento a los operadores de las perforadoras, podremos incrementar la velocidad de penetración y optimizar el costo total de perforación.
- De acuerdo a los análisis anteriormente expuestos, se puede decir fehacientemente que existen una serie de beneficios obtenidos al incrementar la velocidad de penetración. Esto conlleva a aumentar la capacidad de los equipos de perforación incrementando su productividad.
- Los fabricantes de tricónos recomiendan mantener una presión en broca entre los 40 a 45 psi, los cuales garantizan una refrigeración y limpieza de los rodamientos, sin embargo la experiencia me ha enseñado que mientras brindemos la mayor presión posible a la broca es mejor, ya que podemos incrementar la presión de limpieza en el fondo del taladro, la cual permitirá tritura mayor cantidad de roca pero teniendo mucho cuidado el punto de modulación del compresor el cual restringirá el volumen de aire y como consecuencia se reducirá la velocidad de barrido.

- Llevando un estudio estadístico y controlando todos los parámetros de perforación los cuales nos brinden la máxima velocidad de penetración posible, se logrará una reducción del costo total de perforación considerable, como es el caso del presente estudio, logrando reducir en un 14 % al costo total de perforación en comparación con el costo histórico. Esto significa que aplicando los estudios propuestos por este trabajo podemos obtener un ahorro de USD\$ 212,496.00 anuales.

RECOMENDACIONES

- De acuerdo a los estudios realizados se recomienda utilizar boquillas de 5/8" en las brocas tricónicas, estas boquillas lograremos alcanzar una presión de aire en cabina de 70 PSI, y una presión de aire en la broca tricónica superior a 40 PSI. Esto significa que mayor cantidad de aire ingresará para la refrigeración de los rodamientos y también tendremos una mayor fuerza de limpieza en el fondo del pozo.
- Se recomienda que la presión en cabina no debe superar los 80 PSI, si se llega a alcanzar esta presión estaremos alcanzando la presión de modulación del compresor, esto quiere decir que el compresor no enviará volumen de aire al sistema. Y si no tenemos volumen de aire en sistema no tenemos Velocidad de Barrido.
- La Velocidad de Barrido debe estar sobre los 5 000 fpm, los cuales garantizaran una buena evacuación de los detritos hacia la superficie, por este motivo se recomienda llevar un seguimiento y monitoreo del desgaste máximo de las barras de perforación (8 5/8" de diámetro exterior).
- Las brocas tricónicas están diseñadas para trabajar sin agua, la refrigeración y limpieza se realiza con ayuda del aire comprimido. La inyección de agua solo se recomienda cuando se realiza el collar de la perforación y para eliminar el polvo, cuando inyectamos un exceso de agua, los detritos se unen unos con otros haciéndolos más pesados y más difíciles de evacuar hacia la superficie.
- Se recomienda mantener la velocidad de salida del detrito por arriba de los 1 000 fpm, esta velocidad evitara la remolienda y erosión de las herramientas de perforación en especial de la broca tricónica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Becerra, M. (2014). Rendimiento de Mano de Obra en la Construcción de Accesos y Plataformas de Perforación en el Proyecto Minero La Granja · Cajamarca 2013-2014. *Tesis para Optar el Grado de Ingeniero Civil*, 15-27. (F. d. Ingeniería, Ed.) Chota, Cajamarca, Perú: Universidad Nacional de Cajamarca. Obtenido de <http://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/300/T%20331%20B389%202014>
- Becerra, R., y Hernández, W. (2016). “Estudio y Selección de los Métodos de Perforación y Voladura para Optimizar la Fragmentación de la Roca, en la Cantera Mitopampa, Cajamarca, 2016”. *Tesis para Optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas*, 8-13. (F. d. Ingeniería, Ed.) Cajamarca, Perú: Universidad Privada del Norte. Obtenido de <http://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537>.
- Chirinos, A. (2015). “Control de Aceros de Perforación, Factores que Influyen la Vida Útil, su Relación con el Paralelismo y Profundidad en el Proyecto de Expansión K-115 JJC Contratistas Generales S.A. Sociedad Minera Cerro Verde”. *Tesis para Optar el Título de Ingeniero de Minas*, 17-23. (G. y. Facultad de Geología, Ed.) Arequipa, Perú: Universidad Nacional San Agustín. Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/174>.
- De La Cruz, R., y Rojas, J. (2016). “Desarrollo e Implementación de una Herramienta Informática para Reducir Costos Operativos en la Etapa de Perforación y Voladura en Labores Subterráneas de la Empresa Constructores Mineros Los Andes SAC –Marsa”. *Tesis Profesional para Optar el Título de Ingeniero de Minas*, 34-46. (F. d.

Ingeniería, Ed.) Trujillo, La Libertad: Perú. Obtenido de dspace.unitru.edu.pe

- De La Torre, P. (2015). "Selección de Barrenas por Correlación". *Tesis para Obtener el Título de Ingeniero Petrolero*, 12-15. (F. d. Ingeniería, Ed.) México: Universidad Nacional Autónoma de México. Obtenido de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132>.
- Gonzáles, D. (2016). "Evaluación de los Parámetros de Perforación en Barrenos y Correlación con la Geología del Terreno". *Proyecto de Fin de Grado*, 22-34. (D. d. Minera, Ed.) Madrid, España: Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía. Obtenido de oa.upm.es/40237/1/PFG
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2010). Metodología de la Investigación. *Best Seller*, 5. (I. EDITORES, Ed.) DF, México: McGRAW-HILL. Obtenido de <https://www.esup.edu.pe/descargas>.
- Llaique, Á., y Sánchez, W. (2015). "Determinación del Costo Total de Perforación para Optimizar esta Operación Unitaria en Mina Modelo a Tajo Abierto, Cajamarca – Perú, 2015". *Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Minas*, 8-14. (F. d. Ingeniería, Ed.) Cajamarca, Perú: Universidad Privada del Norte. Obtenido de <http://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/5284>
- Quilca, S. (2012). "Elección de Brocas de Perforación en Pozos Petroleros de Acuerdo a las Características de las Formaciones y al Perfil del Pozo". *Trabajo Previo a la Obtención del Título de Tecnólogo en Petróleos*, 32-50. (F. d. Ingeniería, Ed.) Quito, Ecuador:

Universidad Tecnológica Equinoccial. Obtenido de <http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/6061/1/50407>.

- Sabino, C. (1996). El proceso de investigación. Buenos Aires, Argentina: Lumen – Humanitas. Obtenido de <https://metodoinvestigacion.files.wordpress.com>.

- Sánchez, R. (2015). “Optimización del Fluido de Perforación para Superar Problemas Potenciales en Perforación de Pozos en el Lote Z-1 Yacimiento Corvina - Región Tumbes”. *Tesis para Optar el Título de Ingeniera de Petróleo*, 21-32. (F. d. Minas, Ed.) Piura, Perú: Universidad Nacional de Piura. Obtenido de <http://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/UNP/980/MIN>.

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia

Título: “INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD DE PENETRACIÓN EN EL PROCESO DE PERFORACIÓN PRIMARIA EN MINERA YANACOCHA, CAJAMARCA, 2017”

Tesista: Alaya Cruzado, Luis Primitivo.

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	OBJETIVO DE LA INVESTIGACION	HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	VARIABLES E INDICADORES	INSTRUMENTOS	METODOLOGÍA
<p>Problema principal: ¿Cuál es la influencia de la optimización de la velocidad de penetración en el proceso de perforación primaria en la mina Yanacocha, provincia y departamento de Cajamarca, en el año 2017?</p>	<p>Objetivo General: Determinar la influencia de la velocidad de penetración en el proceso de perforación primaria en la mina Yanacocha, provincia y departamento de Cajamarca, en el año 2017.</p>	<p>Hipótesis general: La determinación de la influencia de la velocidad de penetración influye favorablemente en el rendimiento del proceso de perforación primaria en la mina Yanacocha, provincia y departamento de Cajamarca, en el año 2017.</p>			<p>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.</p> <p>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.</p> <p>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 la influencia de la velocidad de penetración en el proceso de perforación primaria en la mina Yanacocha, los datos deben correlacionados contrastados seguir un proceso que nos lleve a la hipótesis general.</p> <p>Población Todos los equipos de perforación en el distrito Minero Yanacocha.</p> <p>Muestra Se analizarán los equipos de perforación Marca Ingersoll Rand Pit Viper 271, con un compresor de aire de tornillos de 2600 CFM a 110 psi y con barras de 8 5 /8” de diámetro.</p>
<p>Problemas secundarios:</p> <ul style="list-style-type: none"> - ¿Cuáles son los parámetros de perforación adecuados para cada tipo de formación geológica que incrementarían la velocidad de penetración en la perforación primaria de la mina Yanacocha, provincia y departamento Cajamarca, en el año 2017? - ¿Cómo influye el incremento la velocidad de penetración en la optimización del Costo Total de Perforación (T.D.C), en la perforación primaria de la mina Yanacocha, provincia y departamento Cajamarca, en el año 2017? - ¿Cuál es el desgaste de las brocas tricónicas al incrementar la velocidad de penetración en la perforación primaria de la mina Yanacocha, provincia y departamento Cajamarca, en el año 2017? 	<p>Objetivos específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Determinar los parámetros de perforación adecuados para cada tipo de formación geológica y así incrementar la velocidad de penetración en la perforación primaria de la mina Yanacocha, provincia y departamento Cajamarca, en el año 2017. - Evaluar la optimización del Costo Total de Perforación (T.D.C) al incrementar la velocidad de penetración en la perforación primaria de la mina Yanacocha, provincia y departamento Cajamarca, en el año 2017. - Determinar el desgaste de las brocas tricónicas al incrementar la velocidad de penetración en la perforación primaria de la mina Yanacocha, provincia y departamento Cajamarca, en el año 2017. 	<p>Hipótesis secundarias:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Si se determina los parámetros de perforación adecuados para cada tipo de formación geológica se incrementará la velocidad de penetración en la perforación primaria de la mina Yanacocha, provincia y departamento Cajamarca, en el año 2017. - Al evaluar la optimización del Costo Total de Perforación (T.D.C) del incremento la velocidad de penetración se optimizará la perforación primaria de la mina Yanacocha, provincia y departamento Cajamarca, en el año 2017. - Si se determinar el desgaste de las brocas tricónicas se optimizará costos e incrementará costos en el proceso de perforación primaria de la mina Yanacocha, provincia y departamento Cajamarca, en el año 2017. 	<ul style="list-style-type: none"> - Velocidad de penetración. - Perforación primaria. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ficha de campo para herramientas de perforación. - Ficha de campo para velocidad de penetración. - Ficha de reporte de perforación 	

