

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS

**FACTORES QUE INFLUYEN EN LA VIDA ÚTIL Y RENDIMIENTO DE LAS
BARRAS Y BROCAS EN TALADROS DE PRODUCCIÓN, TAJO CONSTANCIA EN
LA C.M. HUSBAY - CHUMBIVILCAS**

PRESENTADO POR:

BACH. LUIS ENRIQUE MIRANDA HUILLCA

PARA OPTAR AL TÍTULO

PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS

ASESOR:

MGT. ODILON CONTRERAS ARANA

CUSCO – PERÚ

2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, **Asesor** del trabajo de investigación/tesis titulada:.....

FACTORES QUE INFLUYEN EN LA VIDA ÚTIL Y RENDIMIENTO DE LAS BARRAS Y BROLAS
EN TALADROS DE PRODUCCIÓN, TAJO CONSTANCIA EN LA C.M. HUDBAY - CHUMBIVILCAS

presentado por: Luis Enrique Miranda Huilca con DNI Nro.: 47662748 presentado
por: con DNI Nro.: para optar el
título profesional/grado académico de INGENIERO DE MINAS

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 2 veces, mediante el
Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la**
UNSAAC y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 10 %.

**Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o
título profesional, tesis**

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto** la primera página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 26 de MARZO de 2025

Luis Enrique Miranda Huilca
Firma
Post firma Mpt. Odilón Contreras Arauco
Nro. de DNI 23823356
ORCID del Asesor 0000-0002-9164-1705

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: oid: 27259:442810998

LUIS ENRIQUE MIRANDA HUILLCA

LUIS MIRANDA_ING MINAS_UNSAAC_TESIS.pdf

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:442810998

Fecha de entrega

26 mar 2025, 11:00 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

26 mar 2025, 11:03 a.m. GMT-5

Nombre de archivo

LUIS MIRANDA_ING MINAS_UNSAAC_TESIS.pdf

Tamaño de archivo

5.5 MB

138 Páginas

25.228 Palabras

141.623 Caracteres




10% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Filtered from the Report


- ▶ Bibliography
- ▶ Quoted Text
- ▶ Cited Text
- ▶ Small Matches (less than 20 words)

Top Sources

- 10%  Internet sources
- 1%  Publications
- 5%  Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags

1 Integrity Flag for Review

-  **Hidden Text**
523 suspect characters on 12 pages
Text is altered to blend into the white background of the document.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

DEDICATORIA

Dedicado a mis padres: Enrique Miranda Cruz e Hilaria Huillca Conislla con su amor incondicional, constante y por enseñarme a luchar por mis sueños. Esta tesis es un reflejo de todo lo que han brindado y del ejemplo que siempre fueron para mí. Este logro también es suyo.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por protegerme y acompañarme en todo momento, a mis Padres y Hermanos por el apoyo incondicional durante toda mi formación Profesional.

A mi Alma Mater, Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, del cual me siento orgulloso de ser egresado.

A mi Asesor por su guía, sabiduría y paciencia durante el desarrollo de la tesis y a mis docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas por las enseñanzas y experiencias brindadas.

Un agradecimiento especial a los ingenieros del área de Perforación y Voladura de la U.M Constanca por apoyarme a mi desarrollo profesional.

PRESENTACION

Decano de la facultad de Ingeniería Geológica, Minas y Metalurgia, señores docentes miembros del jurado de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco.

En cumplimiento de lo establecido por la Universidad San Antonio Abad del Cusco, para la obtención del título universitario, me es grato presentar el trabajo de investigación titulado: **“FACTORES QUE INFLUYEN EN LA VIDA ÚTIL Y RENDIMIENTO DE LAS BARRAS Y BROCAS EN TALADROS DE PRODUCCIÓN, TAJO CONSTANCIA EN LA C.M HUBBAY - CHUMBIVILCAS”**, con la finalidad de conocer la importancia de estos factores, así como el aporte que esto significa.

Se espera que el estudio sirva como base para futuros trabajos de investigación y que genere un aporte relevante que contribuya al área de perforación en minas superficiales del Perú y a los estudiantes de Ing. de Minas, se presenta la investigación que se pone a su disposición.

RESUMEN

La presente tesis titulada “FACTORES QUE INFLUYEN EN LA VIDA ÚTIL Y RENDIMIENTO DE LAS BARRAS Y BROCAS EN TALADROS DE PRODUCCIÓN, TAJO CONSTANCIA EN LA C.M HUDBAY – CHUMBIVILCAS” producto de llevar a cabo un proceso de investigación.

La investigación se basa en una serie de acciones planificadas previamente, con el objetivo de determinar la relación entre a optimización de la vida útil de los aceros de perforación y su impacto en los costos de perforación en la unidad minera CONSTANCIA. Para ello, se ha planteado la siguiente pregunta de investigación: ¿Qué factores afectan el rendimiento y la durabilidad de las barras y brocas en taladros de producción y como influyen en los costos de perforación en la unidad minera CONSTANCIA?

El objetivo de la investigación fue: Identificar los factores que impactan la durabilidad y el rendimiento de las barras y brocas en los taladros de producción y como estos factores afectan los costos de perforación.

La hipótesis planteada fue: Al identificar los factores que afectan la durabilidad y el rendimiento de las barras y brocas en los taladros de producción, se podrá optimizar el uso de aceros y los costos asociados a la operación de perforación. El trabajo se estructura en cinco capítulos: el primero aborda la problemática de la investigación, el segundo se enfoca en el desarrollo del marco teórico, el tercero describe los aspectos generales de la mina, el cuarto analiza los factores que influyen en la durabilidad y el rendimiento, y el quinto presenta los análisis y discusiones.

PALABRAS CLAVE: Factores de perforación, rendimiento de perforación, costo total de perforación.

ABSTRACT

The present thesis titled “FACTORS INFLUENCING THE SERVICE LIFE AND PERFORMANCE OF DRILL RODS AND BITS IN PRODUCTION DRILLS, CONSTANCIA PIT AT C.M HUSBAY – CHUMBIVILCAS” is the result of a research process.

The research is based on a series of previously planned actions, with the aim of determining the relationship between the optimization of the service life of drilling steels and their impact on drilling costs at the CONSTANCIA mining unit. To this end, the following research question was posed: What factors affect the performance and durability of drill rods and bits in production drills and how do they influence drilling costs at the CONSTANCIA mining unit?

The objective of the research was to identify the factors that impact the durability and performance of drill rods and bits in production drills and how these factors affect drilling costs.

The hypothesis proposed was: By identifying the factors that affect the durability and performance of drill rods and bits in production drills, it will be possible to optimize the use of steels and the costs associated with drilling operations. The work is structured into five chapters: the first addresses the research problem, the second focuses on the development of the theoretical framework, the third describes the general aspects of the mine, the fourth analyzes the factors that influence durability and performance, and the fifth presents the analyses and discussions.

KEY WORDS: Drilling factors, drill performance, total cost of drilling

INTRODUCCION

La Unidad Minera Constancia una de las productoras más grandes de cobre en el Perú, simbolizando el 5% de la producción de cobre.

El proceso inicial para la extracción del cobre inicia con la operación unitaria de la perforación, la cual reside en la ejecución de taladros en la superficie con la ayuda de máquinas perforadoras. A lo largo de la actividad de la perforación la broca desempeña un papel crucial ya que es el principal elemento que tiene contacto entre el macizo rocoso y la perforadora.

El objetivo de esta tesis es analizar los factores que afectan la durabilidad y el rendimiento de las barras y brocas utilizadas en los taladros de producción, así como evaluar su impacto en los costos de perforación.

El estudio se organizó tal como se detalla a continuación:

Capítulo I: Se hizo el planteamiento del problema donde se identificaron los problemas que causan el desgaste prematuro de las brocas, se establecieron los objetivos y se justificó el desarrollo de esta tesis, además de formular la hipótesis.

Capítulo II: Se elaboro el marco teórico, abordando los antecedentes de investigación. Se desarrollaron las bases teóricas, incluyendo los fundamentos de la perforación, las propiedades de las rocas que influyen en la durabilidad de las brocas y los factores de perforación.

Capítulo III: En este capítulo se abordaron los aspectos generales de la mina, incluyendo su ubicación, las rutas de acceso y la vegetación. También se desarrolló la historia de la unidad minera Constancia, así como los aspectos geológicos y geotécnicos.

Capítulo IV: En este capítulo, nos enfocamos en los factores que afectan el rendimiento de las brocas y barras. Utilizando representaciones visuales de datos para facilitar la comprensión y análisis, evaluaremos el comportamiento de estos aceros en relación con los parámetros de perforación en distintos tipos de roca.

Capítulo V: Finalmente se examinó como los diferentes factores afectan la vida útil y el costo de perforación.

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	I
AGRADECIMIENTOS.....	II
PRESENTACION.....	III
RESUMEN.....	IV
ABSTRACT.....	V
INTRODUCCION.....	VI
1. CAPÍTULO I.....	1
PROBLEMÁTICA DE LA INVESTIGACIÓN.....	1
1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.1.1 Fundamentación del problema.....	1
1.1.2 Formulación del problema.....	2
1.1.2.1 Problema general.....	2
1.1.2.2 Problemas específicos.....	2
1.2 Objetivos.....	2
1.2.1 Objetivo general.....	2
1.2.2 Objetivos específicos.....	2
1.3 Justificación del estudio.....	3
1.3.1 Justificación del estudio.....	3
1.4 Delimitación del Estudio.....	4
1.4.1 Delimitación Espacial.....	4
1.4.2 Delimitación Temporal.....	4
1.5 Formulación de hipótesis.....	5
1.5.1 Hipótesis general.....	5
1.5.2 Hipótesis específicas.....	5
1.6 Variables e indicadores.....	5
1.6.1 Operacionalización de variables.....	6
1.7 Metodología de la investigación.....	6
1.7.1 Tipo de investigación.....	6
1.7.2 Nivel de investigación.....	6
1.7.3 Población y muestra.....	6
1.7.3.1 Población.....	6
1.7.3.2 Muestra.....	7
1.7.4 Técnicas para la recolección de datos.....	7
1.7.5 Procesamiento y análisis de datos.....	7

2. CAPITULO II.....	8
MARCO TEORICO	8
2.1 Antecedentes de la investigación	8
2.1.1 Antecedentes internacionales	8
2.1.2 Antecedentes Nacionales.....	9
2.2 Bases teóricas	11
2.2.1 Minería superficial	11
2.2.1.1 Diseño de tajo.....	11
2.2.2 Rendimiento de barras y brocas de perforación	16
2.2.3 Vida útil de barras y brocas de perforación.....	16
2.2.4 Propiedades de las rocas que afectan la perforación	17
2.2.4.1 Dureza	17
2.2.4.2 Resistencia a la compresión.....	18
2.2.4.3 Abrasividad	19
2.2.5 Fundamentos de la perforación	20
2.2.5.1 Perforación rotopercusiva.....	20
2.2.5.2 Perforación rotativa	22
2.2.5.3 Columna de perforación	28
2.2.6 Variables de perforación.....	38
2.2.6.1 Fuerza de empuje (Pull Down).....	38
2.2.6.2 Velocidad de rotación (RPM).....	40
2.2.6.3 Caudal de aire.....	42
2.2.7 Costo de perforación	43
3. CAPITULO III	45
ASPECTOS GENERALES DE LA UNIDAD MINERA LAS CONSTANCIA	45
3.1 Generalidades	45
3.1.1 Historia de la unidad minera Constancia.....	45
3.1.2 Ubicación y accesibilidad.....	46
3.1.3 Clima y tiempo	48
3.1.3.1 Clima	48
3.1.3.2 Flora y fauna.....	49
3.2 Aspecto geológico	51
3.2.1 Geología regional	51
3.2.2 Geología local.....	53
3.2.2.1 Constancia	55
3.2.3 Geología estructural	59

3.2.4	Geología económica	60
3.2.4.1	Cálculo de Reservas	60
3.2.4.2	Constancia (Cu, Mo, Au, Ag).....	62
3.2.5	Caracterización geotécnica.....	62
3.2.5.1	Deposito tipo Skarn	64
3.2.5.2	Diorita.....	65
3.2.5.3	Monzonita.....	66
3.3	Minería	66
3.3.1	Generalidades	66
3.3.2	Ciclo de minado.....	67
3.3.2.1	Perforación	67
3.3.2.2	Voladura	71
3.3.3	Carguío	79
3.3.4	Acarreo	81
4.	CAPITULO IV	84
	FACTORES QUE INLUYEN EN LA VIDA UTIL Y RENDIMIENTO	84
4.1	Alcance de la investigación.....	84
4.2	Operación de perforación	84
4.2.1	Equipos de perforación utilizados	84
4.2.2	Diseño de malla de perforación.....	84
4.2.2.1	Parámetro de diseño por tipo de roca	84
4.2.2.2	Diseño de malla para roca de dureza alta a muy alta.....	86
4.2.2.3	Diseño de malla y secuencia de salida de taladros:	88
4.3	Técnicas de obtención de información.....	89
4.3.1	Trabajos de campo.....	89
4.3.2	Trabajos de gabinete.....	89
4.3.2.1	Análisis de reportes de perforación	89
4.3.2.2	Identificación de los factores que influyen en el proceso de perforación.....	89
4.3.2.3	Metros perforados por equipo	92
4.3.2.4	Vida útil y rendimiento de barras y brocas de perforación.....	93
4.4	COSTO TOTAL DE PERFORACION.....	101
4.4.1	Determinación del costo total de perforación en roca muy dura	102
4.4.2	Determinación del costo total de perforación en roca dura	103
4.4.3	Determinación del costo total de perforación en roca media	104
5.	CAPITULO V:	106
	ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	106

5.1	Evaluación de los factores que influyen en el rendimiento de aceros por tipo de roca.....	106
5.1.1	Evaluación de factores en tipo de roca muy dura.....	106
5.1.2	Evaluación de factores en tipo de roca dura.....	107
5.1.3	Evaluación de factores en tipo de roca Media.....	109
5.1.4	Análisis de la influencia de los factores en la velocidad de perforación.....	110
5.2	Evaluación del costo total de perforación	111
5.2.1	Comparación entre el TDC y la velocidad de penetración	111

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación satelital Tajo Constancia.....	4
Figura 2 Secuencia para llegar a la reserva	12
Figura 3 Diseño de banco.....	13
Figura 4 Perforadora DTH ROC 18.....	22
Figura 5 Perforadora rotativa PV 271D.....	23
Figura 6 Fuente de energía combustión	24
Figura 7 Mecanismo de rotación.....	25
Figura 8 Mecanismo de empuje y rotación	26
Figura 9 Cambiador de barras tipo revolver.....	27
Figura 10 Evacuación de detritus	28
Figura 11 Columna de perforación.....	29
Figura 12 Sección de un amortiguador.....	30
Figura 13 Adaptador de broca	32
Figura 14 Barras de perforación.....	34
Figura 15 Adaptador inferior.....	36
Figura 16 Partes de una broca tricónica	38
Figura 17 Efecto del empuje sobre la velocidad de penetración	39
Figura 18 Efecto de la velocidad de rotación sobre la velocidad de penetración.....	41
Figura 19 Ubicación de la U.M CONSTANCIA	47
Figura 20 Accesos a la U.M. Constancia	48
Figura 21 Bofedal de Cochapampa	50
Figura 22 Liolaemidae tenuis	51
Figura 23 Geología regional U.M Constancia	53
Figura 24 Tajo Constancia	55
Figura 25 Mineralización tajo Constancia sección E-W	59
Figura 26 Geología estructural	60
Figura 27 Esquema del desarrollo de un skarn polimetálico.....	65
Figura 28 Tipos de maquina.....	68
Figura 29 Perforadora Pit Viper-271	70
Figura 30 Perforadora Pit Viper-275.....	71
Figura 31 Camión fabrica MILODON ENAEX	73
Figura 32 Remote Blaster.....	74
Figura 33 PU (Unidad de Programación).....	75
Figura 34 Detonador electrónico DAVEYTRONIC	76
Figura 35 X-BOOSTER 450	77
Figura 36 Diseño de carga.....	78
Figura 37 pala Diesel HITACHI EX5600.....	79
Figura 38 Pala eléctrica Komatsu.....	80
Figura 39 Cargador 944H diesel Caterpillar	81
Figura 40 Camión CAT 793F.....	82
Figura 41 Camión HITACHI EH-4000.....	83
Figura 42 Diseño de malla en roca media - dura.....	86
Figura 43 Diseño de malla – Roca suave	87
Figura 44 Secuencia de salida de taladros.....	88

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación de dureza de roca.....	17
Tabla 2 Resistencias a la compresión más frecuente de los diferentes tipos de rocas.....	19
Tabla 3 Porcentaje de contenido de cuarzo en los diferentes tipos de roca.....	20
Tabla 4 Valores límites de empuje según tricono	40
Tabla 5 RPM requeridos por tipo de roca	41
Tabla 6 velocidades ascensionales	43
Tabla 7 Estimación de recursos.....	62
Tabla 8 Dominios Geotécnicos y sectores de diseño	64
Tabla 9 Características y propiedades físicas del mármol.....	66
Tabla 10 Parámetros de perforación.....	67
Tabla 11 Tipos de maquina	68
Tabla 12 Características de la perforadora Pit Viper 271.....	69
Tabla 13 Perforadora Pit Viper-275	70
Tabla 16 Equipos de carguío	79
Tabla 17 Equipos de acarreo	82
Tabla 18 Características de la perforadora Pit Viper 271.....	84
Tabla 19 Parámetros de medición	85
Tabla 20 Metros perforados por equipo	92
Tabla 21 Rendimiento de barras SANDVIK.....	93
Tabla 22 Rendimiento de Barras AGECOMET	94
Tabla 23 Rendimiento de Barras Sandvik	95
Tabla 24 Consumo de brocas marzo	97
Tabla 25 Consumo de brocas abril.....	97
Tabla 26 Consumo de brocas mayo	98
Tabla 27 consumo de brocas por mes.....	99
Tabla 28 Factores en roca muy dura	99
Tabla 29 Factores en roca dura.....	100
Tabla 30 Factores en roca media.....	101
Tabla 31 TDC Roca muy dura	102
Tabla 32 TDC roca dura.....	103
Tabla 33 TDC roca media	105
Tabla 34 Valores recomendados	106
Tabla 35 Valores recomendados	107
Tabla 36 Valores recomendados	109

INDICE DE GRAFICOS

Gráfico 1 Rendimiento de barras SANDVIK.....	94
Gráfico 2 Rendimiento de barras AGEOMET	95
Gráfico 3 Rendimiento promedio en función al costo.....	96
Gráfico 4 Rendimiento promedio en función al costo.....	103
Gráfico 5 Rendimiento promedio en función al costo.....	104
Gráfico 6 Rendimiento promedio en función al costo.....	105
Gráfico 7 Valores promedio	106
Gráfico 8 Valores promedio	108
Gráfico 9 Valores promedio	109
Gráfico 10 Influencia de los factores en la velocidad de perforación	110
Gráfico 11 TDC vs velocidad de perforación.....	111

CAPÍTULO I

PROBLEMÁTICA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del problema

1.1.1 Fundamentación del problema

En cualquier empresa minera, ya sea bajo el cielo abierto o en las profundidades subterráneas, la perforación, una operación unitaria de gran importancia, desempeña un rol muy importante en el ciclo de minado. Esto se debe a que casi todas las operaciones dependen o están relacionadas con la calidad de la perforación de rocas, lo cual influye en los procesos subsecuentes de carguío, transporte y chancado.

La Unidad Minera CONSTANCIA es una de las principales productoras de cobre en el Perú, del total de producción en el país esta minería supone el 5% de producción de cobre. HUSBAY cuenta con 2 principales tajos que son Constancia que actualmente está en explotación y Pampacancha que inicio su explotación fue en el año 2022.

Dentro de la minería Constancia, el espacio de perforación y voladura ha enfrentado inconvenientes con el rendimiento de las barras y brocas, especialmente con las brocas, debido a un desgaste prematuro. Esto ha llevado a la minera a solicitar frecuentemente a proveedores como Drillco, Agecomet y Sandvik la reposición de triconos y barras de perforación, lo que ha generado pérdidas económicas significativas por el consumo excesivo de brocas y el tiempo perdido en su reemplazo.

Además, se ha observado que los operadores de las maquinas perforadoras no siguen los estándares de los parámetros de perforación establecidos por los fabricantes, a pesar de que la maquina indica un exceso. También se ha notado que, en ciertas zonas, fases o niveles, el

desgaste de las brocas varia, al igual que su durabilidad. Esto nos lleva a la necesidad de realizar un estudio de los importantes elementos que favorecen esta situación.

1.1.2 *Formulación del problema*

1.1.2.1 Problema general.

¿Qué factores intervienen en el rendimiento de la vida útil de las barras y brocas en taladros de producción y cómo influye en los costos de perforación en la Unidad Minera Constancia?

1.1.2.2 Problemas específicos

- ¿Qué factores intervienen durante el proceso de perforación en la Unidad Minera Constancia?
- ¿Qué parámetros consideramos en el rendimiento de las barras y brocas de perforación en la Unidad Minera las Constancia?
- ¿Como influye la evaluación económica del consumo de brocas, en los costos de perforación en la Unidad Minera Constancia?

1.2 Objetivos

1.2.1 *Objetivo general*

Determinar los factores que afectan la durabilidad y el rendimiento de las barras y brocas en los taladros de producción, así como evaluar su impacto en los costos de perforación en la Unidad Minera Constancia.

1.2.2 *Objetivos específicos*

- Identificar los factores que afectan la durabilidad de las barras y brocas durante el proceso de perforación en la Unidad Minara Constancia.

- Analizar como estos factores influyen en el rendimiento de las barras según el tipo de roca en la Unidad Minera Constancia.
- Calcular el costo total de perforación en distintos tipos de roca, considerando la velocidad de perforación en la Unidad Minera Constancia.

1.3 Justificación del estudio

1.3.1 *Justificación del estudio*

Durante la fase de extracción de una operación minera, el primer pilar fundamental de todo este proceso es la perforación, que se lleva a cabo mediante equipos de perforación en la cual la broca que es uno de los componentes de la columna de perforación es quien primero tiene interacción con la roca y después son los aceros de perforación subsiguientes. El progreso tecnológico en estas últimas décadas ha sido esencial para un buen proceso de minería, por lo que el objeto de estudio es el consumo de aceros de perforación, ya que representa un gasto considerable en toda operación minera.

En la unidad minera Constancia, las brocas triconicas al tener una menor vida útil tienden a ser reemplazados con mayor regularidad lo cual eleva los costos en la etapa de perforación, por lo tanto, se efectúa diversos estudios sobre las causas que afectan en la reducción de duración de las brocas y aceros de perforación la cual nos ayudara a la implementación de mejoras y toma de decisiones adecuadas.

Dado que la duración de las barras y brocas no alcanza el rendimiento especificado por los fabricantes, es necesario realizar un estudio que identifique las causas de este problema. Actualmente, el bajo rendimiento de las brocas está provocando un mayor consumo. Este estudio evaluará los factores que influyen en este proceso para implementar medidas que mejoren la duración y la eficiencia de las herramientas de perforación en la unidad minera Constancia.

Se realizará una investigación de rendimiento para analizar los importantes factores que influyen en la durabilidad de las brocas y barras de perforación en la Unidad Minera Constanca, durante un periodo de 3 meses.

1.4 Delimitación del Estudio

1.4.1 Delimitación Espacial

En el corazón de la provincia de Chumbivilcas, la mina Constanca se extiende entre los distritos de Velille, Livitaca y Chamaca. Su principal zona de extracción, el Tajo Constanca, se localiza a pocos pasos de la comunidad de Chilleroja, en el distrito de Livitaca.

Figura 1 Ubicación satelital Tajo Constanca



Fuente: Google Earth Web

1.4.2 Delimitación Temporal

La presente investigación tendrá como inicio el año 2023 con una duración de 3 meses iniciando en marzo y extendiéndose hasta mayo para la recolección de la data y su respectivo estudio, mientras que en los posteriores meses de junio y julio se realizó el estudio y análisis de la misma.

1.5 Formulación de hipótesis

1.5.1 Hipótesis general

Con la identificación de los factores que afectan la vida útil y el rendimiento de las barras y brocas en taladros de producción, se podrá optimizar el consumo de aceros y los costos asociados a la operación de perforación.

1.5.2 Hipótesis específicas

- Con la identificación de los factores que participan en el proceso de perforación, podremos evaluar el rendimiento de las barras y brocas.
- Con la evaluación de los factores que intervienen en el rendimiento de las barras y brocas según al tipo de roca, nos ayudara a reducir las falencias y mejorar la toma de decisiones.
- Con la obtención del costo total de perforación se podrá examinar como varia el costo de perforación en función al tipo de roca, para tomar mejores decisiones respecto a la correcta aplicación de los parámetros de perforación.

1.6 Variables e indicadores

- Variable Independiente:
Vida Útil, Rendimiento
- Variable Dependiente:
Factores

1.6.1 Operacionalización de variables

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
Variable Dependiente		
Vida Útil y/o Rendimiento de las barras y brocas	Metros perforados	Metros (m)
Variable Independiente		
Factores	Tipo de roca	Roca de dureza Media, Dura y Muy Dura (MPa)
	Pulldown	Fuerza aplicada a la broca (Drill bit) (lb)
	RPM	Revoluciones por minuto de la broca
	Evacuación de detritus	Eficiencia de remoción de detritos m ³ /min

1.7 Metodología de la investigación

1.7.1 Tipo de investigación

La presente investigación se enmarca en el tipo explicativo y cuantitativo ya que explica las causas que ocasionan el desgaste prematuro de las brocas de perforación y se recopila los datos de campo.

1.7.2 Nivel de investigación

El presente estudio tiene como nivel el carácter descriptivo – evaluativo, no experimental.

1.7.3 Población y muestra

1.7.3.1 Población

Está conformado por las 4 perforadoras de producción.

1.7.3.2 Muestra

La selección de la muestra se llevó a cabo mediante el método de muestreo selectivo o intencional, un enfoque no aleatorio donde el investigador utiliza su criterio profesional para definir qué participantes serán incluidos en el estudio.

La muestra está conformada por 4 perforadoras de producción.

1.7.4 *Técnicas para la recolección de datos*

La recolección de la data se realiza en el tajo Constancia en la misma malla de perforación mediante la técnica de observación, recolección y procesamiento de datos.

La información de la data se recopiló de 2 formas:

- De la base de datos del sistema, donde se almacena el metraje, resistencia de la roca y parámetros de perforación en tiempo real.
- De los reportes de perforación, donde cada operador llena de manera manual los parámetros de perforación, así como el tipo de roca y metraje en su respectiva guardia.

1.7.5 *Procesamiento y análisis de datos*

Para procesar la data se efectuó en el Excel de la siguiente manera:

- Se descargo en Excel los datos del sistema de REPORT donde se almacenan los datos de las perforadoras, para comparar con los datos recopilados de perforaciones físicos.
- Haciendo uso de las herramientas de filtros, tablas dinámicas y gráficos de Excel se procesó los datos para el desarrollo del cálculo y análisis de datos.
- Una vez obtenemos los hallazgos de los cálculos, se llevó a cabo la interpretación y el desarrollo de la tesis.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 *Antecedentes internacionales*

- a) **Mayoral Fernández Rubén** “Optimización técnico – económica de perforación de barrenos en terrenos homogéneos. Búsqueda de leyes de desgaste para bocas de perforación.” (Universidad de Oviedo) (2012). En su tesis, tuvo como objetivo establecer un sistema experimental que posibilite que el diseño de broca de perforación es óptimo para unas condiciones de terrenos uniformes y analizar el desempeño de los niveles de desgaste abrasivo en brocas de perforación. Obteniendo como conclusión, de entre los diversos elementos que forman la tecnología de perforación, se ha demostrado que la broca de perforación es, entre las variables sobre las que se puede controlar durante el proceso (y que pueden ser estudiadas desde un enfoque técnico), la que más impacto tiene sobre la reducción de coste y la mejora del rendimiento operativo, esto se traduce en un incremento de la velocidad de penetración durante el trabajo de perforación. La selección de los diseños de broca de perforación adecuados para el macizo objeto del trabajo minero, requiere un análisis del desgaste de dichas brocas. Por lo tanto, se deduce que también es imperativo investigar el desgaste asociado a la perforación por rotopercusión. También concluyo que no es posible garantizar la existencia de leyes numéricas o matemáticas que nos faciliten la predicción de la curva de desgaste, basándose en los datos de campo recolectados. De acuerdo con el comportamiento de las muestras analizadas, su desgaste se divide en dos etapas: una primera fase con una pendiente más pronunciada hasta alcanzar el 20% de desgaste, y una segunda fase donde la

inclinación se reduce significativamente. A medida que se intensifica el plano de desgaste, la boca se vuelve más susceptible a las variaciones en la pendiente de la normativa que la origina.

- b) **Guzman Garcia, A. V., & Rojas Villacis, C. A.** (2013) “Gestión para el mejoramiento del sistema de control del uso de aceros de perforación en la Mina Radomiro Tomic de la división Radomiro Tomic de Codelco-Chile”, la finalidad principal es mejorar el sistema de control del uso de aceros de perforación en la mina Radomiro Tomic para optimizar los costos y aumentar la eficiencia operativa, tienen como conclusión: La optimización de los registros, es importante ya que es donde destaca la necesidad de mejorar el registro del cambio de los aceros de perforación mediante la observación y recopilación de información in situ, así como el uso de datos extraídos de sistemas como Mineops y TotalView, de igual manera se concluyó la importancia de implementar un sistema de control más riguroso y detallado puede conducir a una mayor eficiencia operativa y un uso más racional de los recursos, contribuyendo el equilibrio de las actividades mineras, subrayando la importancia de la durabilidad de cada componente del set de perforación y su precio, lo que contribuye a una mayor gestión y minimización de precios en las operaciones de perforación.

2.1.2 *Antecedentes Nacionales*

- a) **Wilson Umasi, Carlos;** “Estudio de comparación entre rendimientos en brocas de 12 1/4” en yacimientos skarn a tajo abierto para selección óptima” (Universidad Nacional San Agustín de Arequipa) (2013). En su investigación planteo como objetivo describir las comparaciones entre los rendimientos ideales de brocas de 12 1/4” de diámetro, para las marcas como Atlas Copco, Sandvik, Varel y PDB en yacimientos de tipo skarn

metasomático de contacto, el cual trabaja con cuatro clases de roca: rocas de dureza media, suave, dura y muy dura.

Concluyo que el rendimiento de brocas de marca Sandvik tuvo una mayor duración respecto a las demás brocas como son Atlas copco y Varel,

También concluyo que las marcas de brocas Sandvik y Atlas Copco no solo tuvieron un mayor rendimiento, en relación a los precios totales de perforación, estos se consideran óptimos US\$ 5,9 y 5,8.

- b) **Aparco Huillcas**, Adrián; “Optimización de la vida útil de los aceros de perforación para la reducción de costos en Mina san Vicente – Cia. San Ignacio de Morococha S.A.A. año 2018” (Universidad Nacional de Huancavelica) (2019). En su investigación tuvo como objetivo general determinar la influencia de la optimización de la vida útil los aceros de perforación en la reducción de costos de mina San Vicente – compañía minera san Ignacio de Morococha, se concluye que, gracias al mantenimiento adecuado, uso apropiado y afilado oportuno de las brocas, se logró incrementar en un 35% la vida útil de las brocas de perforación de 45 mm (en comparación con los valores iniciales), alcanzando un aumento de 1124.15 pies perforados por broca. Además, se evidenció que una evaluación incorrecta del macizo rocoso impacta negativamente en el rendimiento de la perforación, lo que acelera el desgaste prematuro de los aceros utilizados en este proceso.
- c) **Chirinos Andía**, Alexis Martín; “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 JCC contratistas generales s.a. Sociedad Minera Cerro Verde” (Universidad Nacional San Agustín de Arequipa) (2015). Su estudio tuvo como propósito examinar el uso idóneo de los aceros de perforación para respaldar taludes estables, así como elevar la producción de material volado diario en los canales 1, 2 y 3

del proyecto K-115 perteneciente a la expansión, del cual concluyo que el paralelismo y la desviación de los taladros influyen directa y significativamente en 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, También se determinó que gestionar con precisión los aceros de perforación es una tarea intrincada debido a la alta cantidad de factores incontrolables. No obstante, estos pueden detectarse a tiempo para implementar medidas correctivas inmediatas, garantizando así la continuidad productiva, sobre todo en proyectos donde las etapas constructivas están estrechamente vinculadas.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 *Minería superficial*

Según Herrera Herbert. Juan. La minería a cielo abierto o tajo abierto es toda excavación que se ejecuta sobre la superficie, se caracteriza por el movimiento de grandes volúmenes de material, durante la etapa de desbroce y explotación.

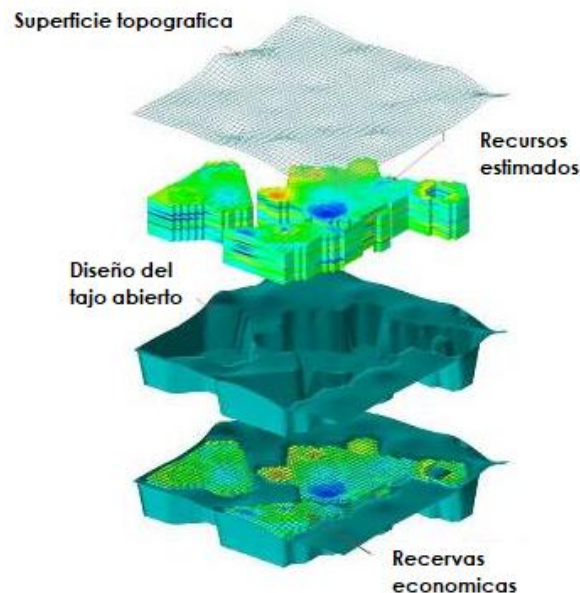
La minería a tajo abierto se utiliza cuando los depósitos de mineral (metálico y no metálico) se encuentran próxima a la superficie.

2.2.1.1 Diseño de tajo

CAMUS, J. P. 2002. “Management of Mineral Resources: creating value in the mining business, Society for Mining Metallurgy”. El diseño de una mina a cielo abierto constituye una de las actividades fundamentales en la evaluación técnico-económica de un proyecto minero, ya que no solo establece las reservas económicamente viables a explotar, sino que también delimita la configuración definitiva de la mina al finalizar su vida útil en cada nivel del yacimiento, los ángulos de los taludes en los distintos estratos,

el volumen de material no útil a retirar, su localización y la concentración del mineral que asegurará optimizar la rentabilidad.

Figura 2 Secuencia para llegar a la reserva



Fuente: Camus, J. P.

Para el diseño de un tajo se requiere de algoritmos y modelos matemáticos, dado de la complejidad de estos cálculos se modela mediante softwares robustos con gran capacidad de procesamiento de datos como el MineSighth3D.

A. Diseño de bancos

CAMUS, J. P. 2002. "Management of Mineral Resources: creating value in the mining business, Society for Mining Metallurgy". La función principal de los bancos es crear un entorno seguro para las personas y los equipos que deban operar cerca del frente del talud. En consecuencia, deben satisfacer las necesidades de:

- Confiabilidad; porque las caras del banco y las crestas deben ser estables. Los factores clave que influyen en la continuidad de las caras del banco y las crestas son la geometría de la junta y la resistencia al cizallamiento de la junta.

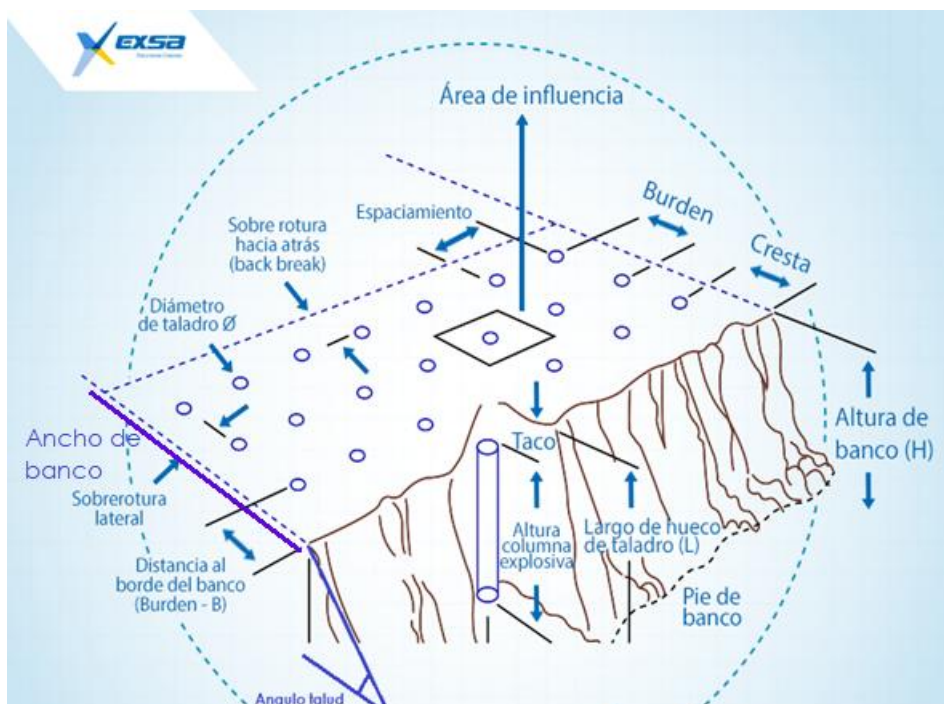
- La seguridad; porque es necesaria una anchura adecuada de los bancos para mitigar y frenar el peligro generado por fragmentos rocosos inestables, además de evitar cualquier derrame de los bancos anteriores.
- Acceso a lo largo de las orillas para los operarios que realizan tareas de vigilancia de taludes, limpieza de rocas y vertidos.

B. Partes de un banco

Las partes de un banco en minería son las siguientes

- La altura del banco es el espacio vertical entre los bancos de enganche.
- Cresta, es en limite o borde superior
- La anchura del banco representa toda la longitud que tendrá que minar el equipo de carga.
- El ángulo de la parte frontal del banco, es el grado de inclinación final que tendrán la cara del talud o banco.

Figura 3 Diseño de banco



Fuente: Exsa soluciones

C. Malla de perforación (BxE)

La malla de perforación se refiere a la distribución de los taladros en una superficie determinada; los parámetros de diseño se utilizan para la voladura en el cálculo y diseño de la carga de los taladros, en función al burden y espaciado, tales como aquellos relacionados con las particularidades físicas de la roca: densidad, dureza, grado de fisuración, coeficientes de resistencia a la deformación y rotura, etc.; y otros son modificables, lo que significa que pueden ajustarse según las necesidades específicas del trabajo y el estado del terreno.

a) Burden (B)

Denominado también como piedra, tabla o trayectoria de mínima resistencia hacia la superficie libre, el burden corresponde a la distancia medida desde la base o eje del taladro hasta la superficie libre perpendicular más próxima. Asimismo, representa el espacio entre hileras de taladros en una detonación. Se reconoce como el factor más crítico en el diseño de voladuras, ya que depende principalmente del diámetro del taladro, las propiedades de la roca, la altura del banco y las características técnicas del explosivo utilizado. Este parámetro se determina según el grado de fragmentación requerido y la distancia que debe alcanzar el material tras la detonación. Si el burden (distancia entre el taladro y la cara libre) es demasiado grande, la explosión encontrará una resistencia elevada para fracturar la roca de manera eficiente, lo que provocará que los gases generados se liberen de forma abrupta, creando cráteres en la boca del taladro. Por el contrario, si el burden es insuficiente, la energía liberada será excesiva, generando una proyección descontrolada de fragmentos rocosos y vibraciones intensas.

La fórmula de Pearse (1955) establece un modelo matemático en el que el cálculo del burden se basa en la interacción entre dos fuerzas: la energía liberada por el explosivo (representada por la presión de detonación) y la capacidad del material para resistir esfuerzos de tensión bajo condiciones dinámicas:

$$B = K_v \times 10^{-3} \times D \times \left[\frac{PD}{RT} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

B = Burden (m)

D = Diámetro del taladro en (mm)

K = Factor de volatibilidad (0.7 a 1.0)

PD = Presión de detonación de la mezcla explosiva (MPa)

RT = Resistencia a la tracción dinámica de la roca (MPa)

b) Espaciamiento

Se refiere a la distancia entre los agujeros de una misma fila que se disparan al mismo tiempo o con retardos diversos y más largos. Se determina utilizando la longitud de la carga, la secuencia de cocción y el tiempo de retardo entre orificios. Al igual que en el caso de la carga, las distancias demasiado pequeñas provocan aplastamientos y cráteres en la boca del agujero, crestas al pie de la cara libre y bloques masivos en la sección de carga. Por el contrario, los espaciamientos excesivos provocan una fractura insuficiente, espinas en el pie del banco y una nueva cara libre frontal muy irregular. En la práctica, normalmente es igual al

burden para malla de perforación cuadrada $E = 8$ y de $E = 1,3$ a $1,5$ para malla rectangular o alterna.

El espaciamiento se determina con la siguiente formula:

$$E = \sqrt{BxL}$$

Donde:

B = Burden

L = Longitud del taladro en pies

2.2.2 Rendimiento de barras y brocas de perforación

Epiroc. “La importancia de los aceros de perforación”. (2018). Al hablar del rendimiento del acero de perforación, nos centramos en la vida útil que puede alcanzarse en función de la aplicación y el terreno. No hay ningún parámetro en la perforación que no esté relacionado o que afecte al rendimiento de los demás factores para maximizar tanto el rendimiento de la herramienta como la velocidad de perforación.

2.2.3 Vida útil de barras y brocas de perforación

López Jimeno, Carlos “Manual de perforación y voladura de rocas” (1994). La vida útil de los aceros de perforación viene determinada por diversas circunstancias, por lo que no pueden facilitarse datos específicos. A la hora de establecer la vida útil práctica en el emplazamiento de un proyecto, se debe tomar en consideración la viabilidad operativa y la seguridad, lo que compromete que los equipos de perforación deben cambiarse antes de que fallen y obstaculicen la producción.

La durabilidad del acero de perforación es la cantidad de tiempo que la herramienta puede funcionar eficazmente; la especifica el fabricante y viene determinada por el material con el que se creó.

El desgaste del acero de perforación es la reducción de la vida útil causada por el tipo de herramienta (configuración), la roca y las fuerzas que se les aplican.

El deterioro de los aceros también es el resultado de una combinación de los siguientes factores:

- ✓ Composición mineralógica de la roca: características como dureza, granulometría y estructura geológica.
- ✓ Propiedades geomecánicas del material: resistencia, rigidez y capacidad abrasiva.
- ✓ Profundidad alcanzada y rapidez de avance durante el corte o perforación.
- ✓ impacto durante operaciones en roca fracturada con contacto imperfecto ("al vacío") o bajo condiciones variables.
- ✓ Tipo de corte o perforación (percusión, "rasgado", rotación).
- ✓ Presencia de enfriadores entre factor de roca y la herramienta.
- ✓ Sistema eficiente de remoción y evacuación de detritus.
- ✓ Calidad del metal en términos de tenacidad y resistencia al desgaste.

2.2.4 *Propiedades de las rocas que afectan la perforación*

2.2.4.1 Dureza

López Jimeno, Carlos (Manual de perforación y voladura de rocas) (1994). La dureza es la resistencia de una capa superficial a la penetración de una sustancia más dura.

El principal tipo de resistencia que hay que superar al perforar es la dureza de la roca, ya que una vez que la broca ha penetrado en la roca, el resto de las actividades resultan más sencillas.

Tabla 1 Clasificación de dureza de roca

CLASIFICACION	DUREZA MOHS	RESISTENCIA A LA COMPRESION (MPa)
Muy dura	+ 7	+ 200
Dura	6 - 7	120 - 200
Medio dura	4,5 - 6	60 - 120
Medio blanda	3 - 4,5	30 - 60
Blanda	2 - 3	10 - 30
Muy blanda	1 - 2	- 10

Fuente: Manual de perforación y voladura de López Jimeno

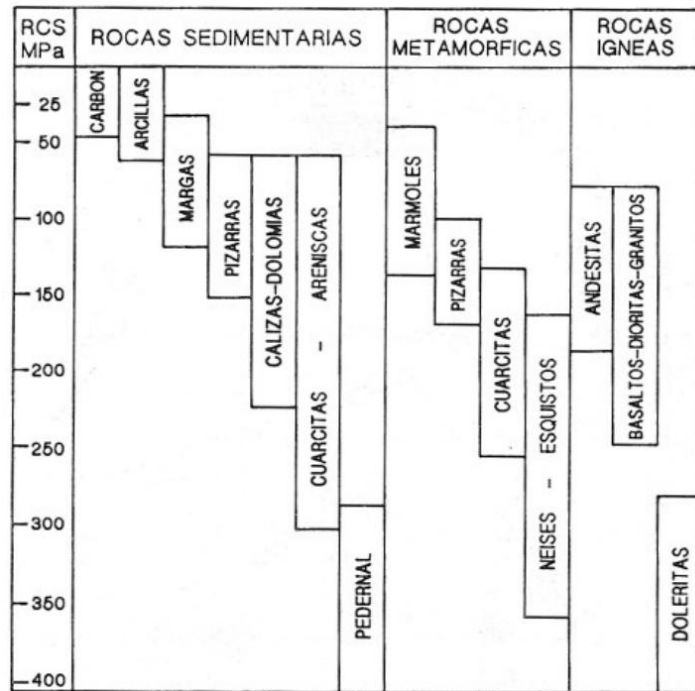
2.2.4.2 Resistencia a la compresión

López Jimeno, Carlos (Manual de perforación y voladura de rocas) (1994). La resistencia mecánica de una roca es su capacidad para resistir la destrucción bajo una tensión externa, ya sea estática o dinámica.

Las rocas presentan una capacidad máxima de soportar fuerzas de compresión; por lo general, su resistencia a la tracción no supera entre el 10% y 15% de dicha capacidad, debido a su naturaleza frágil, la presencia de imperfecciones internas y heterogeneidades en su estructura, así como la baja cohesión entre las partículas que las conforman.

La resistencia de las rocas viene determinada principalmente por su composición mineralógica. El cuarzo es el mineral más sólido de las rocas, con una resistencia superior a 500 MPa, seguido de los silicatos ferromagnésicos y los aluminosilicatos, con resistencias que oscilan entre 200 y 500 MPa, y la calcita, con resistencias entre 10 y 20 MPa. En consecuencia, a medida que aumenta la concentración de cuarzo, también lo hace la resistencia global.

Tabla 2 Resistencias a la compresión más frecuente de los diferentes tipos de rocas



Fuente: Manual de perforación y voladura de López Jimeno

2.2.4.3 Abrasividad

López Jimeno, Carlos (Manual de perforación y voladura de rocas) (1994). La abrasividad se refiere a la propiedad de una roca para deteriorar la superficie de contacto de un cuerpo más duro mediante la fricción durante el movimiento.

Los siguientes factores contribuyen a la capacidad abrasiva de las rocas:

- La dureza de los granos componentes de la roca.
- Forma del grano. Los más angulosos son más abrasivos que los esféricos.
- El tamaño de los granos
- La porosidad de la roca
- La heterogeneidad

Tabla 3 Porcentaje de contenido de cuarzo en los diferentes tipos de roca

TIPO DE ROCA	CONTENIDO EN CUARZO (%)	TIPO DE ROCA	CONTENIDO EN CUARZO (%)
Anfibolita	0 - 5	Mica neis	0 - 30
Anortosita	0	Mica esquisto	15 - 35
Diabasa	0 - 5	Norita	0
Diorita	10 - 20	Pegmatita	15 - 30
Gabro	0	Filita	10 - 25
Neis	15 - 50	Cuarcita	60 - 100
Granito	20 - 35	Arenisca	25 - 90
Grauvaca	10 - 25	Pizarra	10 - 35
Caliza	0 - 5	Pizarra grano fino	0 - 20
Mármol	0	Taconita	0 - 10

Fuente: Manual de perforación y voladura de López Jimeno

2.2.5 *Fundamentos de la perforación*

2.2.5.1 Perforación rotoperkusiva

Atlas Copco. “Manual de perforación”. 2017. Técnica de perforación de un agujero en la roca mediante ondas de choque generadas por una masa que golpea una broca giratoria o una columna de varillas giratorias con una broca en el extremo opuesto, con la broca girando debido a uno o varios dispositivos giratorios, como un rifle, una varilla, un motor incorporado o un accionamiento externo.

Las perforadoras a rotoperkusión clasifican en dos tipos:

- Martillo en cabeza
- Martillo en el fondo o D.T.H.

La más utilizada en minería superficial es la DTH

A. Perforación con martillo en el fondo (DTH)

Atlas Copco. “Manual de perforación”. 2017. Este sistema funciona en la parte inferior de una columna de perforación y tiene la ventaja de actuar directamente sobre la roca a perforar, lo que aumenta considerablemente la eficacia del trabajo porque, a diferencia de los sistemas de perforación en superficie, la pérdida de energía entre la columna y la herramienta de trabajo se reduce al mínimo. Otra ventaja de este planteamiento es la limpieza de los disparos, especialmente en suelos secos; la limitada separación anular que se produce entre las varillas y la herramienta de corte permite una alta velocidad de barrido al utilizar el aire de escape del martillo perforador. Otra ventaja es el bajo nivel de ruido, causado por el golpeteo del martillo y el escape de ruido en el fondo del pozo.

Entre sus limitaciones se encuentra el peligro de utilizar equipos neumáticos bajo la superficie; si el material cae al fondo por accidente o por derrumbamiento del pozo, se generará un anillo de bloqueo que evitará o complicará el retiro y transporte del material excavado. En ciertos casos, esto resulta inviable, ocasionando la pérdida del martillo perforador, la herramienta y una sección de la tubería de perforación. Por indicación, si hay demasiada agua bajo la superficie, se generará demasiado lodo, poniendo en peligro la operación debido a las dificultades de limpieza del pozo; además, este enfoque no se aconseja para zonas blandas o de dureza variable.

Figura 4 Perforadora DTH ROC 18



Fuente: Manual de perforación Atlas Copco

2.2.5.2 Perforación rotativa

Atlas Copco. "Manual de perforación". 2017. El principio utilizado por los ejercicios giratorios es el uso de energía en una roca y gira el ejercicio que destruye lo común con una excelente fuerza guiada.

Este método se basa en una fuente de alimentación, una pértiga con varillas o tubos separados o unidos que llevan el peso, la rotación y el aire sobre la perforadora, que tiene dientes de acero o insertos de carburo de tungsteno para romper la roca. Esta perforadora se utiliza generalmente para la perforación de producción.

Los diámetros de los barrenos varían entre las 2" y las 17 1/1" (50 a 444 mm), siendo el rango de aplicación más frecuente en minería a cielo abierto de 6" a 12 1/4"(152 a 311 mm). Diámetros mayores están limitados a minas con una elevada producción, y por debajo de 6" su uso es limitado debido a la corta vida útil de los triconos, ocasionada

por las dimensiones reducidas de los cojinetes. Este método de perforación destaca por su gran adaptabilidad, ya que cubre una gran cantidad de rocas, que van desde muy suaves, donde su uso comenzó a muy pesado, donde han movido otros sistemas, como la perforación térmica (Jet Piercing) en las taconitas.

En este capítulo de estudio nos centraremos en perforadoras rotativas, dado que son los equipos utilizados en el lugar de estudio.

Figura 5 Perforadora rotativa PV 271D

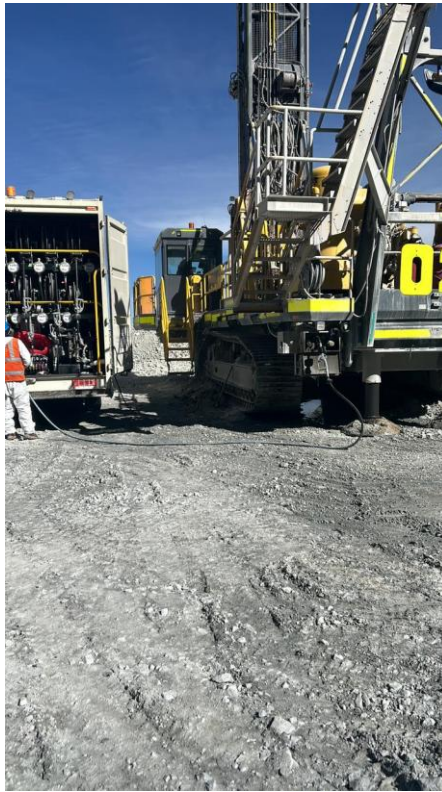


Fuente: catalogo Epiroc

A. Fuentes de energía

López Jimeno, Carlos (Manual de perforación y voladura de rocas) (1994). Las principales fuentes de energía pueden ser: motores Diesel o eléctricos. La perforación con un diámetro de perforación por encima de 9 "(230 mm) se generaliza con una resistencia a la tensión media, que se alimenta con un taladro alternativamente con un cable de cuatro conductores con recubrimiento de goma.

Figura 6 Fuente de energía combustión



Fuente: Propia

B. Sistema de rotación

López Jimeno, Carlos (Manual de perforación y voladura de rocas) (1994). Para hacer girar las barras y transmitir el par, las unidades de perforación suelen incluir un mecanismo de rotación instalado en un bastidor que se desplaza a lo largo del mástil de perforación.

El sistema de rotación directa puede estar compuesto por un motor eléctrico o hidráulico. El primero es el de mayor uso en máquinas de gran tamaño, ya que se beneficia del gran control de luz asociado con intervalos de motor de corriente continua de 0 a 100 r/min.

El sistema hidráulico está compuesto por un circuito cerrado que integra una bomba de presión constante y un convertidor de par, el cual permite variar la velocidad de giro del motor hidráulico ubicado en la parte superior de la columna de perforación.

Figura 7 Mecanismo de rotación



Fuente: Manual de introducción a la perforación San Martín

C. Sistema de empuje y elevación

López Jimeno, Carlos (Manual de perforación y voladura de rocas) (1994). Para lograr una buena tasa de penetración en el pozo, es una fuerza impulsora definitiva que depende tanto de la resistencia a la roca como del diámetro del orificio para la perforación. Dado que el peso de las barras es insuficiente para lograr la carga deseada, deben aplicarse fuerzas adicionales, que normalmente se comunican casi en su totalidad mediante energía hidráulica.

Existen principalmente cuatro sistemas:

- Cremallera y piñón directo.
- Cadena directa.

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

Figura 8 Mecanismo de empuje y rotación



Fuente: Manual de introducción a la perforación San Martin

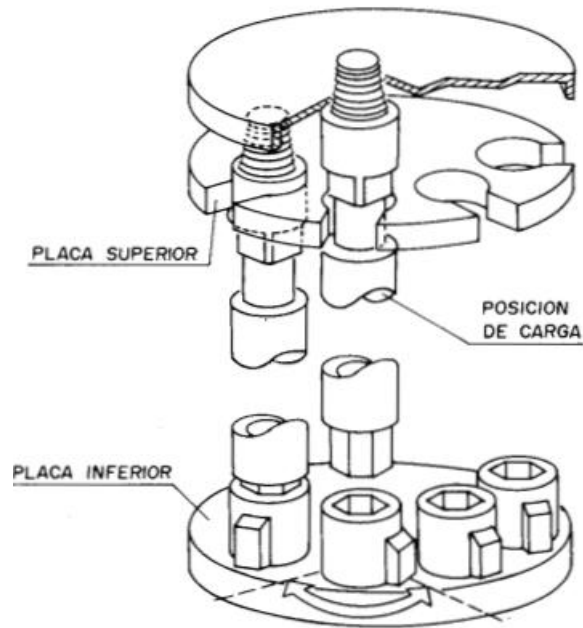
D. Mástil y cambiador de barras

López Jimeno, Carlos (Manual de perforación y voladura de rocas) (1994). La estructura del mástil, que soporta las barras y el gestor de rotación, debe estar construida para soportar la flexión causada por el peso, el inserto de presión y la tensión durante el momento de rotación. Los diseños más frecuentes han sido los de celosía, los normales y los de sección tubular.

El equipo moderno tiene una estructura de haz de cajón, que permite el uso de una longitud de mástil más grande y el uso de pares con alta rotación. Los mástiles generalmente se pliegan con cilindros hidráulicos o tuberías telescópicas, ya que es necesario reducir el peso de la máquina. Los tiempos de elevación del mástil oscilan entre 2 y 5 minutos.

La perforación inclinada, generalmente es perjudicial para aquellos que son mástiles y varillas debido a los esfuerzos de fatiga, además de la capacidad de reducir y preocuparse por la evacuación de los detritus y transformarlo todo a una reducción en la producción, lo que puede alcanzar hasta un 20% en el caso de rocas sólidas. La inclinación se puede ajustar de 0 a 30 ° con un intervalo de 5 °.

Figura 9 Cambiador de barras tipo revolver



Fuente: Manual de perforación de López Jimeno

E. Sistema de evacuación de detritus

López Jimeno, Carlos (Manual de perforación y voladura de rocas) (1994). El aire comprimido desempeña las siguientes funciones.

- Refrigerar los cojinetes del tricono y retirar los residuos acumulados en ellos.
- Mantener libre de desechos la base del taladro.
- Transportar los fragmentos de roca hacia la superficie a la velocidad de ascenso requerida.

El aire circula a través del tubo del compresor hasta el mástil y desde él con una manguera elástica protegida en la cabeza de rotación, entrando en la varilla de perforación, lo que conduce al taladro, dejando entre los conos para crear la extracción de los detritus al levantarlos a la superficie. Si las piezas son grandes y el flujo de aire inapropiado cae nuevamente en el fondo, se crea fresco hasta que alcanza el tamaño correcto para aumentar.

Un flujo de aire insuficiente provoca un consumo de energía ineficiente, una menor tasa de distribución y un aumento del desgaste en la perforación. Por otro lado, una velocidad de ascenso excesiva incrementa el deterioro de las barras de perforación.

Figura 10 Evacuación de detritus



Fuente: Manual de Fundamentos de la perforación San Martín

2.2.5.3 Columna de perforación

Atlas Copco. “Manual de perforación”. 2017. La columna de perforación enlaza los componentes de la superficie del equipo de perforación al pozo y el barreno, tanto para bombear el fluido de perforación al barreno, y puede subir, bajar y girar el barreno y los pozos.

La columna de perforación es uno de los elementos más caros del equipo de perforación, por lo que su durabilidad establecerá si su capital financiera ha disminuido o ha causado a la compañía.

La columna de perforación está conformada por el amortiguador (shock absorber), el adaptador superior (top sub), barra de perforación (drill pipe), adaptador inferior (bit sub), tricono.

Figura 11 Columna de perforación



Fuente: rotary-drilling-brochure Sandvik

A. Amortiguador (shock absorber)

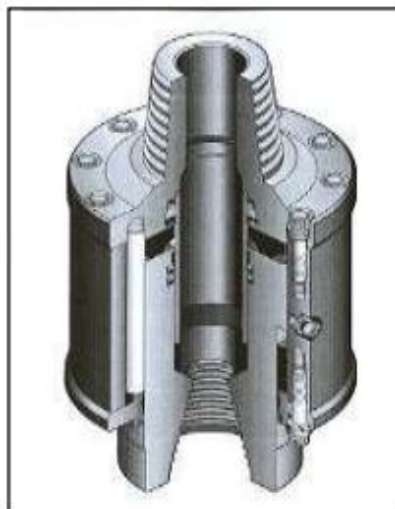
Atlas Copco. "Manual de perforación". 2017. El amortiguador de vibraciones o de impactos es uno de los componentes más críticos del conjunto de la columna. Su función principal es absorber parte de la energía emitida por la broca que no fue utilizada para fracturar la roca. Dada la evolución tecnológica en los aceros de perforación y las crecientes exigencias de productividad en minería, este

componente es esencial para garantizar un rendimiento eficiente durante la operación.

Un accesorio bien diseñado tiene una masa amortiguadora de impactos significativa como su principal elemento estructural, capaz de absorber golpes y vibraciones no deseadas que dañan el equipo y alteran la operación de perforación. A continuación, se enumeran los impactos directos más habituales durante la operación debido a un amortiguador imperfecto o a su ausencia:

- Deterioro en el tricono de perforación, rotura de botones y daños en rodamientos.
- Daños en rodamientos de cabezal de rotación, ejes de transmisión, dientes en conjuntos de engranajes.
- Daños en el sistema de las torres de perforación y puntos de uniones soldadas.
- Desviación en el rumbo de la perforación.
- Vibraciones excesivas en cabina de control.

Figura 12 Sección de un amortiguador



Fuente: Manual de perforación Atlas Copco

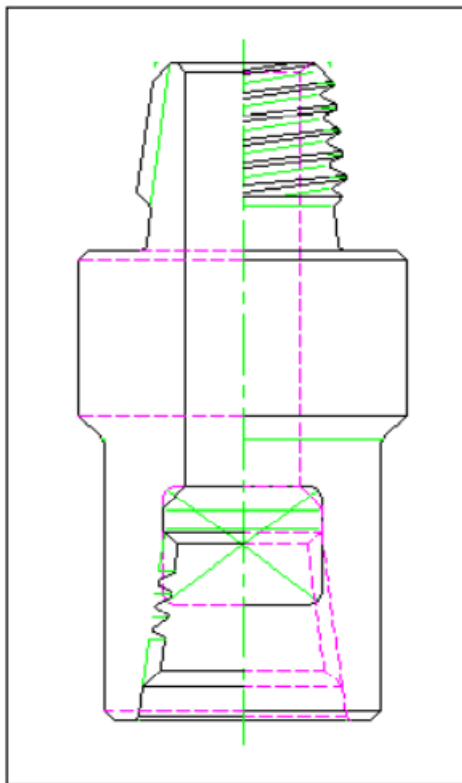
B. Adaptador superior

Atlas Copco. “Manual de perforación”. 2017. La columna de perforación o tren de barras continúa con los adaptadores superiores, cuya función principal es conectar componentes con diferentes uniones roscadas. Según lo que expresa su denominación, pueden adaptarse a diversos tipos de roscas o conectar piezas de distintos tamaños. Así también, estos adaptadores actúan como elementos de desgaste, protegiendo los hilos de los spindler de los cabezales de rotación y los hilos de los amortiguadores.

La lubricación en los hilos de unión que conectan las barras de perforación es esencial para alargar su durabilidad. Solo se deben engrasar los hilos machos de los adaptadores, no los hilos hembras, ya que el flujo de aire podría arrastrar la grasa hasta el fondo de la columna de perforación, lo que podría obstruir las toberas de refrigeración y lubricación de los triconos.

Los adaptadores, al igual que el resto de la columna de perforación, están fabricados en acero de alta resistencia. Por ello, se debe evitar en la medida de lo posible la aplicación de soldadura al fijarlos a los amortiguadores. Un sobrecalentamiento en las zonas de acoplamiento del amortiguador ocasiona un revenido en el acero, alterando su microestructura metalúrgica y disminuyendo su resistencia estructural.

Figura 13 Adaptador de broca



Fuente: Manual de perforación de Atlas Copco

C. Barras de perforación

Atlas Copco. “Manual de perforación”. 2017. Las barras de perforación son elementos de extensión y conexión que transmiten la energía de rotación y empuje desde el cabezal de rotación hasta la herramienta de corte o el tricono. Se ubican inmediatamente debajo de los adaptadores superiores. Además, conducen internamente el aire necesario para evacuar el material cortado desde el fondo del barreno hasta la superficie.

Las longitudes, tamaños, hilos y diseños de las barras de perforación están determinados exclusivamente por la máquina en la que serán utilizadas. Excepto por algunos accesorios especiales, ningún otro componente de la columna de perforación está sujeto a condiciones de operación tan exigentes y severas como las barras de

perforación. Por ello, para mejorar el rendimiento y prolongar la vida útil de este equipo de perforación esencial, es fundamental combinar el conocimiento de los ingenieros de diseño con la colaboración total de los usuarios en el campo. Cada barra de perforación tiene un número de identificación único e irreplicable que permite su seguimiento a lo largo del tiempo. Con esta información, el fabricante puede mejorar el diseño y adaptarlo a las condiciones del terreno.

Las barras de perforación no se fabrican de manera uniforme; como se mencionó anteriormente, su diseño depende principalmente del terreno en el que serán utilizadas. Su construcción consiste esencialmente en un tubo de unión entre un terminal roscado macho y un terminal roscado hembra. Como resultado, la vida útil de las barras de perforación se determina por el desgaste progresivo de la pared del tubo.

Más allá de los aspectos previos, las barras de perforación se clasifican según el grosor de la pared del tubo. En casos donde la dureza de la roca exige una fuerza de empuje incrementada, estas barras deben resistir cargas de compresión más altas. Por ello, el grosor de su pared debe ser aumentado.

Figura 14 Barras de perforación



Fuente: Manual de perforación de Atlas Copco

D. Adaptador inferior (bit sub)

Atlas Copco. “Manual de perforación”. 2017. Los adaptadores de tricono a barra se encuentran en la parte inferior de la columna de perforación y conectan las barras de perforación con los triconos. Su función es equivalente a la de los adaptadores superiores; en ciertas situaciones, sirven para conectar piezas con roscas distintas, pero jamás elementos de diámetros diferentes.

Es el elemento de la columna de perforación que está sometido a las condiciones más extremas de desgaste por abrasión, las cuales comienzan en el fondo de la perforación.

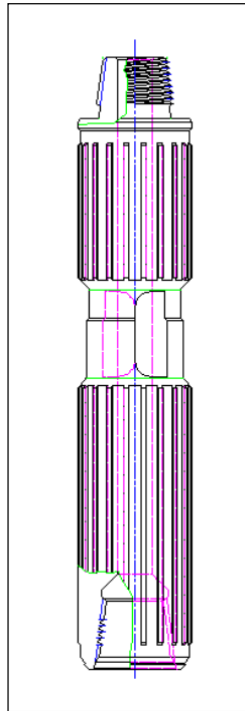
Históricamente, los adaptadores de triconos también se usaban para soportar la columna de perforación. Para este propósito, fueron diseñados con rodillos giratorios

o aletas de acero antiabrasivo dispuestas de manera longitudinal o helicoidal. El avance acelerado en la ingeniería aplicada a la fabricación de triconos de perforación modernos generó un incremento en la velocidad de perforación, lo que significó mayores r.p.m. y una mayor carga sobre el tricono mismo. Para mantener limpio el frente de corte, el material removido debía extraerse del fondo del barreno lo más rápido posible.

La evacuación del material removido reduce la fuerte turbulencia que desgasta los faldones del tricono, el cuerpo del adaptador y, eventualmente, el resto de los componentes de la columna de perforación. Esta turbulencia, junto con la acción de remolienda del tricono al pasar sobre partículas más grandes que no son arrastradas por el aire de barrido, provoca el desgaste de los faldones del tricono y del cuerpo del adaptador.

El flujo caótico de material en el fondo del barreno es generado por el aire a alta presión que sale de las toberas del tricono. Esta turbulencia es causada por las tres toberas de barrido, así como por la rotación necesaria para fracturar y remover el material cortado.

Figura 15 Adaptador inferior



Fuente: Manual de perforación de Atlas Copco

E. Broca tricónica

López Jimeno, Carlos (Manual de perforación y voladura de rocas) (1994). Aunque los tricónos surgieron como una herramienta de perforación en 1910, no fue hasta la invención de los equipos rotativos en la década de 1960 que se lograron avances significativos en su diseño y fabricación, permitiendo su uso generalizado en la minería.

Inicialmente, solo eran aplicables a formaciones rocosas blandas o de baja resistencia. Sin embargo, en la actualidad, estas herramientas permiten que la perforación rotativa compita con los métodos tradicionales de perforación en rocas duras.

Su atributo principal radica en la incorporación de conos que rotan sobre sus ejes individuales conforme la broca se desplaza en el fondo. El movimiento de

perforación de este tipo de broca está determinado principalmente por la descentralización de los conos. Esto permite que el cono se detenga frecuentemente mientras la broca gira y raspe el fondo del hoyo, de manera similar a las brocas de arrastre, lo que aumenta la velocidad de perforación en la mayoría de las formaciones. El ángulo de descentralización del cono varía desde aproximadamente cuatro grados en formaciones blandas hasta cero grados en formaciones particularmente duras.

Una broca tricónica se caracteriza por tener los siguientes elementos:

- Cortadores
- Cojinetes
- Cuerpo

El trabajo de un tricono se basa en la combinación de dos acciones:

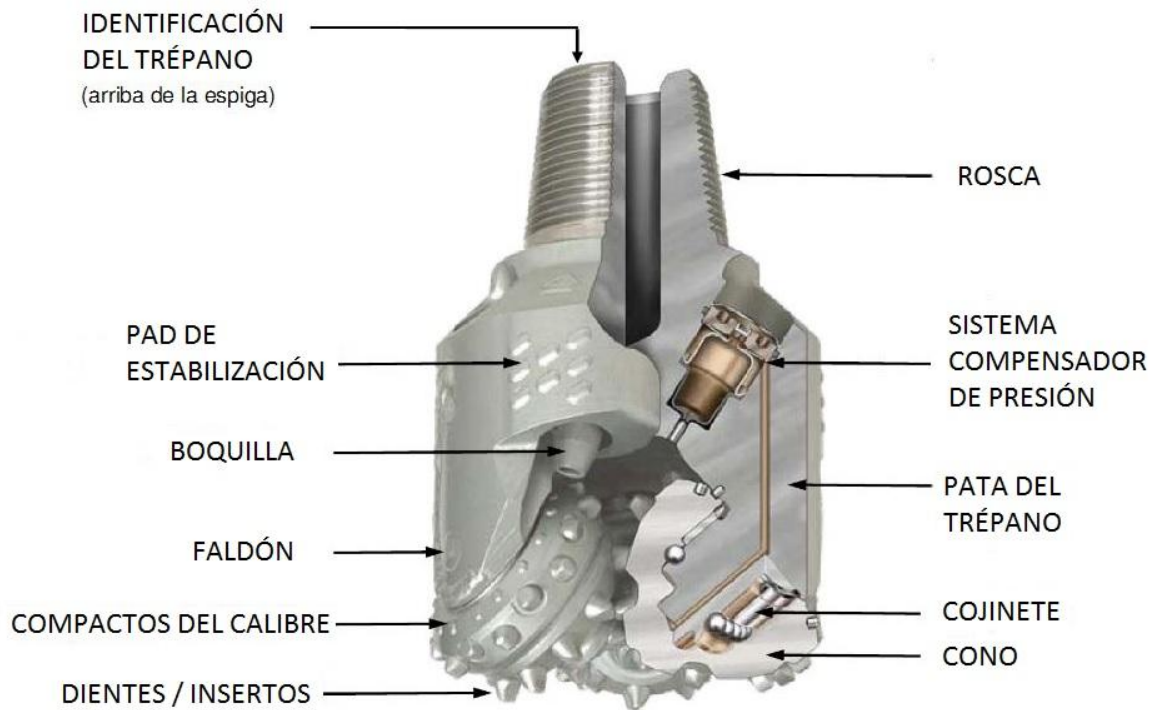
- **Indentación:**

La fuerza aplicada a la broca hace que los dientes o insertos del tricono perforen la roca. Este método es equivalente a triturar la roca.

- **Corte:**

Los fragmentos de roca se forman debido al movimiento lateral de desgarre de los conos al girar sobre el fondo del barreno. La acción de corte sólo se produce, como tal, en rocas blandas, ya que en realidad es una compleja combinación de trituración y cizalladura debido al movimiento del tricono.

Figura 16 Partes de una broca tricónica



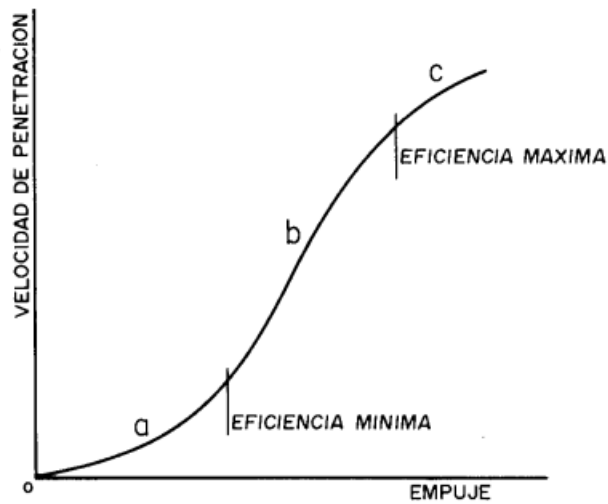
Fuente: Aceros AGECOMET

2.2.6 Variables de perforación

2.2.6.1 Fuerza de empuje (Pull Down)

López Jimeno, Carlos (Manual de perforación y voladura de rocas) (1994). La fuerza de empuje que es necesario aplicar aumenta directamente con la dureza de la roca, y debe alcanzar una magnitud suficiente para sobrepasar su resistencia a la compresión. Por otra parte, esta fuerza no puede exceder un determinado valor límite, para evitar daños prematuros en la cabeza de perforación. En formaciones rocosas duras o muy duras, una fuerza excesiva conduce a la incrustación de la cabeza y consecuente destrucción, lo que significa el término de la vida útil de la broca tricónica. A su vez, a mayor diámetro de perforación, mayor la superficie a perforar por lo que ofrecerá mayor resistencia. En suma, la fuerza de empuje es función de dos variables: la dureza de la roca y el diámetro de perforación.

Figura 17 Efecto del empuje sobre la velocidad de penetración



Fuente: Manual de perforación de López Jimeno

La fuerza de empuje mínima, por debajo de la cual no se logra perforar la roca, puede determinarse mediante la siguiente ecuación:

$$E_m = 28,5 \times RC \times D$$

Donde:

E_m = Empuje mínimo (libras).

RC = Resistencia a la compresión de la roca (MPa).

D = Diámetro del tricono (pulg).

La fuerza de empuje máxima, por encima de la cual se genera el enterramiento excesivo del tricono, se establece como equivalente al doble del valor mínimo previamente mencionado.

$$E_M = 2 \times E_m$$

El empuje límite, que soporta un tricono en función del tamaño de sus cojinetes, que, a su vez, depende del diámetro del tricono:

$$E_L = 810 \times D^2$$

Dónde:

EL= Empuje límite del tricono (libras).

D = Diámetro (pulg.).

A continuación, se muestra una tabla con los valores máximos de pullwdon según el diámetro de tricono:

Tabla 4 Valores límites de empuje según tricono

DIAMETRO DEL TRICONO (pulg.)	EMPUJE LIMITE (libras)
5 ^{1/8}	21.000
6 ^{1/4}	31.000
6 ^{3/4}	37.000
7 ^{7/8}	50.000
9	65.000
9 ^{7/8}	79.000
12 ^{1/4}	121.000

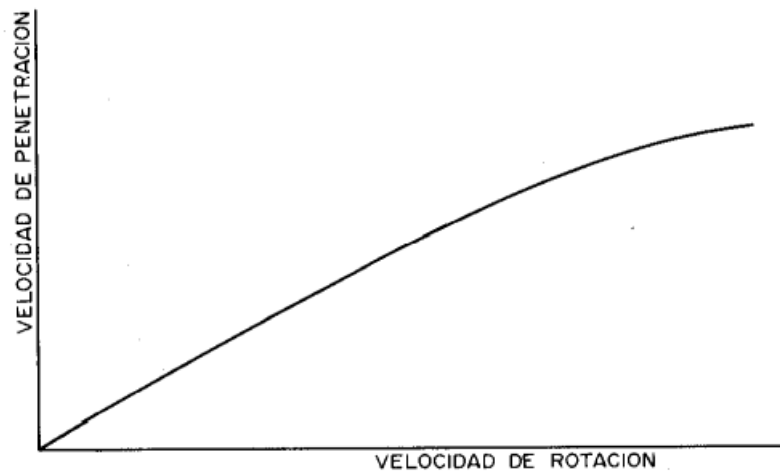
Fuente: Manual de perforación de López Jimeno

2.2.6.2 Velocidad de rotación (RPM)

López Jimeno, Carlos (Manual de perforación y voladura de rocas) (1994). La resistencia a la compresión de la roca y la velocidad de rotación están inversamente relacionadas. Sin embargo, es fundamental tener en cuenta que la velocidad de rotación cambia en función de la marcha con la que se trabaje.

La velocidad de rotación es necesaria para mover el inserto de corte a la siguiente posición de fractura. Cuanto más rápido se produzca este cambio de posición, mayor será la tasa de penetración.

Figura 18 Efecto de la velocidad de rotación sobre la velocidad de penetración



Fuente: Manual de perforación de López Jimeno

A continuación, se muestra una tabla donde se especifica los RPM requeridos según el tipo de roca:

Tabla 5 RPM requeridos por tipo de roca

TIPO DE ROCA	VELOCIDAD DE ROTACION (r.p.m.)
Blanda	75 - 160
Media	60 - 80
Dura	35 - 70

Fuente: Manual de perforación de López Jimeno

La velocidad de rotación es inversamente proporcional al tipo de roca, mientras mayor sea la dureza de la roca, menor será la velocidad de rotación, si la dureza de roca es suave mayor será la velocidad de rotación.

Criterios a tomar en cuenta durante la aplicación del RPM

- Alto RPM, puede resultar en un aumento de velocidad de penetración
- Alto RPM puede resultar en una reducción de la vida del cojinete
- Alto RPM puede resultar en una disminución de la vida de la estructura de corte.

2.2.6.3 Caudal de aire

López Jimeno, Carlos (Manual de perforación y voladura de rocas) (1994). Esta expresión describe la rapidez con la que los fragmentos de roca perforados (detritus) son extraídos del pozo a través del aire comprimido inyectado. Incrementar la velocidad provoca que los detritus erosionen anticipadamente los aceros de perforación, mientras que reducirla genera una remolienda por el tricono, ya que el aire no alcanza a remover completamente los detritus. Esto deja partículas residuales, lo que genera un desgaste adicional y, en ciertos casos, el atrapamiento de las barras de perforación. Los dos parámetros más importantes que influyen en la velocidad de barrido son la capacidad del compresor y el espacio anular.

Capacidad del compresor, es fundamental utilizar el valor real, excluyendo todos los factores que afectan el rendimiento del compresor del valor nominal.

El espacio anular corresponde al área libre entre la pared del pozo y la columna de perforación, es decir, la separación existente entre el tricono y las barras. El flujo de aire requerido se determina mediante la fórmula:

$$Qa = Ab \times Va = \frac{D^2 - d^2}{1.27}$$

Dónde:

Ab = Área de la corona circular entre la pared del barreno (m²).

Qa = Caudal del aire necesario (m³/min).

Va = Velocidad ascensional (m/min).

D = Diámetro del barreno (m).

d = Diámetro de la barra (m).

Las velocidades ascensionales recomendadas, en función del tipo de roca, son las siguientes:

Tabla 6 velocidades ascensionales

TIPO DE ROCA	VELOCIDAD MINIMA		VELOCIDAD MAXIMA	
	(m/min)	(pies/min)	(m/min)	(pies/min)
Blanda	1.200	4.000	1.800	6.000
Media	1.500	5.000	2.100	7.000
Dura	1.800	6.000	2.400	8.000

Fuente: Manual de perforación de López Jimeno

Consideraciones a tener en cuenta en la velocidad de barrido:

- La Velocidad de Barrido deberá ser de 5000 - 7000 ft/min para material seco y ligero.
- La Velocidad de Barrido deberá ser de 7000 - 9000 ft/min para material húmedo y pesado. El agua hace que las partículas se junten, haciéndose más grandes y pesadas al momento de ser barridas.

2.2.7 Costo de perforación

(Sandvik Mining and Construcción) (2006). Según el manual de Sandvik, el mejor enfoque para seleccionar qué broca utilizar es considerar las implicaciones económicas.

Los dos procedimientos más comunes de calcular el costo de perforación se conocen por las siglas:

- PDC (Partial Drilling Cost = costo parcial de perforación)
- TDC (Total Drilling Cost = costo total de perforación).

El costo parcial de perforación es el precio al que se adquirió la broca dividida por la distancia que perfora. El PDC se expresa mediante la siguiente formula:

$$PDC = \frac{\text{Precio de broca en (US\$)}}{\text{Distancia perforada en (m)}}$$

El TDC está directamente relacionado con la velocidad de perforación (ROP) y el costo horario de la máquina, esto quiere decir que mientras más se incremente la velocidad de penetración, se reducirá los costos de perforación.

El TDC se determina mediante la siguiente formula:

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

Donde:

TDC = Costo total de perforación (US\$)

B = Costo de broca (US\$)

M = Metros perforados (m)

D = Costo horario de las perforadoras (US\$/hr)

ROP = Velocidad de perforación (m/hr)

La velocidad de perforación (ROP) se determina mediante la siguiente formula:

$$ROP = \frac{M}{T}$$

Donde:

ROP = Velocidad de perforación

M = Total de metros perforados por tricono

T = Tiempo de perforación por tricono

CAPITULO III

ASPECTOS GENERALES DE LA UNIDAD MINERA LAS CONSTANCIA

3.1 Generalidades

3.1.1 *Historia de la unidad minera Constancia*

Según (SNC - Lavalin Perú, Descripción Del Proyecto, 2018, págs. 2-1), se muestra la historia de la Unidad Minera Constancia.

- 1980, Exploraciones Mitsui y Katanga.
- 2003, Trabajos de exploración, Rio Tinto (70%) y Mitsui (30%).
- 2005, Norsemont empieza a negociar con Rio Tinto la compra de sus acciones.
- 2007, Norsemont concreta la compra de la participación de Mitsui.
- 2008, Norsemont adquiere Constancia en su totalidad.
- 2011, Hudbay Perú adquiere el proyecto minero Constancia.
- 2012, Se obtiene la aprobación del financiamiento de 1.7B para el proyecto Constancia.
- 2014, Se concluye con la construcción de la mina en su totalidad.
- 2015, Constancia inicia su producción comercial y embarques marítimos.
- 2018, La adquisición de propiedades Caballito, María Reyna y Kusiorcco, para proyectos de exploración brownfield, cercanas a la U.M Constancia.
- 2019, Se inicia el proceso de digitalización de las operaciones.
- 2021, Se proyecta el inicio de operaciones en el depósito satélite Pampacancha.
- 2022, Se pone en marcha la etapa de operaciones de extracción en el tercer trimestre del año en el tajo Pampacancha.
- 2023, Aprobación por parte de la comunidad de Chilloroya para la ampliación de la huella del tajo Pampacancha y de esta manera extender sus operaciones hasta el 2025.

3.1.2 *Ubicación y accesibilidad*

La unidad minera Constancia está ubicada en el sur del Perú, entre los distritos de Livitaca, Velille y Chamaca, en la provincia de Chumbivilcas y departamento Cusco.

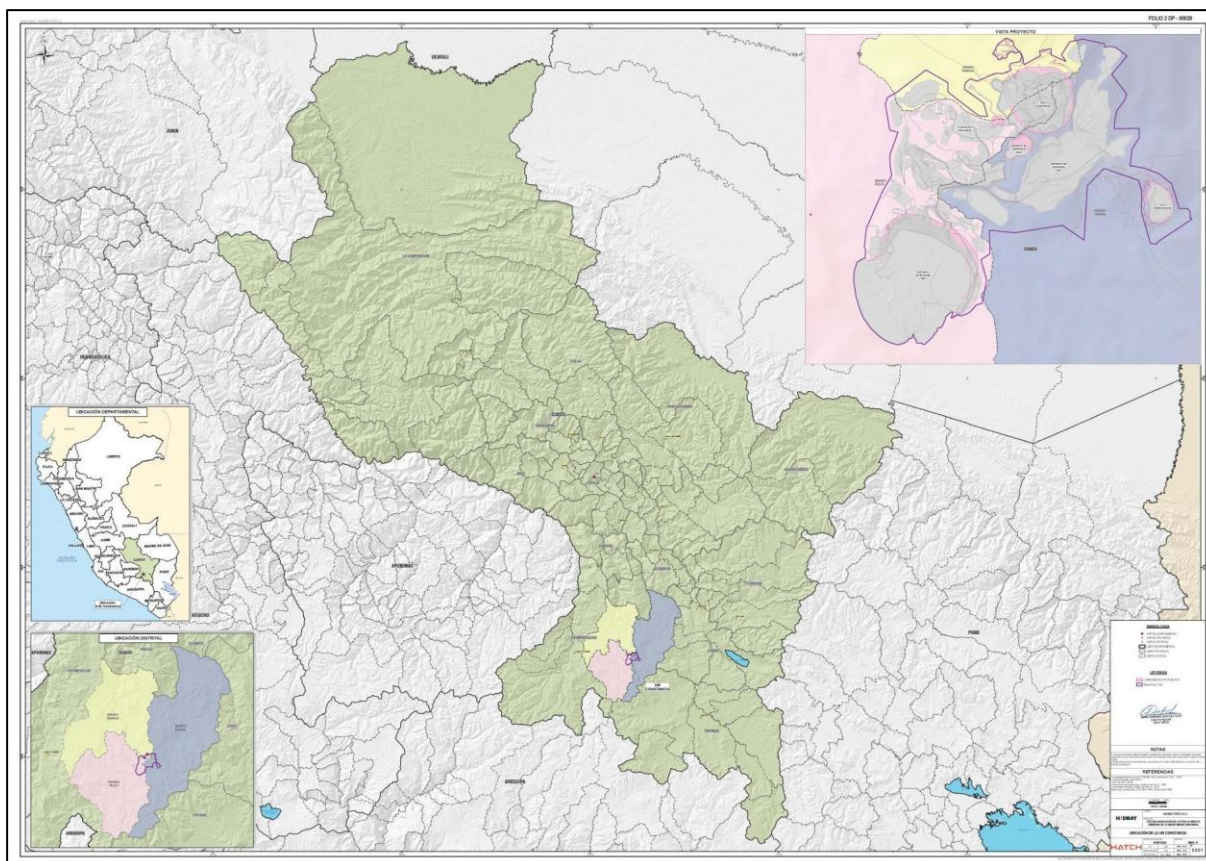
Las coordenadas de la unidad minera Constancia son:

- Altitud: Entre 4000 msnm a 4500 msnm
- Latitud: -14,4618543
- Longitud: -71,7679385

Método de explotación: Tajo abierto

- Tajo Constancia
- Tajo Pampacancha
- Metal principal: Cobre.
- Metales secundarios: Molibdeno, Plata, Oro.

Figura 19 Ubicación de la U.M CONSTANCIA

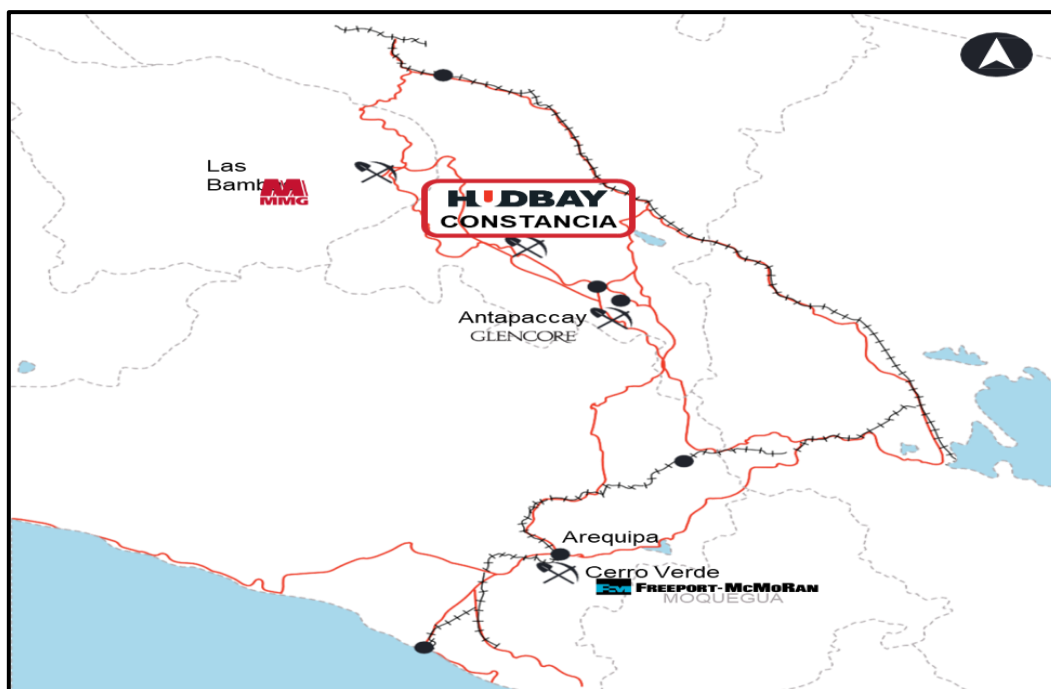


Fuente: HUBBAY PERU

Para llegar a la unidad minera Constancia se cuenta con dos entradas. La primera partiendo de la ciudad del Cusco y la segunda partiendo de la ciudad de Arequipa:

- Cusco – Urcos – Sicuani – Yauri – ruta a Velille – desvío a Livitaca – Camino vecinal Chilloroya – Unidad Minera Constancia. Con un recorrido total de 304 km.
- Arequipa – Imata – Yauri – ruta a Velille – desvío a Livitaca – Camino vecinal Chilloroya – Unidad Minera Constancia. Recorrido total de 371 km.

Figura 20 Accesos a la U.M. Constanca



Fuente: HUDBAY PERU

3.1.3 *Clima y tiempo*

3.1.3.1 Clima

La unidad minera Constanca por su localización presenta diferentes pisos altitudinales lo que ocasiona que tenga un clima bastante variado a lo extenso del año. El clima en verano es corto, cómodo y en casos algo nublado. Mientras que los inviernos son también cortos, pero fríos, secos y paulatinamente nublados.

- **Temperatura promedio**

La temporada templada es entre los meses de octubre a diciembre. La temporada fría es en promedio de junio a agosto, por lo general durante las madrugadas alcanza grados bajo cero y de día es normalmente soleado. La temperatura es variada y va en promedio de -2 °C a 25 °C y otras veces llega a estar menos de -5 °C o sube a más de 26 °C.

- **Precipitación**

La estación más lluviosa se estima de noviembre a marzo, con una probabilidad superior al 25% de que un día determinado sea lluvioso. La estación más seca va de marzo a noviembre. Junio es el mes con menos días de lluvia.

- **Sol**

Los meses con mayor cantidad de sol y cielos despejados son de abril a julio, mientras que de agosto a marzo hay la menor cantidad de luz solar durante el día.

- **Humedad**

La sensación de humedad en la ubicación de la unidad minera, medida según el tiempo en que las condiciones de humedad resultan sofocantes, agobiantes o molestas, no experimenta variaciones significativas durante el año y permanece prácticamente estable. La humedad relativa mínima promedio oscila entre un 65% en marzo y un 55% en septiembre.

- **Viento**

A lo largo del año, la velocidad promedio del viento por hora varía ligeramente según la estación. La temporada más ventosa dura de junio a octubre, con velocidades promedio del viento que superan los 8.5 kilómetros por hora.

3.1.3.2 Flora y fauna

A. Flora

La investigación registró 370 especies divididas en 69 familias y 208 géneros, con más de 200 especies representando nuevos registros para la zona. Las familias más diversas fueron Asteraceae y Poaceae.

Plantago tubulosa en el humedal (bofedal), *Muhlenbergia peruviana* en el césped de puna, *Calamagrostis recta* en la vegetación de roquedal, *Festuca dolichophylla* en el pajonal y *Pennisetum clandestinum* en el matorral fueron las especies con mayor abundancia relativa en el área de estudio. El matorral y el césped de puna fueron las formaciones vegetales más diversas y, junto con el pajonal, presentaron la mayor riqueza de especies.

Figura 21 Bofedal de Cochapampa



Fuente: HUSBAY PERU

B. Fauna

Las evaluaciones en el corredor vial Apurímac-Cusco, en la provincia de Chumbivilcas, identificaron un total de 8 especies, incluyendo 4 de la clase Amphibia y 4 de la clase Reptilia.

En cuanto a los anfibios, se identificaron cuatro especies del orden Anura, cada una perteneciente a las familias Bufonidae, Hemiphractidae, Telmatobiidae y Leptodactylidae. Las familias más abundantes fueron Bufonidae y Leptodactylidae, representando el 36.9% del total de individuos adultos.

En cuanto a los reptiles, se identificaron cuatro especies del orden Squamata, divididas en tres familias: Colubridae, Leptotyphlopidae y Liolaemidae. Las

lagartijas de la familia Liolaemidae fueron las más numerosas y diversas, con dos especies. La familia menos diversa fue Leptotyphlopidae, que incluyó solo una especie y un solo individuo.

Los ecosistemas con mayor diversidad fueron el pastizal de puna y el pajonal, registrando seis y cinco especies de anfibios y reptiles, respectivamente. El matorral mostró la menor riqueza de especies, aunque acogió un grupo particular de especies adaptadas a zonas de menor elevación.

Figura 22 Liolaemidae tenuis



Fuente: HUDBAY PERU

3.2 Aspecto geológico

3.2.1 Geología regional

El yacimiento Constancia se ubica en los andes surorientales del Perú, en los distritos de Velille y Chamaca, provincia de Chumbivilcas y departamento del Cusco.

El área está emplazada en el margen Este del Batolito Andahuaylas – Yauri, aproximadamente a 3 km al sur-este de la antigua mina Katanga

Las rocas más antiguas son areniscas de la Formación Chilloroya del Cretácico Inferior, compuestas por areniscas de grano medio de color blanco, rojo, violeta o gris, con intercalaciones de esquistos rojizos. La Formación Arcurquina yace de manera discordante

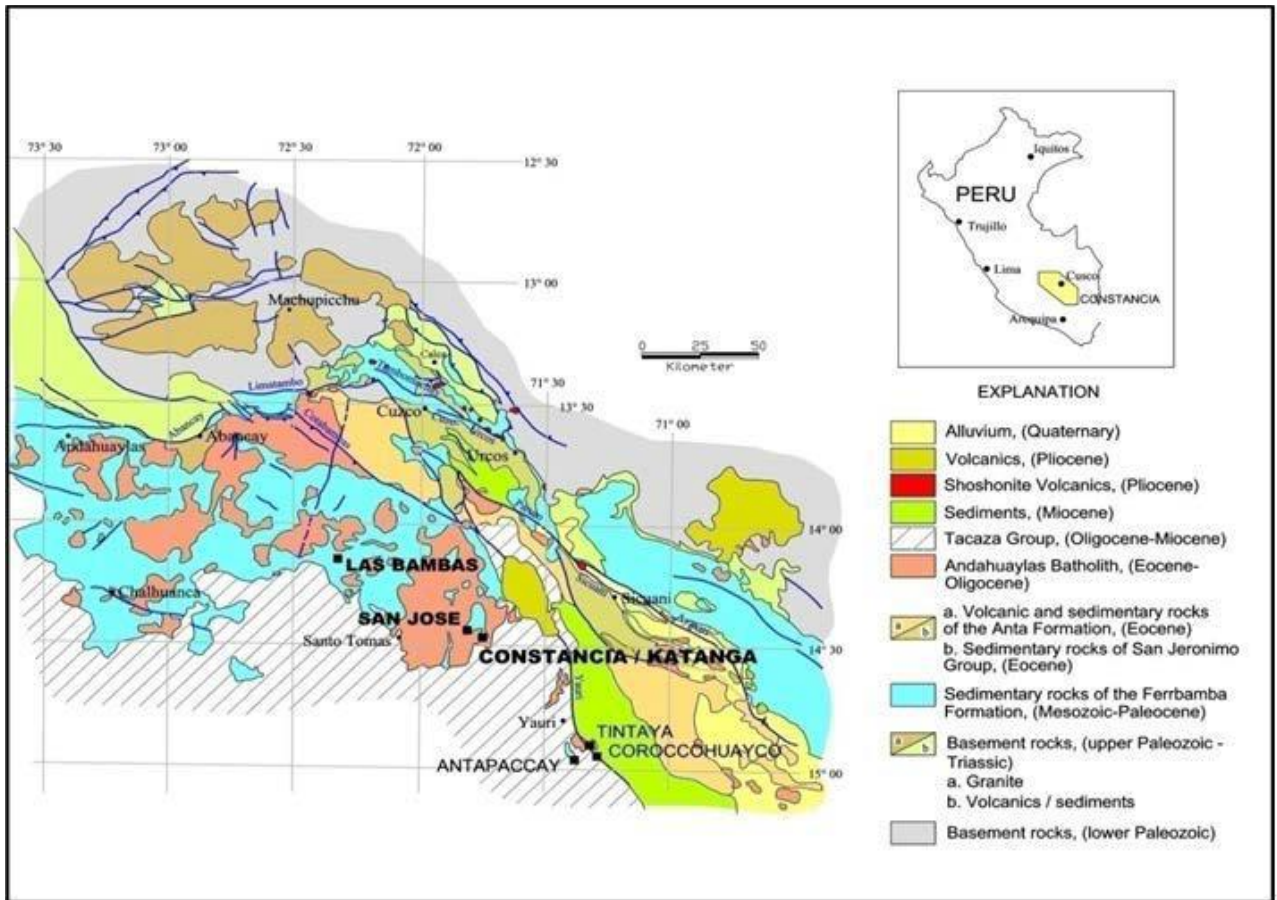
sobre la Formación Chilloroya y se asocia con la Formación Ferrobamba del Cretácico Superior. Estas rocas están expuestas en una región alargada en dirección norte-sur, de 15 km de largo por 5 km de ancho, formando una sucesión de calizas, calcarenitas y lentes de conglomerados.

El Batolito Andahuaylas-Yauri tiene una composición diorítica-granodiorítica y contiene pequeñas masas estratiformes, vetas y lentes de skarn de magnetita. Varias intrusiones de roca ígnea monzonítica, diques o lacolitos cortan e intruyen en todas las litologías mencionadas anteriormente. Algunas de estas intrusiones de roca ígnea presentan características similares a los yacimientos de cobre porfirítico.

Finalmente, los sedimentos cuaternarios cubren la región, incluyendo depósitos glaciales y, en la parte superior, depósitos aluviales.

El yacimiento Constancia es del tipo Pórfido de Cu-Mo-Au y los tipos de mineralización son los siguientes: Óxidos (Malaquita-Cuprita), Supergeno (Calcocita-Pirita), Mixta (Calcosina-Pirita-Calcopirita) e Hipogena (Calcopirita-Pirita-Molibdenita).

Figura 23 Geología regional U.M Constanca



Fuente: Departamento de Geología U.M Constanca

3.2.2 Geología local

La unidad estratigráfica más antigua reconocida en el yacimiento Constanca corresponde a sedimentos clásticos de la Formación Chilloroya, compuesta por una cadena de areniscas de grano medio blancas, rojas, violetas y grises con intercalaciones de lutitas rojizas. Directamente sobre este bloque subyacente, afloran de manera intermitente grandes calizas micríticas grises con pequeñas intercalaciones de lutitas alrededor del prospecto y en los contactos con la monzonita, ocasionalmente como techos colgados.

Esta unidad pertenece a la Formación Arcurquina (también llamada localmente como Formación Ferrobamba). Cuando entra en contacto con rocas intrusivas, se transforma en mármol o piroxeno, diópsido-granate-magnetita-epidota skarn, con o sin sulfuros. Las

calizas y los skarns descienden suavemente hacia el sureste, alejándose del cuerpo principal de monzonita en la zona mineralizada sur de Constancia. El espesor total del paquete sedimentario es desconocido.

La precisión de la base de este bloque de roca caliza puede ser importante en Constancia, ya que este posible contacto parece corresponder con el horizonte favorable de skarn en la antigua mina Tintaya y en otras partes de la región. Este contacto podría encontrarse en profundidad hacia el sur y el este del área de perforación actual, si no ha sido intruido por monzonita.

Los sedimentos clásticos inferiores de la Formación Murco, junto con las posibles secciones superiores de la Formación Hualhuani subyacente (denominada localmente Formación Soraya), compuestas litológicamente por areniscas, limolitas, estratos calcáreos y capas de cuarcita esporádicas, están reconocidos por contener mineralización de cobre en diversos sistemas pertenecientes al cinturón cuprífero. Estas rocas son los principales anfitriones de la mineralización de cobre en el proyecto Quechua de Mitsui, cerca de Tintaya, y en el depósito de pórfido de cobre de Antillas, en Antabamba (al norte de Constancia). Un tipo de mineralización similar ocurre en Haqira (a 10 kilómetros al sur de Las Bambas), donde los sedimentos de Murco contienen la mayor parte del depósito de óxidos de cobre del sistema.

En el Yacimiento Constancia, este tipo de sedimentos clásticos, específicamente la Formación Murco o Chilloroya, que actúa como roca huésped de la mineralización de óxidos de cobre en Haqira, ha sido descubierto en el sector sur de la propiedad, cerca de la comunidad de Chilloroya. La exploración superficial reciente en esta área ha mostrado indicios de mineralización de cobre-oro-molibdeno relacionada con pórfidos en los sedimentos y rocas de pórfido alteradas. La coloración teñida de hierro de estos depósitos

clásticos es una característica frecuente, causada por la oxidación de la pirita diseminada antes de la mineralización.

Las morrenas glaciales cubren los márgenes norte y este del depósito de Constancia. Al este, estas morrenas cubren por completo extensiones potencialmente importantes de mineralización de cobre a lo largo de amplias zonas estructurales este-oeste.

3.2.2.1 Constancia

La mineralización en el tajo Constancia se encuentra principalmente en forma de pórfidos de cobre, que son depósitos de minerales metálicos que se encuentran en rocas ígneas intrusivas. Estos pórfidos se caracterizan por tener una forma de embudo y por contener depósitos de mineral de diferentes grados y tipos. Además del cobre y el molibdeno, también se encuentran minerales como plata y oro, aunque en menor cantidad.

Figura 24 Tajo Constancia



Fuente: Propia

A. Rocas sedimentarias

Entre las rocas sedimentarias que se encuentran en el tajo Constanca se pueden identificar principalmente rocas volcanoclásticas pertenecientes a la Formación Mitu, la cual se compone de brechas volcánicas, tufos y andesitas. Estas rocas se formaron a partir de la acumulación de fragmentos de rocas ácidas y básicas generadas durante procesos volcánicos que tuvieron lugar en la zona.

Las brechas volcánicas son rocas sedimentarias clásticas muy heterogéneas, formadas por la cementación de fragmentos de diversas rocas volcánicas que han sido expulsadas por una explosión. Por su parte, los tufos son sedimentos de tipo piroclástico que se originan por la deposición de cenizas y fragmentos de rocas generados por explosiones volcánicas. Las andesitas, por su parte, son rocas volcánicas de color gris oscuro que se formaron a partir del enfriamiento lento de la lava o magma.

B. Rocas intrusivas

Múltiples fases de monzonita y pórfido monzonítico caracterizan gran parte del área superficial del yacimiento, además de dominar los tipos de roca observados en la perforación hasta la fecha.

Se reconocen al menos cuatro etapas primordiales de intrusión, y la segunda más antigua se relaciona con el evento de mineralización principal. De mayor a menor son:

Diorita: si bien no es parte del evento intrusivo asociado con la mineralización, el batolito de Andahuaylas-Yauri forma el "basamento intrusivo" del depósito de Constancia.

Pórfido Monzonítico 1 (MP1): esta unidad aflora como un gran stock en cerro Constancia, que se extiende hacia el oeste hasta San José. Alberga la mayor concentración de la mineralización relacionada con el pórfido. Se caracteriza por abundantes fenocristales de plagioclasa con hornblenda en cristales alargados.

Micro Monzonita Porfirica (MMP): representado por una textura de grano fino con cristales de plagioclasa, biotita y magnetita en la matriz gris claro. Este cuerpo aflora como una población en el sur, pero está más extendido al oeste del depósito, incluida la zona de San José.

Pórfido Monzonítico de Cuarzo (QMP): esta unidad se presenta principalmente como diques de tendencia de norte a sur a noroeste con límites fríos oscuros y de grano fino. La plagioclasa abundante con cristales de hornblende tabulares y bien formados se produce como fenocristales en una matriz verdosa. Estos diques verticales tienen hasta 60 m de ancho. No hay mineralización asociada con los diques.

Pórfido Monzonítico 2 (MP2): este pórfido de pórfido de monzonita similar a un dique aflora entre las zonas de Constancia y San José. Se caracteriza por abundantes fenocristales de plagioclasa sub-redondeados en una matriz blanquecina con poca magnetita y biotita. El pórfido de monzonita se presenta como diques de hasta 150 m de ancho, que golpean de norte a sur con un fuerte descenso hacia el este.

Andesita (AAN): roca afanítica gris oscuro con plagioclasa y fenocristales de hornblenda. Principalmente esto sucede como cuerpos estrechos semejantes a diques, alguno de ellos cerca de los contactos con el pórfido monzonítico de cuarzo.

C. Alteración y mineralización

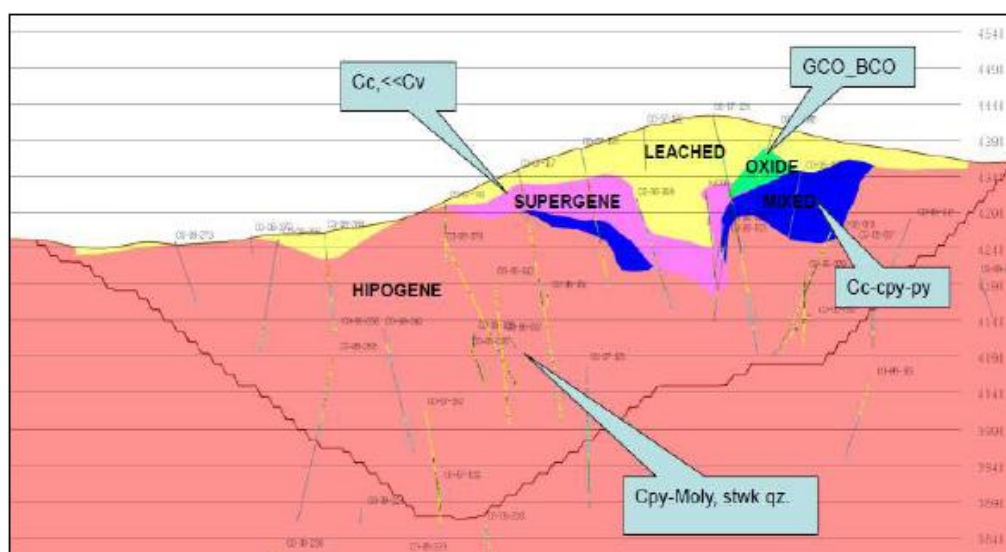
El lugar de investigación presenta las alteraciones siguientes:

“Alteración Potásica. Ortosa y biotita secundaria; vetillas tipo “A”y “B”, magnetita, vetillas de anhidrita, con mineralización de calcopirita, bornita, molibdenita-pirita. Alteración Propílica. Epidota, clorita, calcita, con mineralización de pirita>> calcopirita y vetillas-vetas de galenaesfalerita. Alteración Fílica. Sericita-cuarzo-pirita, vetillas tipo “D”. Alteración tipo skarn.

Granates-calcosilicatos-magnetita, mineralización calcopirita, galena esfalerita” (Gomez G, 2017).

El lugar de investigación presenta la mineralización: “Hipógena tipo pórfido, disseminación calcopirita-molibdenita y stockwork de cuarzo. Hipógena tipo skarn, calcopirita-galena-esfalerita. Supergena, enriquecimiento de cobre, calcosina-covelina. Mixta incluye calcosina-covelina con calcopirita. Óxidos de cobre” (Gomez G, 2017).

Figura 25 Mineralización tajo Constancia sección E-W



Fuente: Departamento de Geología de U.M Constancia

3.2.3 Geología estructural

Constancia, al igual que otros complejos de pórfido de cobre, ha dependido en gran medida de la actividad estructural para controlar la preparación y localización de la alteración hidrotermal, así como la mineralización de cobre, molibdeno, plata y oro, incluyendo la formación de cuerpos de skarn.

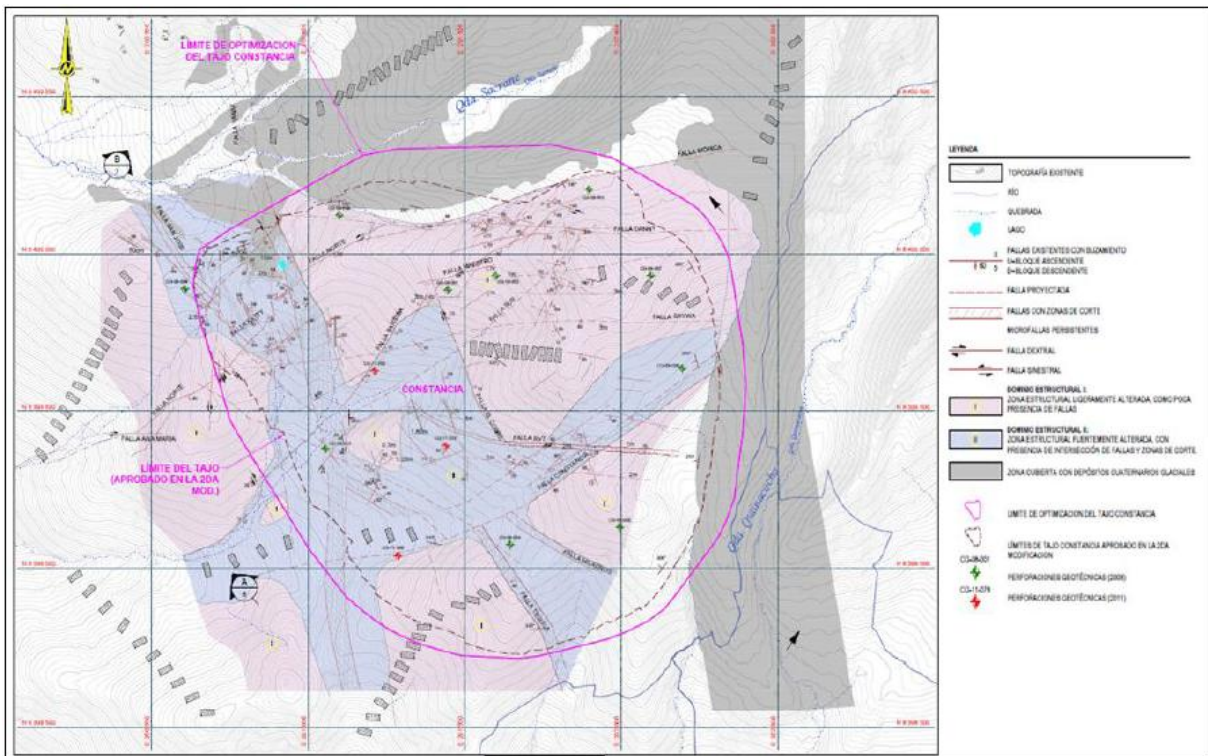
Las principales estructuras de fracturas asociadas con la mineralización y post-mineralización en la región del yacimiento tienen una orientación noreste. Una de las más conocidas es la "Falla de Barita", que consiste en una secuencia de vetas de falla aproximadamente paralelas que contienen sulfuros de metales base y barita. Estas vetas han sido explotadas mediante métodos artesanales en toda la zona. Este sistema es claramente visible en los mapas magnéticos del suelo y controla características importantes como variaciones en la topografía y cortes de cizalla en la región de San José.

Un segundo sistema importante ataca de norte a sur. Parece ser más reciente que el sistema Baritina, que controla parte del depósito de San José y la mayoría de las brechas silicificadas (algunas de ellas mineralizadas) en el sistema. Comparte la misma dirección que los diques

post-minerales, y puede haberse originado como cortes de tensión en la dirección del sistema Baritina.

Lo último en la secuencia es el sistema de fallas orientado de norte a noroeste a sur-sureste, con la falla de Yanak como el ejemplo principal. Estas fallas generan amplias áreas de gouge y rocas trituradas, algunas de las cuales muestran altos gradientes hidráulicos.

Figura 26 Geología estructural



Fuente: Departamento de Geología U.M Constanza.

3.2.4 Geología económica

3.2.4.1 Cálculo de Reservas

3.2.4.1.1 Modelo de bloques

Los bloques tienen una dimensión de 10m x 10m x 15m en la cual se representan los dominios mineralizados o zonas de ley. El cálculo de la densidad se realizó en base a 1247 muestras que se obtuvieron de 145 sondajes, en la cual la densidad se asignó a

cada grupo litológico: pórfido de monzonita mineralizada (2.51 t/m³), pórfido micro monzonita (2.55 t/m³), pórfido cuarzo-monzonita (2.46 t/m³), pórfido monzonita post-mineralizado (2.61 t/m³), skarn (3.04 t/m³) y sedimentos (2.66 t/m³).

3.2.4.1.2 Producción tajo Constancia

Para la producción diaria en el tajo Constancia se realiza con 45,000.00 t/día con una ley de corte de 0.15% y una ley promedio de 0.27% de cobre.

3.2.4.1.3 Estimación de Recursos

Se realizaron 384 sondajes para poder realizar la estimación de los recursos minerales considerando los datos de collar topografía, leyes y litología, en los cuales se estimaron los siguientes: cobres (Cu), plata (Ag), molibdeno (Mo) y oro (Au).

Para el procedimiento en la estimación en el tajo Constancia se analizaron muestras originales y compositas en intervalos de 7.5m para cada elemento dentro un determinado dominio geológico.

Para la estimación de las leyes, se emplearon 3 métodos, kriging ordinario, el inverso a la distancia al cuadrado y el inverso a la distancia al cubo.

La clasificación de los recursos minerales del tajo Constancia se realizó en base a la continuidad geológica y métodos matemáticos. Los modelos se clasificaron en recursos inferidos, indicados y medidos, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 7 Estimación de recursos

Distribución del Recurso Mineral para el Tajo Constancia

Categoría	Tonelaje (Mt)	Cu (%)	Ag (g/t)	Mo (%)	Au (g/t)
Medido	609	0.27	2.74	0.009	0.04
Indicado	399	0.19	2.09	0.005	0.03
Medido + Indicado	1008	0.24	2.48	0.007	0.03
Inferido	138	0.17	1.71	0.004	0.02

Fuente: Superintendencia de Geología U.M Constancia

3.2.4.2 Constancia (Cu, Mo, Au, Ag)

La forma de estos pórfidos de cobre es de embudo y contienen depósitos de mineral de diferentes grados y tipos, que incluyen principalmente calcopirita y molibdenita, pero también pueden contener plata y oro. La mineralización en el tajo Constancia se encuentra alojada en capas ígneas intrusivas relacionadas con la zonación de temperatura y presión de las rocas en profundidad, y está estrechamente relacionada con cuerpos graníticos y dioríticos que instruyeron las rocas sedimentarias de la Formación Mitu en la zona.

Estos depósitos de pórfidos cupríferos se forman por la circulación de fluidos hidrotermales que atraviesan las rocas intrusivas, donde disuelven y transportan los minerales metálicos, que luego se precipitan en las rocas como fracciones densas durante el enfriamiento. Los pórfidos cupríferos son depósitos de alta ley que se explotan en minas a cielo abierto, como el tajo Constancia.

3.2.5 Caracterización geotécnica

La caracterización geotécnica realizada en el tajo Constancia (Knight Piésold 2013f) muestra que la geología de la roca caja del tajo está dominada por el Batolito Andahuaylas – Yauri,

intrusivos compuestos por monzonitas, monzonitas-dioritas y dioritas; así como por sedimentos conformados por areniscas, limolitas y calizas de la Formación Arcurquina.

Las unidades litológicas descubiertas en el tajo Constanca se utilizaron para identificar tres dominios estructurales: sedimentario, roca intrusiva y material de cobertura. Debido a su escaso espesor, el material de cobertura no fue tomado en cuenta en el desarrollo del análisis geotécnico.

La calidad del macizo rocoso se caracterizó considerando taladros de perforación y mapeo superficial (Knight Piésold 2013). La caracterización consideró la resistencia a la compresión simple de la roca intacta, el índice de calidad de roca (RQD) y la clasificación geomecánica de Bienawiski (RMR). Según esta caracterización geotécnica, la calidad de la roca en el tajo Constanca es de pobre a aceptable.

En el diseño de taludes, la formación rocosa se clasificó en sectores con características estructurales y mecánicas homogéneas. De este modo, el tajo se dividió en zonas geomecánicas o unidades geotécnicas. El modelo geotécnico del tajo Constanca integró tres dominios geológicos y dos dominios estructurales, lo que definió cuatro dominios geotécnicos diferenciados:

- Dominio A – roca sedimentaria.
- Dominio B-I – roca intrusiva poco fallada.
- Dominio B-II – roca intrusiva fuertemente fallada.
- Dominio C – sobrecarga o cobertura.

Tabla 8 Dominios Geotécnicos y sectores de diseño

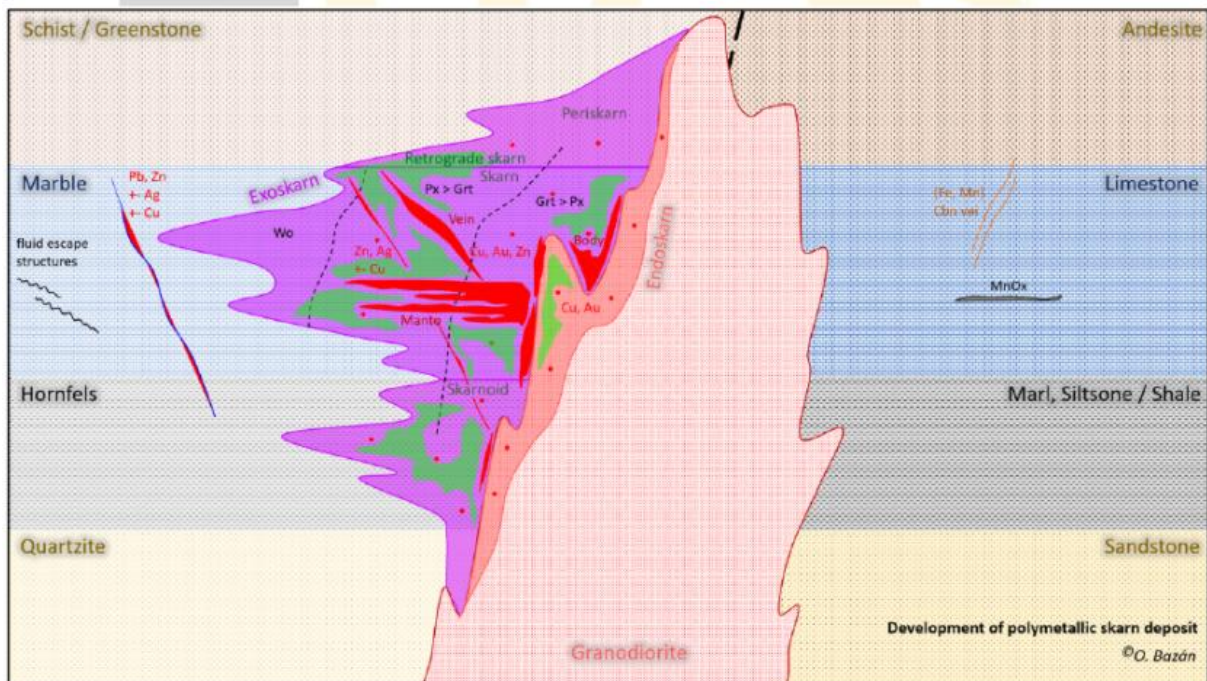
Dominio Geotécnico	Sub dominio	Unidad de Peso, γ (kN/m ³)	Constante Litológica, m_i	UCS (MPa)	RMR	Ángulo de Fricción en Falla (°)	Cohesión de Falla, c (Kpa)	Ángulo de Fricción en Juntas, f (°)
A: Roca sedimentaria	Superior	26	19	20	40	25	45 / 25	32
	Inferior			80 / 50	50			
B-I: Roca intrusiva poco fallada	Superior	26	24	50	45	25	45 / 25	36
	Inferior			100 / 65	60			
B-II: Roca intrusiva fuertemente fallada	Superior	26	24	20	35	25	45 / 25	36
	Inferior			90 / 50	40			

Fuente: Superintendencia de Geotecnia & Hidrogeología U.M Constanca

3.2.5.1 Deposito tipo Skarn

Orlando Bazán “Consideraciones generales en la exploración de depósitos polimetálicos tipo skarn en el Perú”2020. Los depósitos minerales tipo skarn son yacimientos metálicos que se encuentran en rocas metamórficas (metasomáticas) de grano grueso a medio, denominadas "skarn". Estas rocas están compuestas por calcosilicatos (granates, piroxenos y anfíboles) que se forman cuando las rocas carbonatadas son reemplazadas durante el metamorfismo regional o de contacto, esto da lugar a que generalmente este tipo de depósitos sea dureza media en comparación al mármol y monzonitas según al Índice de resistencia Geológica (GSI), por lo tanto, los depósitos skarn polimetálicos pueden definirse como yacimientos que contienen mineralización económicamente viable de Cu(-Au)-Zn-Ag-Pb-(Mo-Fe) (con al menos tres metales de interés), alojados en rocas metasomatizadas (skarnizadas). En el contexto del Perú Central, estos depósitos se originaron mediante procesos metasomáticos generados por el contacto entre rocas calcáreas y rocas intrusivas calcoalcalinas de composición intermedia.

Figura 27 Esquema del desarrollo de un skarn polimetálico



Fuente: Consideraciones generales en la exploración de depósitos polimetálicos tipo Skarn en el Perú.

3.2.5.2 Diorita

La diorita está compuesta principalmente por los siguientes minerales:

- Plagioclasa: Un feldespato que representa entre el 65-85% de la roca.
- Hornblenda: Un anfíbol que puede constituir hasta el 20-40%.
- Biotita: Una mica que se encuentra en pequeñas cantidades.
- Cuarzo: Presente en menor proporción.

La diorita tiene una dureza de alrededor de 6-7 en la escala de Mohs, lo que la hace bastante resistente.

Tabla 9 Características y propiedades físicas del mármol

Característica	Descripción
Composición Principal	Plagioclasa (65-85%), Hornblenda (20-40%), Biotita (en menor cantidad)
Color	Gris oscuro, aunque puede variar dependiendo de la proporción de los minerales
Textura	Fanerítica de grano medio (2-5 mm)
Dureza	6-7 en la escala de Mohs
Densidad	2.8 - 3 g/cm ³
Origen	Formación lenta del magma bajo la corteza terrestre
Minerales Accesorios	Cuarzo, feldespatos alcalinos, magnetita, titanita, sulfuros, zirconio, apatita

Fuente: Consideraciones generales en la exploración de depósitos polimetálicos tipo Skarn en el Perú.

3.2.5.3 Monzonita

La monzonita es una roca ígnea intrusiva compuesta por partes casi iguales de plagioclasa y feldespato alcalino, con menos del 5 % de cuarzo en peso. Puede contener trazas de hornblenda, biotita y otros minerales. La monzonita de cuarzo se refiere a una roca que contiene más del 5 % de cuarzo.

La monzonita está clasificada como roca dura por su elevada resistencia a la compresión uniaxial (USC)

3.3 Minería

3.3.1 Generalidades

La U.M Constancia viene actualmente se encuentra explotando el yacimiento Constancia y el yacimiento Pampacancha.

La U.M Constancia tienen una producción diaria de 90,000 toneladas por día, explotando como mineral principal el cobre y molibdeno.

Para cumplir con la producción establecida, en la U.M Constancia se trabaja en 2 turnos/día, lo que equivale a 12 horas de día y 12 horas de noche durante los 365 días del año, cabe mencionar que la ejecución de los trabajos se realiza con estándares altos en seguridad y salud ocupacional, siendo constantemente supervisados y monitoreados por los ingenieros de turno.

3.3.2 *Ciclo de minado*

3.3.2.1 **Perforación**

La perforación es la primera operación unitaria que se realiza dentro del ciclo de minado, que consiste en realizar un hueco cilíndrico llamado taladro con dimensiones específicas dentro del macizo rocoso la cual será cargada con explosivo para la voladura.

La perforación en la U.M Constancia se realiza de manera vertical con una longitud de taladro de 15m, dicha altura está relacionada con la altura de los bancos. Las brocas a utilizar son del tipo tricónicas, con diámetro de taladro de 9 7/8 de pulgada o 250mm en taladros de producción.

Tabla 10 Parámetros de perforación

	Diorita	Monzonita	Skarn
Diámetro del taladro (pulg)	9 7/8	9 7/8	9 7/8
Altura de Banco (m)	15	15	15
Sobre perforación (m)	0	0	0
Profundidad Taladro (m)	15	15	15
Burden (m)	7	6	6
Espaciamiento (m)	7	6	6

Fuente: Elaboración Propia

La ejecución de los taladros se realiza con máquinas perforadoras Diesel tal como se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 11 Tipos de maquina

CANTIDAD	TIPO	ALIMENTACION
3	PIT VIPER 271 - EPIROC	DIESEL
1	PIT VIPER 275 - EPIROC	DIESEL

Fuente: Elaboración Propia

En la siguiente imagen se puede ver algunas máquinas perforadoras realizando los taladros en el proyecto P4185_023F5, estas máquinas serán descritas más adelante.

Figura 28 Tipos de maquina



Fuente: Elaboración Propia

A. Pit Viper 271 - EPIROC

El PV-271 es el equipo de perforación mediante barrenos con capacidad para perforación en una sola pasada de hasta 18 metros (59 pies) y diámetros de hasta 270 mm (10 5/8 pulgadas), el PV-271 ha comprobado su eficacia en múltiples aplicaciones. Gracias a una capacidad de carga en la boca de perforación de 34 toneladas (75 000 libras), este equipo puede potenciar la productividad operativa.

Tabla 12 Características de la perforadora Pit Viper 271

Diámetro de perforación	250 a 310 mm	9 7/8" - 12 1/4"
Carga máx. de barrenas	34,000 kg	75,000 libras
Método de perforación	Single-Pass rotativo y DTH	
Unidad de potencia principal	Diésel	
Longitud máxima de perforación	32 m	
Capacidad de Pulldown	0 kN, 0 lbf	311 kN, 70,000lbf

Fuente: Catalogo EPIROC

Figura 29 Perforadora Pit Viper-271



Fuente: Catalogo EPIROC

B. Pit Viper 275 - EPIROC

El equipo de perforación rotativo de barrenos para la voladura Pit Viper 275 se ha convertido en un elemento básico gracias a su rendimiento, la productividad y su larga vida útil para lograr un menor coste total de propiedad, el uso del PV-275 también se ha ampliado a aplicaciones de rocas duras como minas de cobre y hierro.

Tabla 13 Perforadora Pit Viper-275

Diámetro de perforación	De 171 a 270 mm	6 3/4" - 10 5/8"
Carga máx. de barrenas	34,000 kg	75,000 libras
Método de perforación	Rotativa y DTH (Multi-Pass)	
Unidad de potencia principal	Diesel	
Longitud máxima de perforación	59.4m	
Capacidad de Pulldown	0 kN, 0 lbf.	311kN, 70,000 lbf.

Fuente: Catalogo EPIROC

Figura 30 Perforadora Pit Viper-275



Fuente: Propia

3.3.2.2 Voladura

La voladura dentro del ciclo de minado es la segunda operación unitaria que consiste en fracturar o fragmentar la roca, con la ayuda de explosivos.

La voladura en la U.M Constanca está a cargo de la empresa ENAEX PERU, el explosivo utilizado es la mezcla de la EMULSION MATRIZ VE-03G y Nitrato de Amonio ENAEX, se le añade petróleo de acuerdo al tipo de mezcla explosiva, esta mezcla se realiza dentro de los camiones Fabrica o MILODON. ENAEX cuenta con 3 camiones fabrica los cuales transportan el explosivo hasta el punto de carguío donde se vierte el explosivo al taladro mediante su brazo móvil o sistema sin fin, la descarga del explosivo puede realizarse mediante el sistema vaciable y bombeable dependiendo de las condiciones del taladro y si estas presentan agua.

El taco debe ser con grava o material especial chancado de 1 pulg a 1.5 pulg, este material crea un mayor confinamiento de carga explosiva para evitar posibles fly rocks.

El tapado de taladros se realiza con la ayuda de un minicargador, el cual traslada el material desde el punto de acopio y los lleva hacia los taladros.

La iniciación se realiza con el sistema DAVEYTRONIC SP, el cual consiste en detonadores electrónicos (estándar y cable de conexión M35) y equipos de control PU (Unidades de Programación), DRB (Remote Blaster) y DBD (Blast Drivers), Esta técnica proporciona un excelente control sobre la precisión en la secuencia de disparo. Además, la Remote Blaster y el Blast Driver supervisan todo el proceso de voladura, garantizando que se sigan las medidas de seguridad y que el sistema funcione correctamente.

Equipos con los que cuenta ENAEX PERU para la gestión del proceso de voladura

- a) 3 camiones fabrica
- b) 2 furgonetas de explosivos
- c) 2 cargadores CAT
- d) 4 camionetas 4x4 de servicio

Figura 31 Camión fabrica MILODON ENAEX



Fuente: Propia

A. Sistema de iniciación de taladros

Una vez que todos los taladros son cargados y tapados, es conectado a un extremo del cable o Duplex Box Conexión (Cable M35) y el programador encargado de la voladura debe comenzar a conectar cada detonador a la línea de acuerdo a la secuencia de diseño de disparo correcto. Cuando la voladura esta lista, se transfiere la información de la voladura entre el PU (Unidad de programación) y el BD(Blast Drive) , seguidamente el BD se le coloca en una posición visible sobre un trípode apuntando hacia el proyecto de voladura con su respectiva antena instalada, el programador del disparo busca un lugar distante fuera del radio de voladura con visión hacia la BD y el proyecto de voladura, una vez fuera procede a pasar la información de la voladura del

PU(Unidad de Programación) a la RB (Remote Blaster) para iniciar con la comunicación y la carga de los detonadores eléctricos.

El sistema de iniciación consta de los siguientes accesorios

a) RB (Remote Blaster)

El Remote Blaster gestiona su propia red, realiza verificaciones del correcto funcionamiento de cada detonador dentro del circuito de disparo y posteriormente envía las órdenes de activación seguras para cada uno.

El Remote Blaster puede manejar un máximo de 1500 detonadores DaveyTronic en su propia red, suministra las directrices de control mediante menú y la energía necesaria para activar los detonadores. La operación del Remote Blaster se es necesario efectuarlo desde un área de seguridad, con todas las normas de seguridad aplicables.

Figura 32 Remote Blaster



Fuente: Manual de programador DAVEY TRONIC

b) PU (Unidad de programación)

La PU Davey Tronic de ENAEX es un dispositivo utilizado en operaciones de diseño para activar detonadores electrónicos en voladuras con diferentes combinaciones de conexión como:

- UNO A UNO Y FACIL UNO A UNO: El operador conecta cada detonador individualmente a la PU y es programado. Esto permite no tener que fijar la línea M35, permitiendo acceso a los vehículos.
- EN LINEA Y FACIL EN LINEA: Especialmente rápido y asegura la conexión correcta del detonador a la línea M35 durante la programación.

Figura 33 PU (Unidad de Programación)



Fuente: Manual de programador DAVEY TRONIC

c) Detonador Electrónico DAVEYTRONIC

El detonador electrónico DAVEYTRONIC es programable y reprogramable de 0 ms a 14000 ms con incrementos de 1ms, con una precisión de 0.023%, otorga flexibilidad y control completo de la secuencia, cuenta con una resistencia a factores ambientales como:

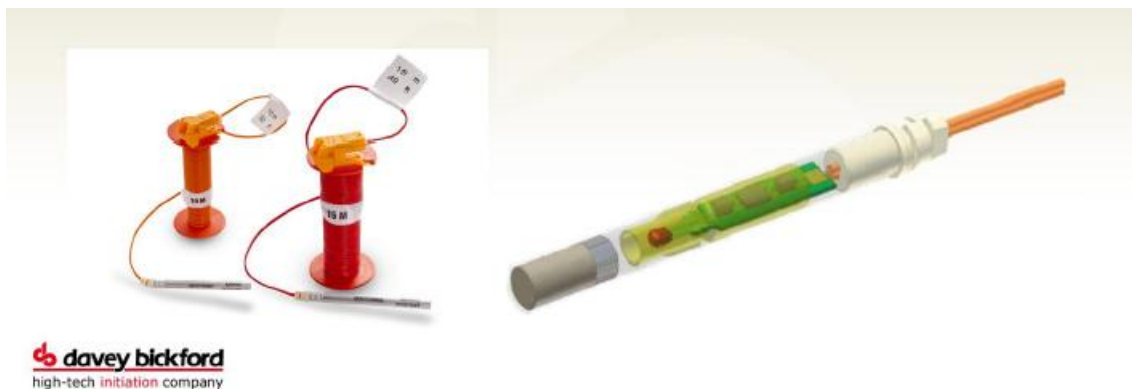
- Presión dinámica
- Descarga electrostática
- Campos electromagnéticos
- Corrientes vagabundos

Recibe, entiende y ejecuta comandos de las unidades de programación y disparo, realiza auto-diagnostico de su estado operativo, almacena y chequea la energía y fuga durante el proceso de disparo, almacena energía necesaria para iniciar el fusehead, genera el impulso eléctrico necesario para iniciar fusehead.

Entre sus características tenemos:

- Material de la capsula de aleación de aluminio
- Carga base de PETN 800 mg
- Carga primaria Azida de Plomo 200 mg
- Material de núcleo de Acero
- Material de aislación polietileno de alta densidad naranja
- Resistencia a la tracción de 320 N – 72 lb

Figura 34 Detonador electrónico DAVEYTRONIC



Fuente: Manual de programador DAVEY TRONIC

d) X-BOOSTER

Dispositivo de inicio para agentes explosivos de alto poder, que mediante su accesorio Safelock facilita una activación segura y rápida durante la operación. Su recipiente plástico resguarda la mezcla explosiva interna, reduciendo su sensibilidad a impactos o fricción y mejorando su resistencia a la humedad presente en ciertos pozos de perforación. Está disponible en versiones adaptadas para minería subterránea y a cielo abierto.

Figura 35 X-BOOSTER 450

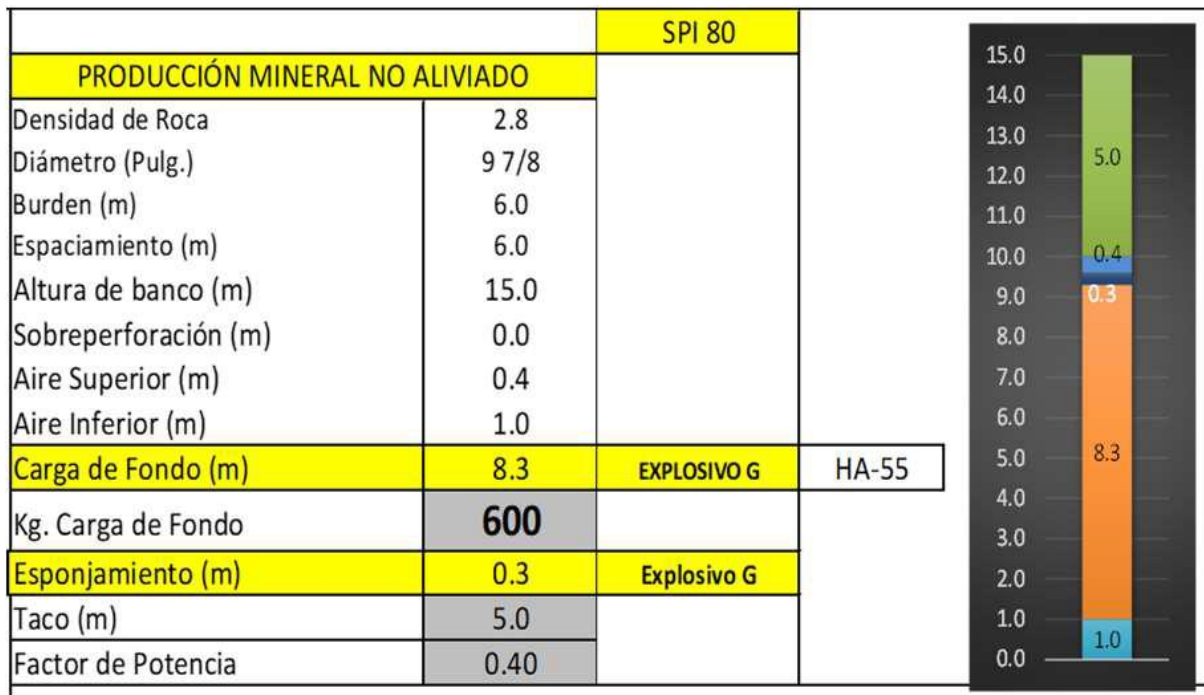


Fuente: Manual de tronadura ENAEX S.A.C

B. Diseño de carga

El diseño de carga en taladros de producción (mineral-desmonte) se realiza de la siguiente manera:

Figura 36 Diseño de carga



Fuente: Área de PyV U.M Constanca

- Altura de banco (Hb) = 15m
- Burden (B) = 6m
- Espaciamiento (E) = 6m
- Sobre perforación (Sp) = 0m
- Diámetro del taladro (DT) = 9 7/8"
- Taco (T) = 5m
- Longitud de carga (Lc) = 8.3m
- Explosivo usado = HA55
- Densidad del explosivo (DE) = 1.29kg/m³
- Vol/tal = Hb*B*E = 15*6*6 = 540m³
- Factor de carga (FC) = 600KG/1,305m³ = 0.525kg/m³
- Factor de potencia (FP) = 600kg/1,512ton = 0.40Kg/ton

3.3.3 Carguío

El proceso de carguío consiste en el recojo del material volado o acumulado el cual será llevado de acuerdo al contenido de valor del material el cual puede tener contenido mineral o desmonte, con el fin de generar nuevas áreas de perforación y voladura deberemos usar las palas y cargadores, para el carguío y posterior transporte del material.

Figura 37 pala Diesel HITACHI EX5600



Fuente: propia

Para el carguío de material volado, la U.M Constanca tiene a su disposición 3 palas y 2 cargadores, tal como se muestra en el siguiente cuadro.

Tabla 16 Equipos de carguío

Cantidad	Tipo	Alimentación
3	HITACHI EX5600	Diesel
2	CARGADOR CAT 994H	Diesel

Fuente: Elaboración propia

A. PALA HITACHI EX5600

La pala HITACHI EX5600 tiene las siguientes características:

- Capacidad de balde de 29 m³
- Carga útil de 52.2 tm.
- Potencia del motor de 2x1500 HP (1,119 kW).
- Alcance lateral 17 m.
- Profundidad de excavación 4.8 m.

Figura 38 Pala eléctrica Komatsu



Fuente: Propia

B. CARGADOR CAT 944H

El cargador 944H Caterpillar tiene las siguientes características:

- Capacidad de balde 2.5m³ (3.3 yd³)
- Carga útil de 4.7Tm

- Potencia del motor 165 kW (220 HP)
- Alcance lateral 3.5 m (11.5 ft)
- Velocidad máxima 40 km/h

Figura 39 Cargador 944H diesel Caterpillar



Fuente: Propia

3.3.4 Acarreo

El acarreo o transporte del material fragmentado con o sin contenido mineral desde la zona de carguío hasta los diferentes puntos de descarga como son chancadoras, botaderos, stock, etc. El transporte se realiza con ayuda de los camiones mineros que cuentan con alta capacidad de carga y con altos estándares de seguridad.

En la U.M Constancia se cuenta con los siguientes equipos de acarreo:

Tabla 17 Equipos de acarreo

Cantidad	Tipo	Capacidad
20	CATERPILLAR 793F	227TC
5	HITACHI EH-4000	240TC

Fuente: elaboración propia

Figura 40 Camión CAT 793F



Fuente: Propia

Figura 41 Camión HITACHI EH-4000



Fuente: Propia

CAPITULO IV

FACTORES QUE INLUYEN EN LA VIDA UTIL Y RENDIMIENTO

4.1 Alcance de la investigación

Descriptivo y correlacional porque el estudio descriptivo se emplea para revelar nuevos hechos y significados de un estudio. un alcance correlacional se lleva a cabo para medir dos variables.

Este tipo de estudio se emplea para explorar hasta qué punto se correlacionan dos variables en un estudio.

4.2 Operación de perforación

4.2.1 Equipos de perforación utilizados

Para el estudio realizado se tomó como muestra las perforadoras 1,2 y 3 que pertenece a la marca EPIROC Pit Viper 271, que tiene las características tal como se muestra en la tabla la siguiente tabla

Tabla 18 Características de la perforadora Pit Viper 271

Diámetro de perforación	250 - 310 mm	(9 7/8" – 12 1/4")
Carga max. de barrenas	34,000 kg	75,000 lbs
Método de perforación	Single-Pass rotativo y DTH	
Unidad de potencia principal	Diesel	
Longitud máx. de perforación	32 m	
Capacidad de Pulldown	0 Kn, 0 lbs	311 kN, 70,000 lbf

Fuente: Catalogo EPIROC

4.2.2 Diseño de malla de perforación

4.2.2.1 Parámetro de diseño por tipo de roca

El área de planeamiento define el área de producción se diseña la malla de perforación de acuerdo a los parámetros geotécnicos como son el tipo de roca, resistencia a la

compresión uniaxial (UCS), el índice de prefracturamiento del macizo rocoso (RQD), etc.

La siguiente tabla muestra los parámetros usados en base a esas características:

Tabla 19 Parámetros de medición

PARAMETROS	TIPO DE ROCA		
	Diorita	Monzonita	Skarn
Diametro del taladro (pulg)	9 7/8	9 7/8	9 7/8
Altura de Banco (m)	15	15	15
Sobreperforación (m)	0	0	0
Profundidad Taladro (m)	15	15	15
Burden (m)	7	6	6
Espaciamiento (m)	7	6	6
Volumen / Taladro (m3)	735	540	540
Densidad (TM/m3)	2.5	2.6	2.6
Toneladas /Taladro	1,837.5	1,404	1,404
Perforación específica (TM/m)	122.5	93.6	93.6

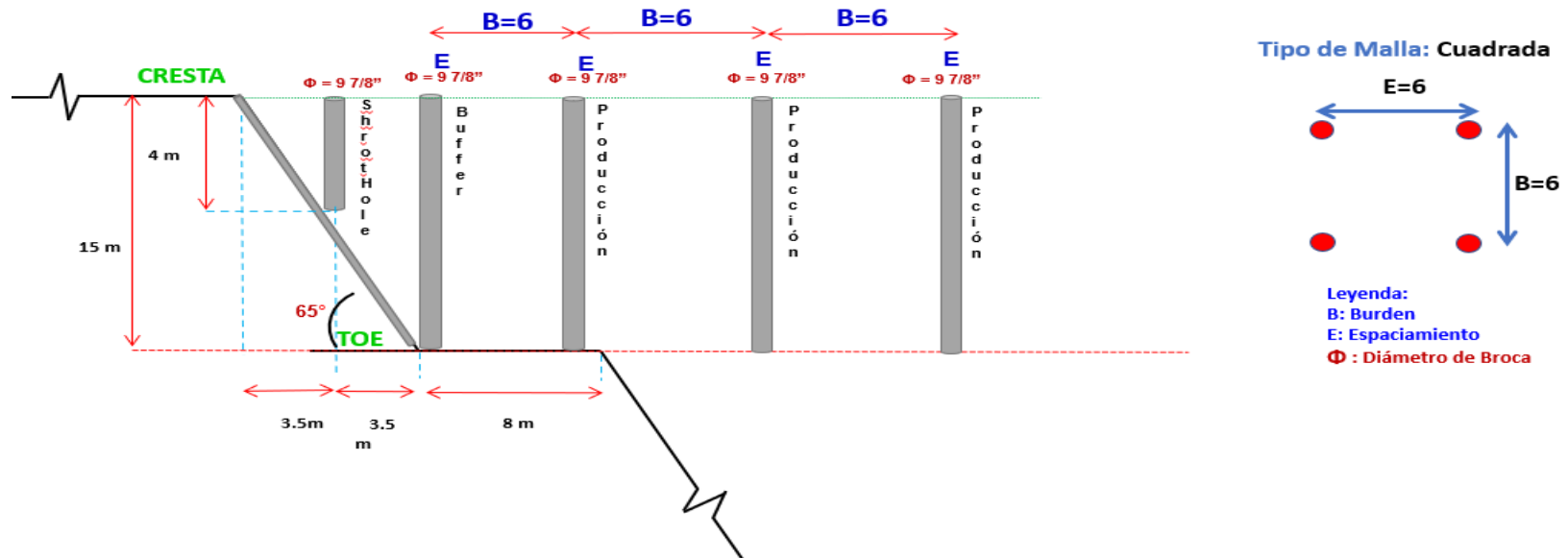
Fuente: Área de PyV U.M Constanca

4.2.2.2 Diseño de malla para roca de dureza alta a muy alta

Como se vio en la tabla N°3.2 de caracterización geomecánica, el Skarn es considera como roca dura por su resistencia a la compresión uniaxial (UCS) de 174.34Mpa y el Diorita como roca suave-media por su resistencia a la compresión uniaxial de 271.11Mpa, es por eso que el diseño de malla BxE (Burden * Espaciamiento) = 6 mx6 m.

El diseño de BxE es de esa medida para cumplir con la fragmentación solicitada por planta.

Figura 42 Diseño de malla en roca media - dura

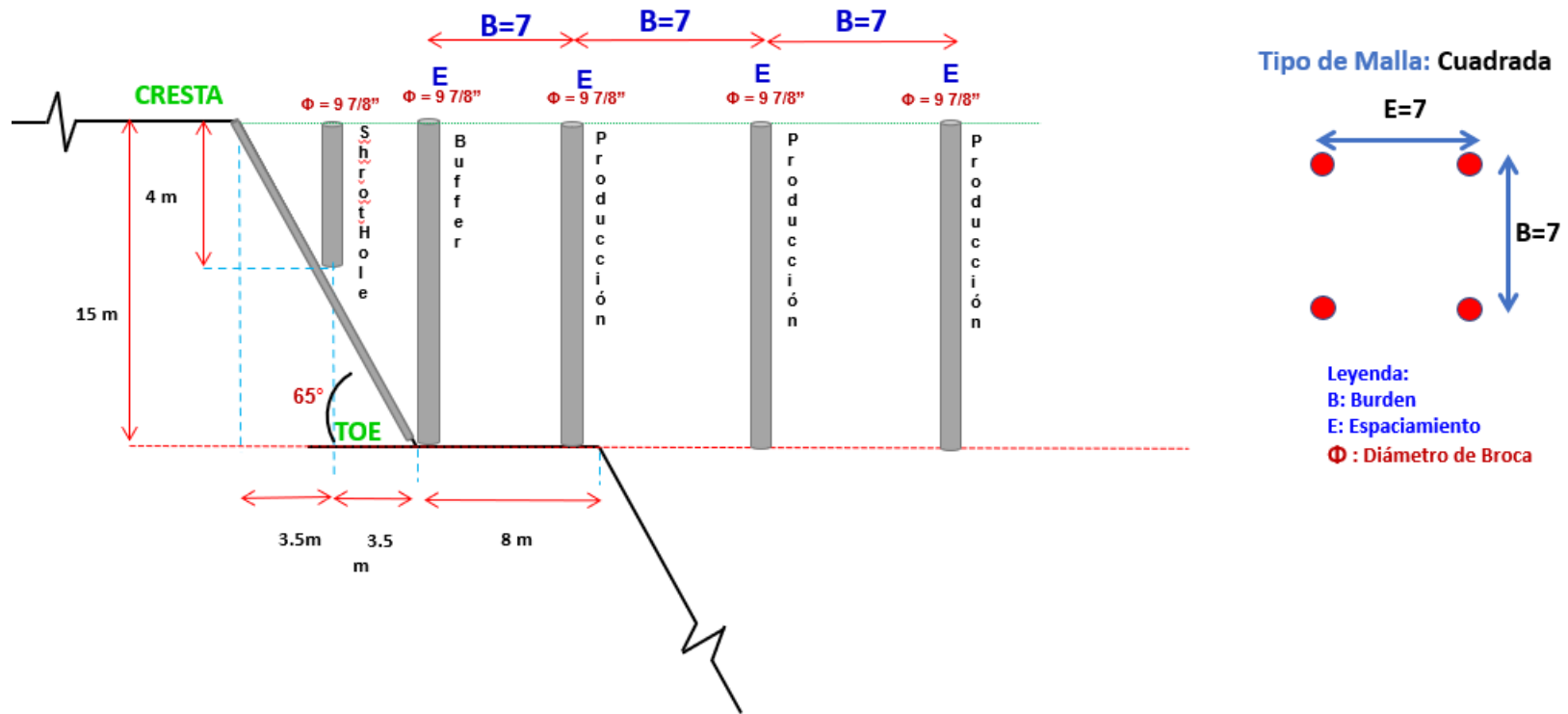


Fuente: Área de PyV U.M Constancia

Diseño de malla – Dureza de roca media

Como se vio en la tabla N°3.2 de caracterización geomecánica, la monzonita es considerada como roca dura por su resistencia a la compresión uniaxial (UCS) de 154.31Mpa, es por eso que el diseño de malla $B \times E = 9m \times 9m$. con el fin de llegar a la granulometría deseada.

Figura 43 Diseño de malla – Roca suave



Fuente: Área de PyV U.M Constanca

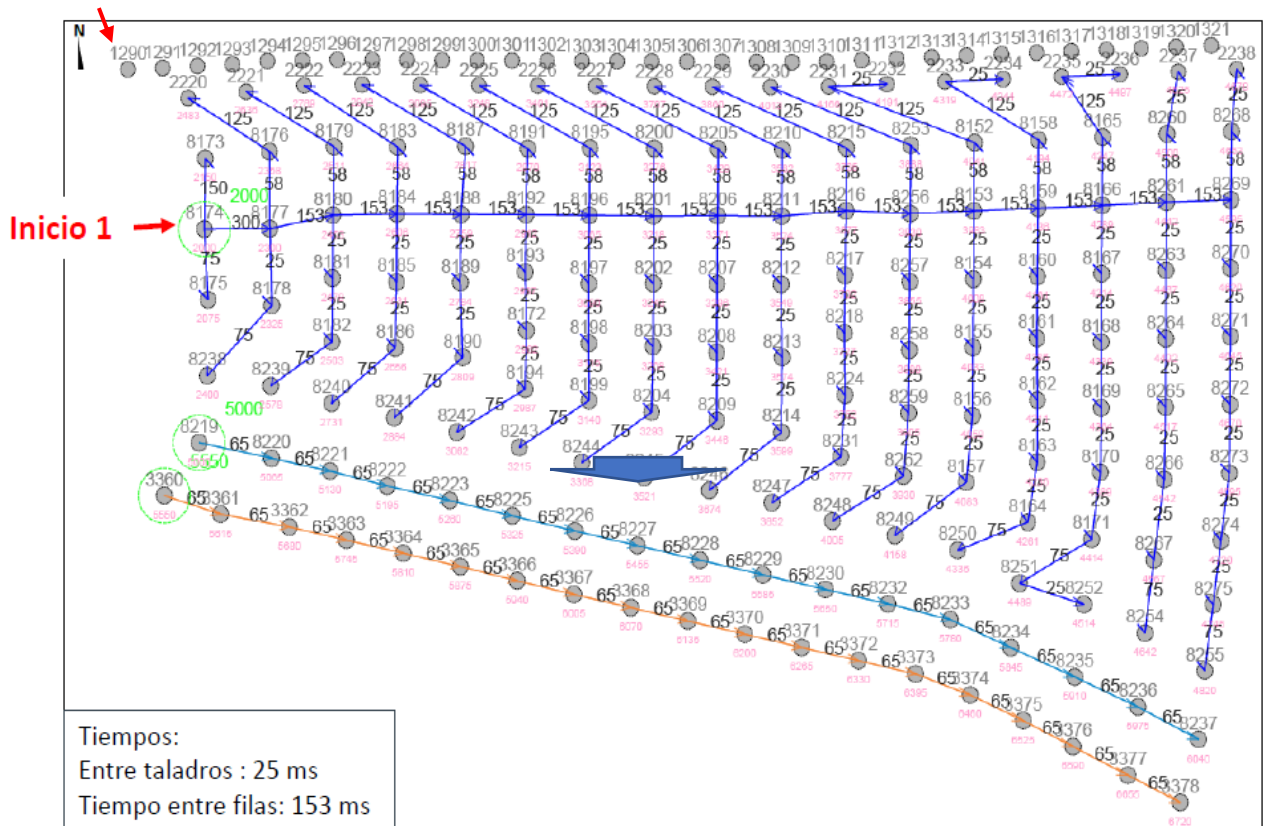
4.2.2.3 Diseño de malla y secuencia de salida de taladros:

La secuencia de salida de los taladros se realiza de la manera siguiente:

- Primero se detona los taladros de Pre-corte para generar el filtro con el fin de mantener la estabilidad del talud y conservar la cara libre del banco.
- Luego de detonar los taladros de Pre-corte, se genera un segundo filtro con la detonación de toda la línea buffer para minimizar el daño hacia la pared por efectos de las vibraciones de la voladura de producción.
- Tercero se procede a detonar los taladros de producción, en función a la proyección del material.

Figura 44 Secuencia de salida de taladros

Inicio Pre-corte



Fuente: Área de PyV U.M Constancia

En la imagen se observa una secuencia de salida en trapezoidal, ya que es recomendable para voladuras con una cara libre la cual genera una pila de material uniforme y baja, la cual es favorable para el carguío vía.

4.3 Técnicas de obtención de información

4.3.1 *Trabajos de campo*

Se recolecta la información de campo mediante reportes de perforación (bitácora) por turno, cada operador de las diferentes perforadoras registra los parámetros de perforación en los reportes, para posteriormente revisarlo en gabinete.

4.3.2 *Trabajos de gabinete*

4.3.2.1 Análisis de reportes de perforación

Para la presente investigación se recopiló información de campo mediante los reportes de perforación/guardia y de la base de datos del sistema report for miners (R4M) donde se almacena el metraje de los aceros en tiempo real. Este estudio se realizó en un periodo de 3 meses y se tomó como muestra 3 perforadoras.

Para el análisis de los reportes de perforación se utilizó el Microsoft Excel en donde se almacenaron los datos obtenidos del sistema R4M. Los datos obtenidos en el estudio fueron procesados, y el análisis se llevó a cabo mediante metodologías lógicas y secuenciales para garantizar resultados confiables. Se analizaron tablas y gráficos, interpretando los resultados obtenidos con el objetivo de evaluar el impacto de la velocidad de penetración y las evidencias cuantitativas en la disminución del Tiempo de Ciclo de Perforación (TDC), de igual forma se utilizó Microsoft Word para redactar el informe de investigación.

4.3.2.2 Identificación de los factores que influyen en el proceso de perforación

Los factores que influyen en el proceso de perforación son:

- Tipo de máquina perforadora
- Mantenimiento de equipo

- Pulldown
- Velocidad de rotación
- Presión de aire
- Velocidad de perforación
- Condiciones de terreno

A continuación, se presentan cuáles son principales factores que influyen en la vida útil y rendimiento de las barras y brocas.

Se mostrará también los valores recomendados según el fabricante de brocas en este caso SHAREATE con el cual estamos trabajando.

A. Empuje hacia abajo (pulldown)

El empuje aplicado sobre la broca debe ser suficiente para sobrepasar la resistencia a la compresión de la roca, pero no debe ser excesivo para evitar fallos prematuros o anormales del tricono.

Por otra parte, esta fuerza no puede exceder un determinado valor límite, para evitar daños prematuros en el trepano o matriz.

En formaciones rocosas duras o muy duras, una fuerza excesiva conduce a la destrucción de los rodamientos e insertos periféricos, lo que significa el término de la vida útil del tricono.

El empuje de las máquinas perforadoras Pit Viper 271 es de hasta 75,000 libras, pero esta aplicación varía según el tipo de roca y diámetro del tricono. Drillco recomienda que el pulldown en roca muy dura está en un rango de 25,000 - 35,000lb, en roca dura 30,000lb y en roca media 25,000lb.

B. Presión de aire

Se encarga de brindar un adecuado volumen y presión de aire como para lubricar y enfriar los cojinetes de las brocas y evacuar los detritos que se genera durante la perforación.

La presión promedio para enfriar y lubricar los cojinetes de una broca es de 500 psi de presión

Para evacuar los detritos de manera eficiente se necesita una velocidad de barrido 5000 ft/min a 7000 ft/min en material seco y ligero, esta presión aumentara como máximo hasta los 10000 ft/min si las partículas tienen mayor densidad o están húmedas ya que son más pesadas.

Según el fabricante el caudal de aire recomendado en terrenos duros es de $61\text{m}^3/\text{min}$, en roca media es de $50\text{m}^3/\text{min}$ y en roca suave es de $40\text{m}^3/\text{min}$

C. Velocidad de rotación

La velocidad de rotación, expresada en RPM es inversamente proporcional a la resistencia a la compresión de la roca, ya que según sea el caso se aumentará o disminuirá la velocidad de perforación.

En terreno duro se debe aplicar un menor RPM, los fabricantes recomiendan como mínimo 40 RPM y máximo 60 RPM y en terreno suave un mínimo 80 y un máximo 100 RPM.

Según el catálogo de Epiroc la velocidad de rotación recomendada roca dura y muy dura va entre los 50 y 60, en roca de dureza media es de 80 y en roca suave es de es 110.

D. Velocidad de perforación

La velocidad de perforación está directamente relacionado a los factores anteriores como son el pulldown y la velocidad de rotación.

Este factor es el más resaltante en cuanto a los factores que influyen en la vida de las barras y brocas, ya que el operador tendrá que calibrar el equipo de acuerdo a las indicaciones técnicas y parámetros antes mencionados como son el pulldown, presión de aire y rotación. Cabe mencionar que la capacitación anual del personal a cargo del área de entrenamiento mina, donde cada operario rinde un determinado examen de retroalimentación y actualización de la operación de los equipos de acuerdo a la capacitación y de esta manera poder renovar la licencia de operación de los equipos de perforación.

4.3.2.3 Metros perforados por equipo

Para el trabajo se consideró la perforadora 01,02 Y 03 de los cuales cada máquina perforadora realizo un total de metros perforados durante los 3 meses de estudio, tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 20 Metros perforados por equipo

PERFORADORA	Metros perforados
PE01	37,782 metros lineales

PE02	41,847 metros lineales
PE03	37,003 metros lineales

Fuente: Elaboración propia

4.3.2.4 Vida útil y rendimiento de barras y brocas de perforación

A. Vida útil y rendimiento de barras

a) Rendimiento de barras SANDVIK

El rendimiento de las barras SANDVIK (8 5/8") tiene un promedio de vida de 120,000 metros lineales perforados, y tiene un costo de 10,400 dólares la barra, durante el mes de marzo a mayo solo se consumieron 3 barras, ya que estos tienen una larga vida útil tal como se muestra en el siguiente cuadro. Cabe resaltar que la vida útil de una barra se prologa con soldadura especializada y por este motivo es que una barra puede llegar a durar muchos meses.

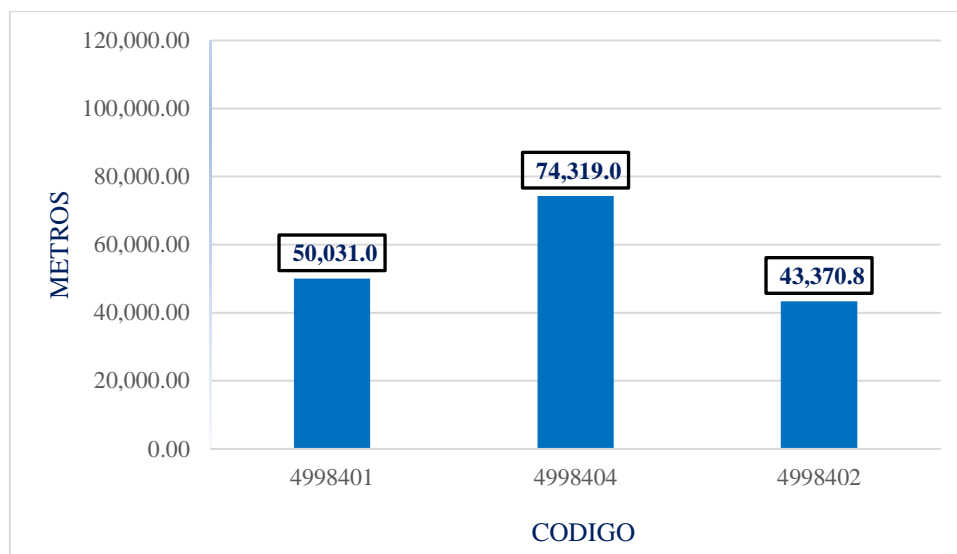
La PE01, PE02 y PE03 trabajan con las barras SANDVIK

Tabla 21 Rendimiento de barras SANDVIK

SANDVIK (TD 5,6)		
MES	CODIGO	METRAJE
ABRIL	4998401	50,031.00
ABRIL	4998404	74,319.00
ABRIL	4998402	43,370.80

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 1 Rendimiento de barras SANDVIK



Fuente: Elaboración propia

b) Rendimiento de barras marca AGEOMET

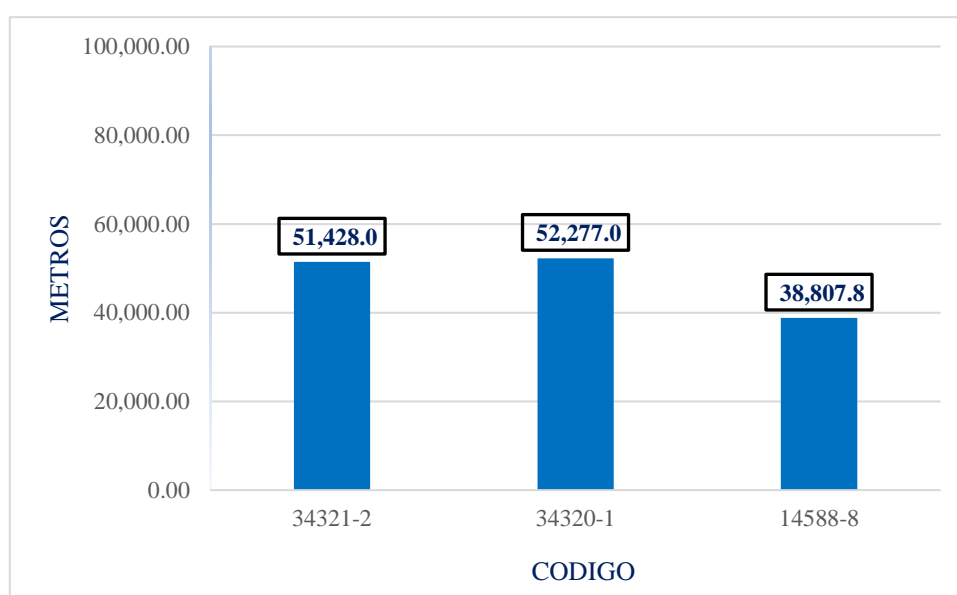
El rendimiento de las barras Agecomet (8 5/8") según catalogo tiene una vida promedio de 100,000 metros lineales perforados, y tienen un costo de 9,500.00 dólares la barra. Cabe mencionar que al igual que las barras SANDVIK, se puede alargar la vida útil con soldadura especializada. En el siguiente cuadro se muestran la vida útil de las barras Agecomet, la perforadora PE01, PE02 y PE03 trabajan con estas barras.

Tabla 22 Rendimiento de Barras AGEOMET

AGEOMET		
MES	CODIGO	METRAJE
ABRIL	34321-2	51,428.00
ABRIL	34320-1	52,277.50
ABRIL	14588-8	38,807.80

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 2 Rendimiento de barras AGECOMET



Fuente: elaboración propia

c) Comparación de rendimientos de barras por marca en función al costo

En la siguiente tabla se muestra el rendimiento promedio de las barras en función al costo, dado que solo se consumió barras en el mes de abril.

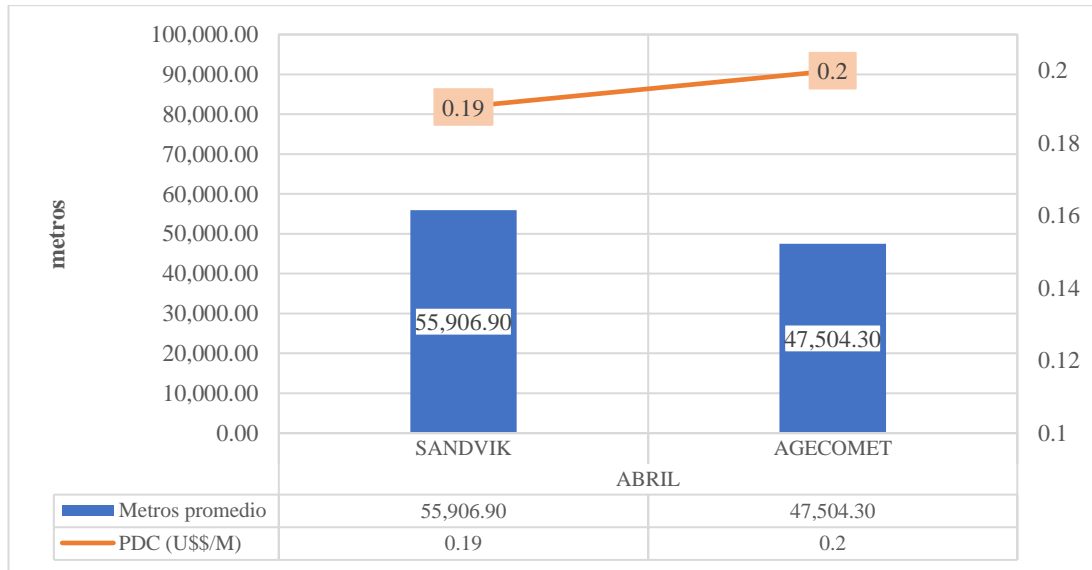
Tabla 23 Rendimiento de Barras Sandvik

MES	MARZO		ABRIL		MAYO	
MARCA	SANDVIK	AGECOMET	SANDVIK	AGECOMET	SANDVIK	AGECOMET
Metros promedio	0	0	55,906.9	47,504.3	0	0
PDC (U\$\$/M)	0	0	0.19	0.2	0	0

Fuente: Elaboración propia

En el siguiente grafico se muestra metros perforados promedio y PDC promedio por marca de barra.

Gráfico 3 Rendimiento promedio en función al costo



Fuente: Elaboración propia

Del siguiente gráfico se puede decir que la vida útil promedio de la barra SANDVIK es mayor al de la barra AGECOMET, pero el costo parcial de perforación de la barra SANDVIK es prácticamente igual al costo parcial de perforación de la barra AGECOMET, por lo que se concluye que la barra SANDVIK tiene un mayor rendimiento que la barra AGECOMET a un mismo costo parcial de perforación.

B. Vida útil y rendimiento de brocas marca SHAREATE según la influencia de los factores

Las brocas tricónicas SHAREATE según el catálogo tienen un rendimiento de 3800 metros lineales de perforación en condiciones de terreno de dureza media a dura, este rendimiento tendrá una variación de +200 m si es roca suave y - 200 m si es roca dura, para llegar a esos indicativos los equipos de perforación tendrán que estar calibradas de acuerdo a los parámetros de perforación requeridos.

a) Consumo, rendimiento y vida útil de brocas en los meses de marzo a mayo

I. Consumo de brocas en el mes de marzo

Tabla 24 Consumo de brocas marzo

Equipo	Dureza	MES	Marca	Modelo	Diámetro (Pulg)	Metros
PE01	Duro	MARZO	SHAREATE	545	9 7/8	3351
	Duro	MARZO	SHAREATE	545	9 7/8	2465
	Muy Duro	MARZO	SHAREATE	645	9 7/8	2329
	Muy Duro	MARZO	SHAREATE	645	9 7/8	3305.5
	Muy Duro	MARZO	SHAREATE	645	9 7/8	2689.5
	Duro	MARZO	SHAREATE	645	9 7/8	2379.1
PE02	Duro	MARZO	SHAREATE	645	9 7/8	3223
	Duro	MARZO	SHAREATE	645	9 7/8	4476
	Duro	MARZO	SHAREATE	645	9 7/8	4234.9
	Medio	MARZO	SHAREATE	545	9 7/8	1083.5
	Muy Duro	MARZO	SHAREATE	645	9 7/8	2542
PE03	Duro	MARZO	SHAREATE	545	9 7/8	3065
	Muy Duro	MARZO	SHAREATE	545	9 7/8	3261.5
	Muy Duro	MARZO	SHAREATE	645	9 7/8	2826.5
	Blando	MARZO	SHAREATE	645	9 7/8	2661.8

Fuente: Elaboración propia

En el mes de marzo se consumió un total de 15 brocas, de las cuales 1 broca tuvo un desgaste muy prematuro por defectos de fabricación, por lo que el proveedor tubo que reponer las brocas.

Las brocas resaltadas de color rojo tuvieron un desgaste acelerado por la influencia de los factores de perforación, que serán descritas más adelante.

La broca defectuosa se descartará para los posteriores análisis.

II. Consumo de brocas durante el mes de abril

Tabla 25 Consumo de brocas abril

Equipo	Dureza	MES	Marca	Modelo	Diámetro (Pulg)	Metros
PE01	Duro	ABRIL	SHAREATE	645	9 7/8	2120.8
	Muy Duro	ABRIL	SHAREATE	545	9 7/8	1890.2
	Muy Duro	ABRIL	SHAREATE	545	9 7/8	2853
	Muy Duro	ABRIL	SHAREATE	645	9 7/8	2938.5
	Muy Duro	ABRIL	SHAREATE	545	9 7/8	2413.5
	Muy Duro	ABRIL	SHAREATE	645	9 7/8	2629
PE02	Medio	ABRIL	SHAREATE	545	9 7/8	2730.5
	Blando	ABRIL	SHAREATE	545	9 7/8	2455
	Duro	ABRIL	SHAREATE	545	9 7/8	3778

	Muy Duro	ABRIL	SHAREATE	545	9 7/8	2705
	Muy Duro	ABRIL	SHAREATE	545	9 7/8	2166.5
	Duro	ABRIL	SHAREATE	545	9 7/8	3401.5
	Duro	ABRIL	SHAREATE	545	9 7/8	2261.5
	Medio	ABRIL	SHAREATE	545	9 7/8	1540
PE03	Muy Duro	ABRIL	SHAREATE	645	9 7/8	2718.5
	Muy Duro	ABRIL	SHAREATE	645	9 7/8	2282
	Medio	ABRIL	SHAREATE	645	9 7/8	2265.5
	Duro	ABRIL	SHAREATE	545	9 7/8	3564.5
	Blando	ABRIL	SHAREATE	645	9 7/8	2501.5
	Duro	ABRIL	SHAREATE	645	9 7/8	2937.5

Fuente: Elaboración propia

En el mes de febrero se consumieron un total de 20 brocas, de las cuales una broca tuvo un desgaste prematuro por defectos de fabricación por lo que el proveedor tuvo que reponer la broca, cabe mencionar que en el mes de abril se realizó la perforación en zonas con dureza más elevadas a lo normal.

III. Consumo de brocas durante el mes de mayo

Tabla 26 Consumo de brocas mayo

Equipo	Dureza	MES	Marca	Modelo	Diámetro (Pulg)	Metros
PE01	Muy Duro	MAYO	SHAREATE	645	9 7/8	1925
	Muy Duro	MAYO	SHAREATE	645	9 7/8	2601
	Muy Duro	MAYO	SHAREATE	645	9 7/8	2210
	Muy Duro	MAYO	SHAREATE	645	9 7/8	1462
	Muy Duro	MAYO	SHAREATE	645	9 7/8	2873
	Duro	MAYO	SHAREATE	645	9 7/8	3388
	Muy Duro	MAYO	SHAREATE	545	9 7/8	2095.5
	Muy Duro	MAYO	SHAREATE	545	9 7/8	2983.5
PE02	Duro	MAYO	SHAREATE	645	9 7/8	2718.5
	Duro	MAYO	SHAREATE	645	9 7/8	2031.5
	Duro	MAYO	SHAREATE	645	9 7/8	1939.5
	Duro	MAYO	SHAREATE	545	9 7/8	3783
	Medio	MAYO	SHAREATE	545	9 7/8	3603.9
	Muy Duro	MAYO	SHAREATE	545	9 7/8	2781.5
PE03	Duro	MAYO	SHAREATE	645	9 7/8	2431
	Muy Duro	MAYO	SHAREATE	645	9 7/8	2227
	Muy Duro	MAYO	SHAREATE	645	9 7/8	2201
	Medio	MAYO	SHAREATE	645	9 7/8	3230
	Muy Duro	MAYO	SHAREATE	545	9 7/8	2574
	Muy Duro	MAYO	SHAREATE	545	9 7/8	1533

Fuente: Elaboración propia

En el mes de mayo se consumieron un total de 20 brocas, de las cuales 2 brocas se desgastaron prematuramente, luego de hacer las investigaciones respectivas se llegó a la conclusión de que dichas brocas estaban defectuosas, por lo que el proveedor tuvo que reponer.

Para los posteriores análisis se descartarán las 2 brocas.

En la siguiente tabla se muestra un resumen de las brocas consumidas durante los 3 meses de estudio

Tabla 27 consumo de brocas por mes

BROCAS CONSUMIDAS POR MES	
MARZO	15
ABRIL	20
MAYO	20
TOTAL	55

Fuente: elaboración propia

En los meses de maro a mayo se consumieron un total de 55 brocas, de los cuales 4 brocas se desgastaron prematuramente por defectos de fabricación.

Para los siguientes análisis de rendimientos se descartaron las 4 brocas por el margen de error que estos representan.

b) Determinación de los factores según el tipo de roca

l. Determinación de factores en roca dura

En la siguiente tabla se muestra los datos obtenidos de campo, donde se muestra el pulldown, caudal de aire aplicado y el RPM.

Tabla 28 Factores en roca muy dura

Equipo	Modelo	Metros	Dureza	MES	Presión aire	RPM	Pull down	Velocidad Penetración
PE01	645	2329	Muy Duro	MARZO	50.8	77.5	16019.2	25.84
	645	3305.5	Muy Duro	MARZO	43.3	63.1	16068.1	33.54
	645	2689.5	Muy Duro	MARZO	22.4	38.0	16455.9	23.93
PE02	645	2542	Muy Duro	MARZO	49.7	91.5	31881.7	14.99
PE03	545	3261.5	Muy Duro	MARZO	59.4	82.0	40029.6	31.68
	645	2826.5	Muy Duro	MARZO	61.1	93.0	46132.3	35.96
PE01	545	1890.2	Muy Duro	ABRIL	61.9	102.0	26927.5	39.91
	545	2853	Muy Duro	ABRIL	60.7	77.0	23508.7	17.76

	645	2938.5	Muy Duro	ABRIL	63.0	95.0	33523.6	27.06
	645	2629	Muy Duro	ABRIL	62.2	84.0	24316.5	35.23
PE02	545	2705	Muy Duro	ABRIL	47.2	92.0	21798.5	20.06
	545	2166.5	Muy Duro	ABRIL	50.0	92.3	31875.6	17.34
PE03	645	2718.5	Muy Duro	ABRIL	56.0	81.0	40440.64	25.18
	645	2282	Muy Duro	ABRIL	55.0	82.0	41622.49	28.87
PE01	645	1925	Muy Duro	MAYO	61.4	102.0	48828.5	36.68
	645	2601	Muy Duro	MAYO	62.8	96.0	45657.2	25.74
	645	2210	Muy Duro	MAYO	61.0	101.0	46873.8	39.22
	645	1462	Muy Duro	MAYO	62.3	102.0	25566.9	28.17
	645	2873	Muy Duro	MAYO	66.0	105.0	28317.9	20.72
	545	2095.5	Muy Duro	MAYO	63.9	84.0	32211.1	31.44
PE03	645	2227	Muy Duro	MAYO	57.0	83.0	50084.9	25.05
	645	2201	Muy Duro	MAYO	57.3	82.0	26210.6	26.79
	545	2574	Muy Duro	MAYO	36.1	80.0	14252.5	28.18

Fuente: elaboración propia

La teoría nos indica que roca de dureza muy dura se debe aplicar un mayor pulldown, mayor caudal de aire y un menor RPM.

Según los datos del cuadro, se aplicó los factores en base a la teoría, pero la vida útil de las brocas es menor a lo que indica el fabricante.

II. Determinación de factores en roca dura

En la siguiente tabla se muestra los datos obtenidos de campo, donde se muestra el pulldown, caudal de aire aplicado y el RPM.

Tabla 29 Factores en roca dura

Equipo	Modelo	Metros	Dureza	MES	Presión aire	RPM	Pull down	Velocidad Penetración (m/h)
PE01	545	3351	Duro	MARZO	58.85	88	15942.2	45.71
	545	2465	Duro	MARZO	60.53	94	30392.18	49.80
	645	2379.1	Duro	MARZO	63.69	104	11920.88	59.96
PE02	645	3223	Duro	MARZO	46.23	91	34487.45	55.62
	645	4476	Duro	MARZO	44.28	86.89	35237.67	48.89
	645	4234.9	Duro	MARZO	47.5	104	38725.48	57.17
PE03	545	3065	Duro	MARZO	47.24	97	46500.27	64.44
PE02	545	3778	Duro	ABRIL	48.42	104	38767.55	44.63
	545	3401.5	Duro	ABRIL	42.6	93	32700.59	43.22
	545	2261.5	Duro	ABRIL	54.37	99	40513.25	189.24
PE03	545	3564.5	Duro	ABRIL	45.08	90	24980.99	55.57
	645	2937.5	Duro	ABRIL	64.69	89	34781.07	57.57

PE02	645	2718.5	Duro	MAYO	52.62	86	21225.59	35.93
	645	2031.5	Duro	MAYO	73.45	100	13909.51	56.39
	645	1939.5	Duro	MAYO	56.67	92	44900.62	56.96
	545	3783	Duro	MAYO	56	98	27754.62	58.16
PE03	645	2431	Duro	MAYO	54.53	64	25628.23	51.37

Fuente: elaboración propia

En cuadro se observa que la vida útil de las brocas sigue por debajo de lo establecido por el fabricante.

En la tabla también observamos que se realizó mayor perforación en roca dura.

III. Determinación de los factores en roca media

En la siguiente tabla se muestra los datos obtenidos de campo, donde se muestra el pulldown, caudal de aire aplicado y el RPM.

Tabla 30 Factores en roca media

Equipo	Modelo	Metros	Dureza	MES	Presión aire	RPM	Pull down	Velocidad Penetración (m/h)
PE02	545	2730.5	Medio	ABRIL	38.88	76	4720.99	23.00
	545	1540	Medio	ABRIL	54.39	115	20437.25	68.92
PE03	645	2265.5	Medio	ABRIL	40.35	56	18468.43	24.66
PE02	545	3603.9	Medio	MAYO	44.13	98	21287.96	61.61
PE03	645	3230	Medio	MAYO	59.8	53	44210.17	67.62

Fuente: elaboración propia

4.4 COSTO TOTAL DE PERFORACION

Para determinar el costo total de perforación (TDC) se aplicó la fórmula desarrollada en el marco teórico.

$$TDC \left(\frac{US\$}{m} \right) = \left[\frac{\text{Precio Broca (US\$)}}{\text{Vida Util Broca (m)}} \right] + \left[\frac{\text{Costo Horario de Perforación} \left(\frac{US\$}{h} \right)}{\text{Velocidad de Penetración} \left(\frac{m}{h} \right)} \right]$$

En este caso el Para el cálculo del TDC necesitamos saber que el Costo horacio de la perforadora PV271 que es de 280US\$/h, y el precio de la broca SHAREATE es de 2340US\$.

4.4.1 *Determinación del costo total de perforación en roca muy dura*

Se determino el TDC en roca muy dura aplicando la formula, como se muestra en el siguiente ejemplo;

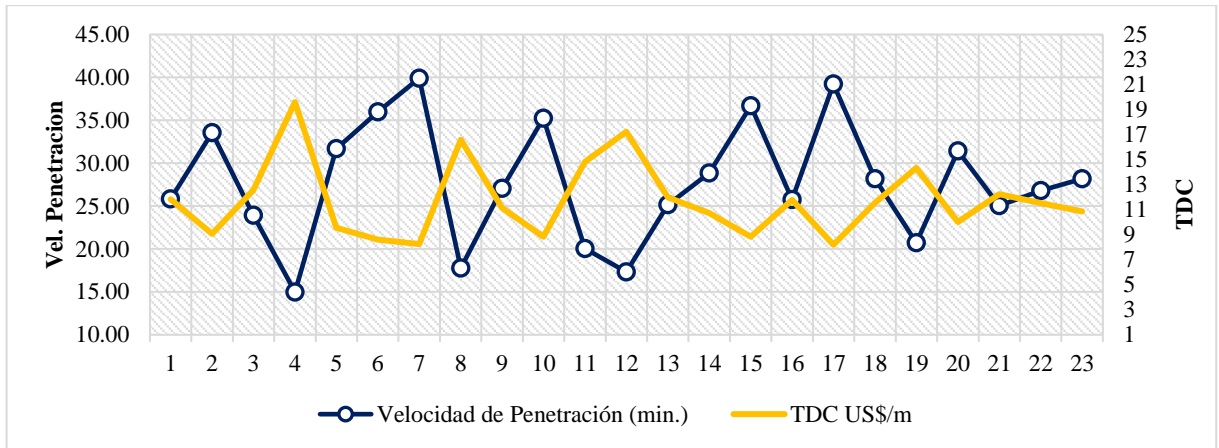
$$\text{TDC} = (2340\text{US\$}/2329) + (280\text{US\$}/25.84) = 11.84 \text{ US\$}$$

Tabla 31 TDC Roca muy dura

Equipo	Modelo	Metros	Dureza	MES	Velocidad de Penetración (min.)	TDC US\$/m
PE01	645	2329	Muy Duro	MARZO	25.84	11.84
	645	3305.5	Muy Duro	MARZO	33.54	9.06
	645	2689.5	Muy Duro	MARZO	23.93	12.57
PE02	645	2542	Muy Duro	MARZO	14.99	19.60
PE03	545	3261.5	Muy Duro	MARZO	31.68	9.56
	645	2826.5	Muy Duro	MARZO	35.96	8.61
PE01	545	1890.2	Muy Duro	ABRIL	39.91	8.25
	545	2853	Muy Duro	ABRIL	17.76	16.58
	645	2938.5	Muy Duro	ABRIL	27.06	11.15
	645	2629	Muy Duro	ABRIL	35.23	8.84
PE02	545	2705	Muy Duro	ABRIL	20.06	14.82
	545	2166.5	Muy Duro	ABRIL	17.34	17.23
PE03	645	2718.5	Muy Duro	ABRIL	25.18	11.98
	645	2282	Muy Duro	ABRIL	28.87	10.72
PE01	645	1925	Muy Duro	MAYO	36.68	8.85
	645	2601	Muy Duro	MAYO	25.74	11.78
	645	2210	Muy Duro	MAYO	39.22	8.20
	645	1462	Muy Duro	MAYO	28.17	11.54
	645	2873	Muy Duro	MAYO	20.72	14.33
	545	2095.5	Muy Duro	MAYO	31.44	10.02
PE03	645	2227	Muy Duro	MAYO	25.05	12.23
	645	2201	Muy Duro	MAYO	26.79	11.52
	545	2574	Muy Duro	MAYO	28.18	10.85

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 4 Rendimiento promedio en función al costo



Fuente: Elaboración propia

Se aplicó mayor velocidad de penetración en las brocas 7, 15 y 17 donde el costo total de perforación fue de 8.25 US\$/m, 8.85 US\$/m y 8.20 US\$/m respectivamente, pero a medida que disminuye la velocidad de perforación aumenta el costo total de perforación como se muestra en las brocas 4, 8 y 12 donde el costo total de perforación fue de 19.60 US\$/m, 16.58 US\$/m y 17.23 US\$/m, aumentando significativamente.

4.4.2 Determinación del costo total de perforación en roca dura

Se determinó el TDC en roca dura aplicando la fórmula, como se muestra en el siguiente ejemplo;

$$\text{TDC} = (2340\text{US\$}/3351) + (280\text{US\$}/45.71) = 6.82\text{US\$}$$

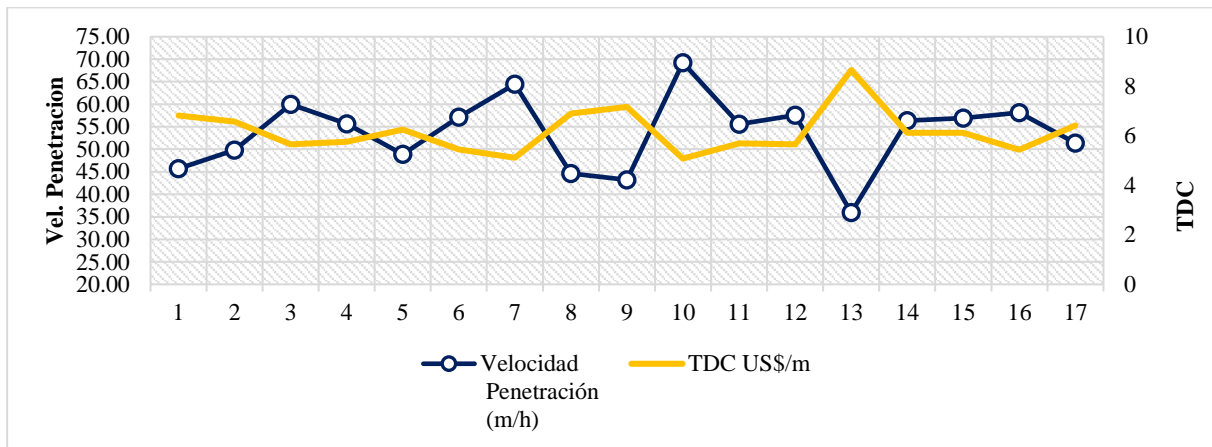
Tabla 32 TDC Roca dura

Equipo	Modelo	Metros	Dureza	MES	Velocidad Penetración (m/h)	TDC US\$/m
PE01	545	3351	Duro	MARZO	45.71	6.82
	545	2465	Duro	MARZO	49.80	6.57
	645	2379.1	Duro	MARZO	59.96	5.65
PE02	645	3223	Duro	MARZO	55.62	5.76
	645	4476	Duro	MARZO	48.89	6.25
	645	4234.9	Duro	MARZO	57.17	5.45
PE03	545	3065	Duro	MARZO	64.44	5.11
PE02	545	3778	Duro	ABRIL	44.63	6.89
	545	3401.5	Duro	ABRIL	43.22	7.17
	545	2261.5	Duro	ABRIL	69.24	5.08

PE03	545	3564.5	Duro	ABRIL	55.57	5.70
	645	2937.5	Duro	ABRIL	57.57	5.66
PE02	645	2718.5	Duro	MAYO	35.93	8.65
	645	2031.5	Duro	MAYO	56.39	6.12
	645	1939.5	Duro	MAYO	56.96	6.12
	545	3783	Duro	MAYO	58.16	5.43
PE03	645	2431	Duro	MAYO	51.37	6.41

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 5 Rendimiento promedio en función al costo



Fuente: Elaboración propia

Se aplicó mayor velocidad de perforación en las brocas 7 y 10 donde el costo total de perforación fue de 5.11 US\$/m y 5.08 US\$/m respectivamente, pero a medida que disminuye la velocidad de perforación aumenta el costo total de perforación como se muestra en las brocas 9 y 13 que son los valores mínimos, donde el costo total de perforación fue de 7.17 US\$/m y 8.65 US\$/m, aumentando significativamente.

4.4.3 Determinación del costo total de perforación en roca media

Se determinó el TDC en roca de dureza media aplicando la fórmula, como se muestra en el siguiente ejemplo;

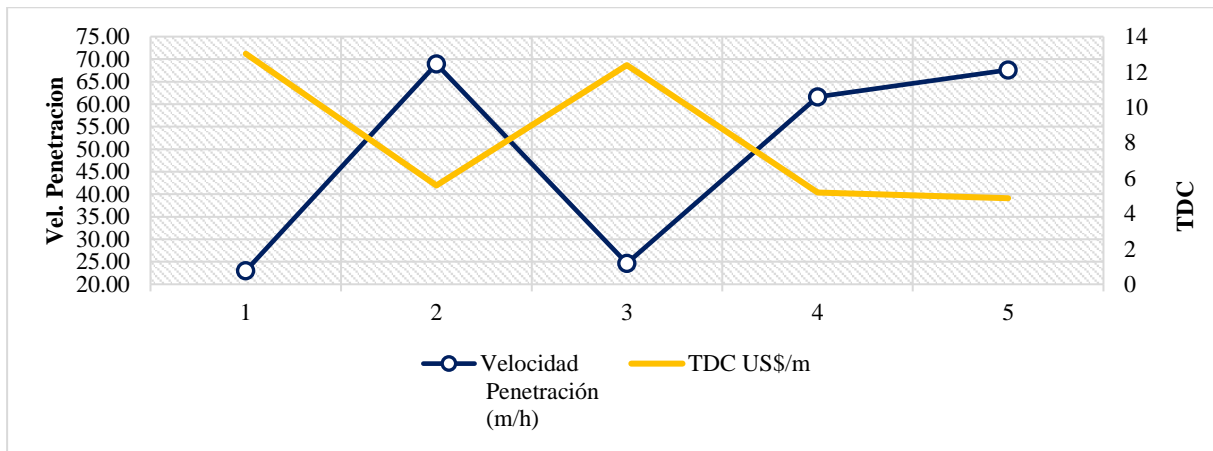
$$\text{TDC} = (2340\text{US\$}/2730.5) + (280\text{US\$}/19.74) = 13.03\text{US\$}$$

Tabla 33 TDC Roca media

Equipo	Modelo	Metros	Dureza	MES	Velocidad Penetración (m/h)	TDC US\$/m
PE02	545	2730.5	Medio	ABRIL	23.00	13.03
	545	1540	Medio	ABRIL	68.92	5.58
PE03	645	2265.5	Medio	ABRIL	24.66	12.39
PE02	545	3603.9	Medio	MAYO	61.61	5.19
PE03	645	3230	Medio	MAYO	67.62	4.87

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 6 Rendimiento promedio en función al costo



Fuente: Elaboración propia

Se aplico una mayor velocidad de perforación en las brocas 2 y 5 donde el costo total de perforación fue de 5.58 US\$/m y 4.87 US\$/m respectivamente, pero a medida que disminuye la velocidad de perforación aumenta el costo total de perforación como se muestra en las brocas 1 y 3 que son los valores mínimos, donde el costo total de perforación fue de 15.04 US\$/m y 12.39 US\$/m, aumentando significativamente.

CAPITULO V:

ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1 Evaluación de los factores que influyen en el rendimiento de aceros por tipo de roca

5.1.1 Evaluación de factores en tipo de roca muy dura

los valores recomendados de los factores de perforación en roca muy dura según los fabricantes se muestran en la siguiente tabla:

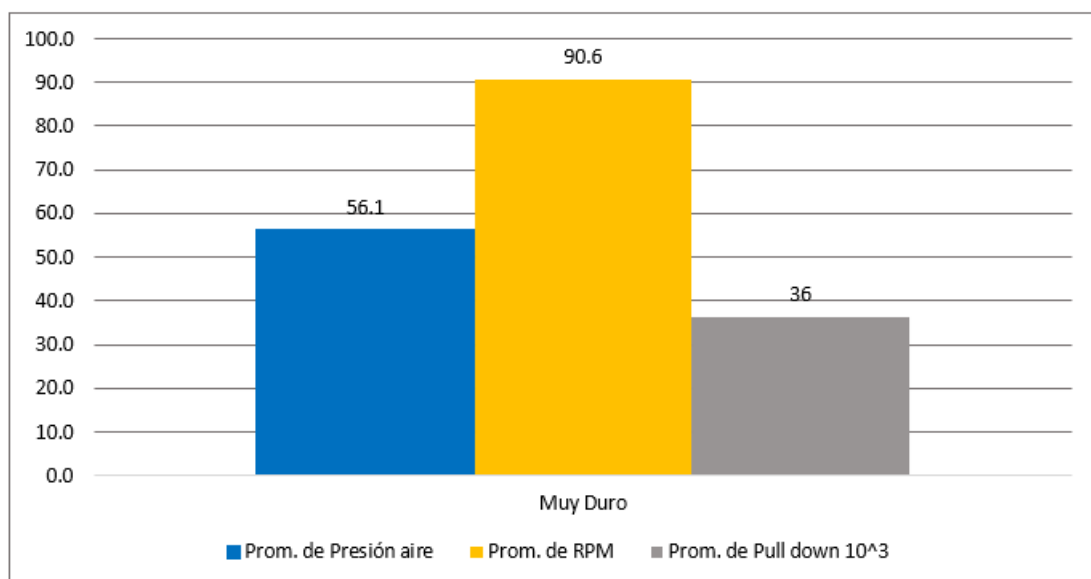
Tabla 34 Valores recomendados

FACTORES	VALORES RECOMENDADOS
Pulldown	36,000lb
Presión de aire	60m ³ /min
RPM	80

Fuente: Tabla de parámetros histórico Perforación HUDBAY

A continuación, se muestra lo valores promedio obtenidos de la tabla 28

Gráfico 7 Valores promedio



Fuente: Elaboración propia

- El pulldown recomendado para el tipo de roca muy dura según la tabla 34 es de hasta 36,000lb, en el grafico vemos que el promedio de pulldown es de 36,000.00 el cual es el recomendado para el tipo de roca.
- El RPM recomendado en tipos de roca muy dura es de 80rpm según la tabla 34 también la teoría dice que formaciones rocosas muy duras se aumenta el pulldown y disminuye el rpm. Según el promedio se tiene un valor de 90.6rpm, el RPM promedio es superior a lo recomendado en 10.6 de exceso el cual va directamente relacionado con la velocidad de penetración y el desgaste prematuro de los insertos periféricos.
- La presión de aire recomendada en este tipo de roca es de 60m³/min, ya que es la presión necesaria para mantener una buena evacuación de detritus.

En el grafico vemos que la presión de aire promedio es de 56.1 m³/min, el cual resulta menor de lo recomendado, esto genera que no haya una buena evacuación de detritus, lo cual genera remolienda.

5.1.2 *Evaluación de factores en tipo de roca dura*

los valores recomendados de los factores de perforación en roca dura según los fabricantes se muestran en la siguiente tabla:

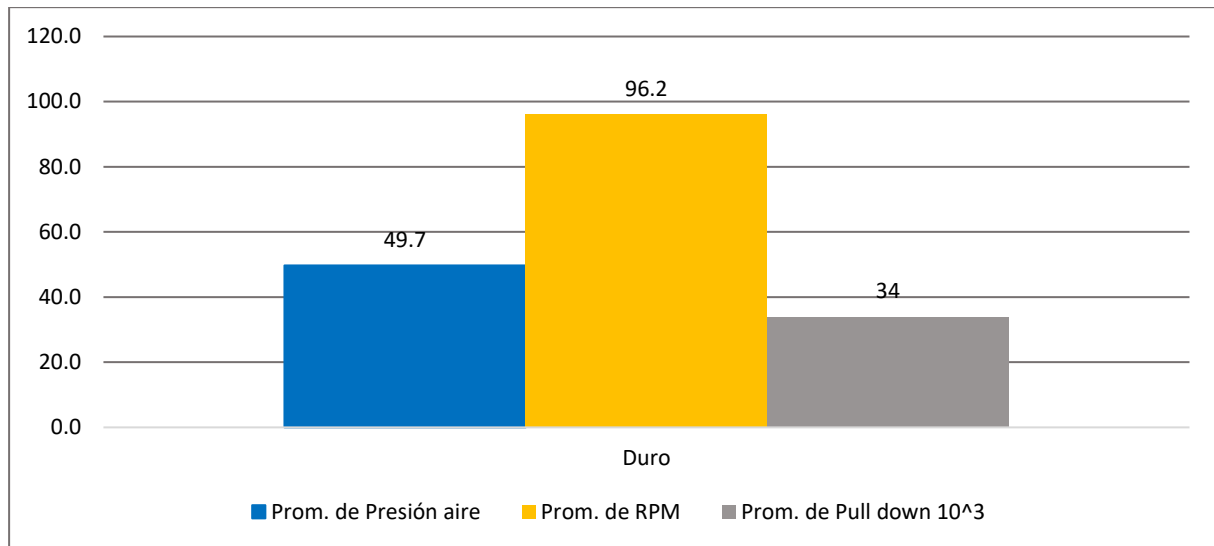
Tabla 35 Valores recomendados

FACTORES	VALORES RECOMENDADOS
Pulldown	33,000lb
Presión de aire	55m ³ /min
RPM	90

Fuente: Tabla de parámetros histórico Perforación HUBBAY

Factores promedio obtenidos de la tabla 29

Gráfico 8 Valores promedio



Fuente: Elaboración propia

- El pulldown recomendado para tipo de roca dura según la tabla 35 es de 33,000lb, en el grafico podemos observar que el pulldown promedio aplicado es de 34,000.00 libras, se observa que presenta un promedio ligeramente superior a lo recomendado para el tipo de roca.
- En RPM recomendado en este tipo de roca según la tabla 35 es de 90rpm, pero haciendo una comparación con los valores obtenidos se puede ver que el promedio de rpm en el grafico obtenido es de 96.2rpm donde se identifica un incremento a lo recomendado, esto repercute en un aumento de la velocidad de penetración para el tipo de roca indicada y generar desgaste prematuro en el tricono.
- La presión de aire recomendado en tipo de roca dura según la tabla 35 es de 55m³/min, y según los resultados del gráfico, el promedio de presión de aire es de 49.7m³/min, este valor es inferior a lo requerido para una adecuada evacuación de los detritos lo cual genera remolienda y mayor desgaste de los triconos.

5.1.3 Evaluación de factores en tipo de roca Media

los valores recomendados de los factores de perforación en roca suave según los fabricantes se muestran en la siguiente tabla:

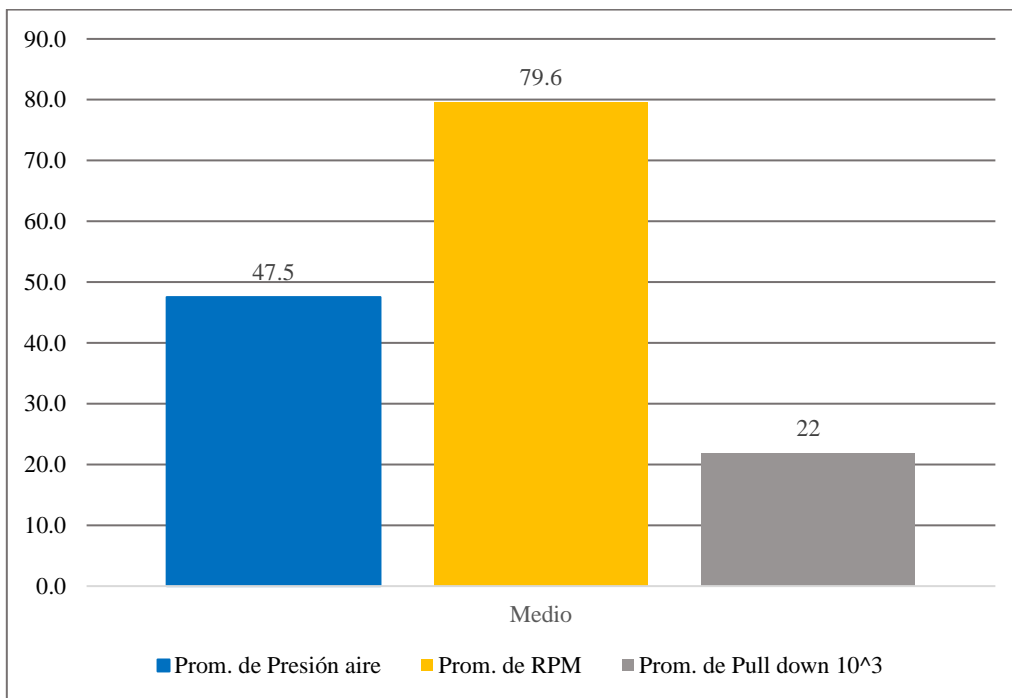
Tabla 36 Valores recomendados

FACTORES	VALORES RECOMENDADOS
Pulldown	25,000lb
Presión de aire	50m ³ /min
RPM	100

Fuente: Tabla de parámetros histórico Perforación HUBBAY

Factores promedio obtenidos de la tabla 30

Gráfico 9 Valores promedio

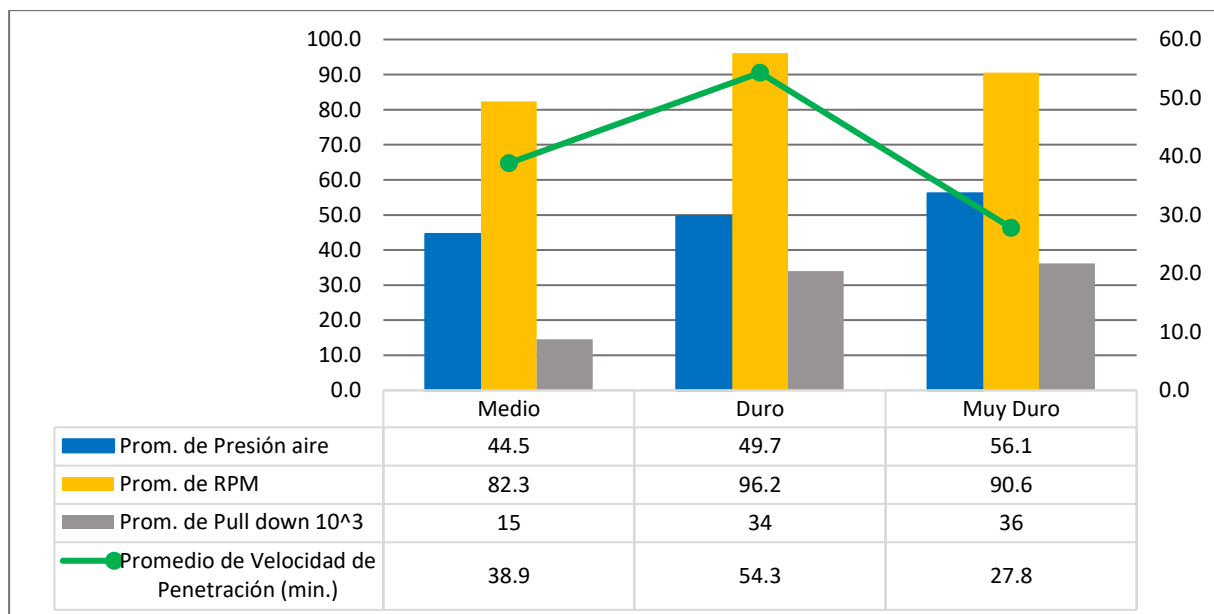


Fuente: Elaboración propia

- El pulldown recomendado según la tabla 36 en roca de dureza suave es de 25,000lb, según el gráfico obtenido el pulldown promedio es de 22,000.00lb, el valor es inferior a lo requerido para el tipo de roca.
- El RPM recomendado en este tipo de roca es de 100rpm según la tabla, del gráfico obtenemos que el RPM promedio es de 76.6, en este caso está por debajo de lo recomendado, pudiendo afectar a la velocidad de penetración, pero también pudiendo aumentar la vida de la broca.
- La presión de aire óptima para evacuar los detritus de manera eficiente en este tipo de roca es de 50m³/min según la tabla. En el gráfico podemos observar que la presión de aire es de 47.5m³/min estando por debajo de lo recomendado, esto ocasiona que no se evacue bien los detritus generando remolienda y por ende disminución en el rendimiento de las brocas.

5.1.4 Análisis de la influencia de los factores en la velocidad de perforación

Gráfico 10 Influencia de los factores en la velocidad de perforación



Fuente: Elaboración propia

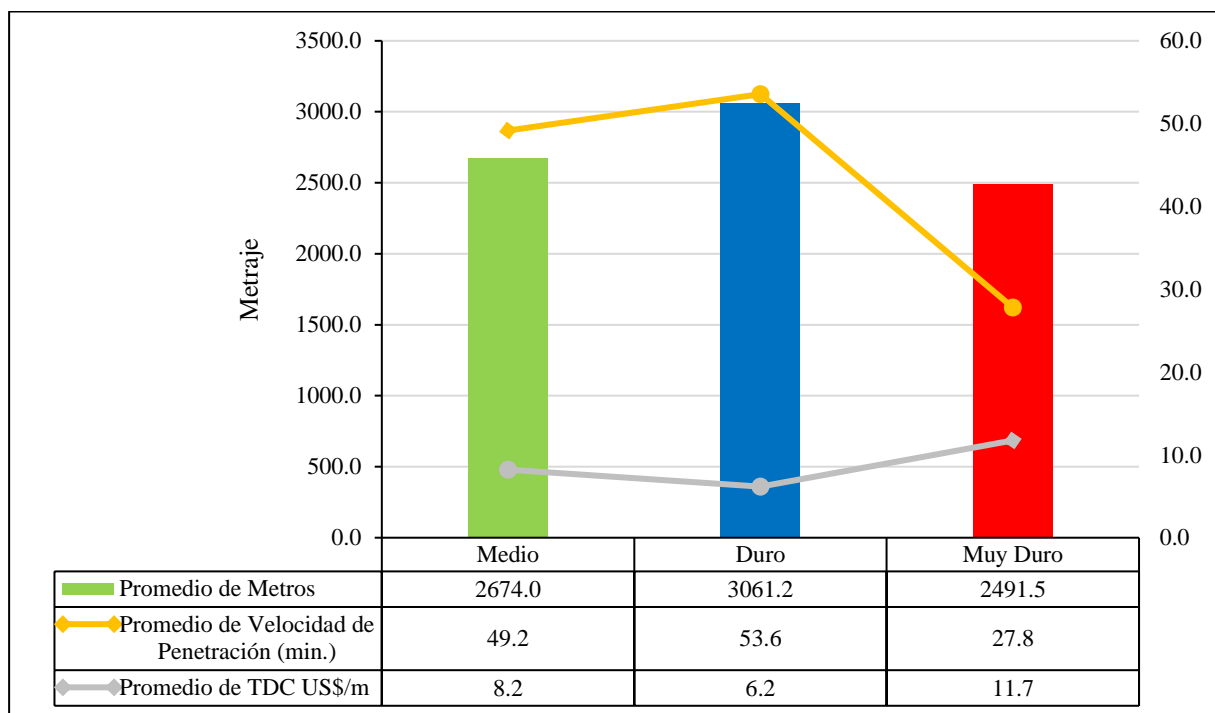
Analizando el grafico se obtiene que mientras aumenta la dureza de la roca se aplicara mayor pulldown, de la misma forma manera se observa que mientras que el rpm aumenta de mientras la dureza de la roca disminuye.

Del grafico se concluye que los RPM están directamente relacionado con la velocidad de penetración en los diferentes tipos de roca, mientras mayor sean los RMP de rotación mayor será la velocidad de penetración.

5.2 Evaluación del costo total de perforación

5.2.1 Comparación entre el TDC y la velocidad de penetración

Gráfico 11 TDC vs velocidad de perforación



Fuente: Elaboración propia

En el tipo de roca muy dura se tuvo una velocidad de penetración promedio de 27.8m/hr, obteniendo un TDC promedio de 11.7US\$/hr, en comparación a tipo de roca dura donde se obtuvo una velocidad de penetración de 53.6 con un TDC de 6.2 US\$/hr, y en roca media con un valor de 49.2m/hr, y un TDC promedio de 8.2US\$/hr, se concluye que mientras mayor sea la velocidad de penetración el costo de perforación será menor.

CONCLUSIONES

1. Se identificaron los principales factores que afectan e influyen en el proceso de perforación, los cuales son Pulldown, RPM, Presión de aire, La velocidad de perforación.

2. Se determino los factores que influyen en el proceso de perforación, los cuales son:

- Pulldown; Roca muy dura 36,000lb, roca dura 34,000lb, roca media 22,000lb
- RPM; Roca muy dura 90.6, roca dura 96.2, roca media 79.6
- Presión de aire; Roca muy dura 56.1, roca dura 49.7, roca media 47.5
- La velocidad de perforación; Roca muy dura 27.8 m/hr, roca dura 53.6 m/hr, roca media 49.02 m/hr

Se concluye que hubo un exceso y disminución en la aplicación de los parámetros respecto a lo recomendado en el tipo de roca muy dura, dura y media, lo que repercute en gran medida en la duración y vida útil de las triconos.

3. Se determino el rendimiento de las barras AGECOMET y SANDVIK, concluyendo que:

- La barra Agecomet tuvo un mayor rendimiento alcanzando el promedio de 47,504.30
- La barra Sandvik tuvo un rendimiento promedio de 55,906.90

Por lo tanto, la barra SANDVIK tuvo un mayor rendimiento en comparación a la barra AGECOMET.

Se determino la durabilidad de la broca Drillco (SHAREATE) en función a las diferentes durezas del terreno:

- En roca media tuvo una vida útil promedio de 2674.0 metros perforados lo que equivale a un rendimiento promedio de 178 tal/broca.
- En roca dura tuvo una vida útil promedio de 3061.2 metros perforados lo que equivale a un rendimiento promedio de 204 tal/broca

- En roca dura tuvo una vida útil promedio de 2491.5 metros perforados lo que equivale a un rendimiento promedio de 166 tal/broca.

4. Se determino el PDC de las barras

- Las barras Agecomet tuvieron un PDC 0.20US\$/m.
- La barra Sandvik tubo un PDC de 0.19US\$/m.

Se concluye que las barras Agecomet y Sandvik tuvieron el mismo costo de perforación, pero las barras Sandvik tuvieron un mayor rendimiento.

Al evaluar el TDC se concluye que el factor más importante es la velocidad de penetración. Mientras aumente la velocidad de penetración el TDC se reduce, este factor juega el papel más importante a la hora de disminuir los costos en perforación ya que a medida que disminuye la velocidad de penetración el costo de perforación se eleva por lo que se busca un equilibrio entre la velocidad más óptima para el tipo de roca y la cantidad de triconos que serán requeridos.

- El costo promedio total de perforación en roca muy dura es de 11.2\$/metro.
- El costo promedio total de perforación en roca dura es de 6.2\$/metro.
- El costo promedio total de perforación en roca media es de 8.2\$/metro

RECOMENDACIONES

- Se sugiere realizar capacitaciones específicas sobre los estándares y parámetros de perforación, las capacitaciones programadas de acuerdo al plan de capacitación se realizan anualmente por lo que se recomienda realizar capacitaciones específicas de manera semestral o trimestral, de esta manera se podrá llevar un control más adecuado de los estándares y parámetros establecidos en cuidado de los aceros de perforación.
- Se sugiere usar los aceros de perforación (barras y triconos) del mismo proveedor o marca para garantizar la compatibilidad de las mismas y trabajen de una manera más adecuada por contar con las mismas características de fabricación.
- Llevar a cabo un seguimiento continuo de la aplicación de los estándares y parámetros de perforación, para poder corregir a tiempo las desviaciones en la actividad de perforación de taladros de producción.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

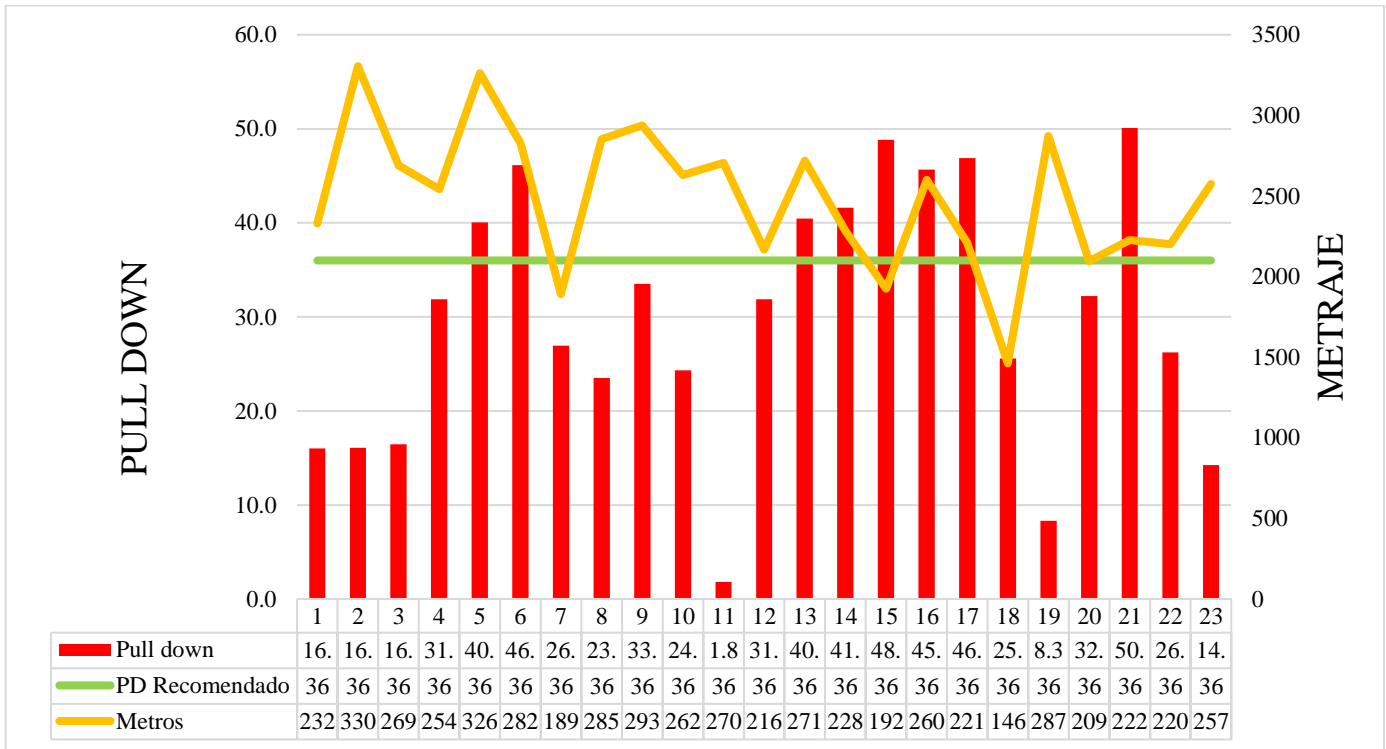
- Carlotto V., Perello J., Zarate A., Ramos P 2003. “Porphyry-Style Alteration and Mineralization of the middle Eocene to early Oligocene Andahuaylas-Yauri Belt, Cuzco region Perú, Economic Geology” INGEMMET Vol. 98, 2003.p. 1575-1605
- Carlotto V., Marocco R. 1995 “Geología del Cuadrángulo de Apurímac y Cusco, Instituto Geológico Minero y Metalúrgico,Lima Perú”, julio 1995 INGEMMET Vol. 3 p.37-57.
- Carlotto V. 1990 “Geología y depósitos minerales del cuadrángulo de Santo tomas-livitaca. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico”, Lima Perú mayo 1990 INGEMMET Vol. 2 p.20-40.
- Carlotto V.,Quispe J., Acosta H., Rodriguez R., Romero D. 2009 “Dominios Geotectónicos y Metalogénesis del Perú”, Sociedad Geológica del Perú SGP.Bol. Soc. Geol. Perú 103. p.1-89
- ENAEX “Manual de tronadura ENAEX S.A”, 2019.
- ENAEX “Manual de Programador DAVEY TRONIC”, 2018.
- Herrera Herbert. Juan; “Métodos de minería a cielo abierto” (universidad politécnica de Madrid) (2006).
- INGEMMET. “Metalogénia y geología económica por regiones” programa de metalogénia proyecto GE-33
- Lopez Jimeno (2003). “Manual de perforación y voladura de roca”. Instituto Tecnológico Geominero de España.
- SANDVIK “Manual de perforación rotativa Sandvik”, 2006.

ANEXOS

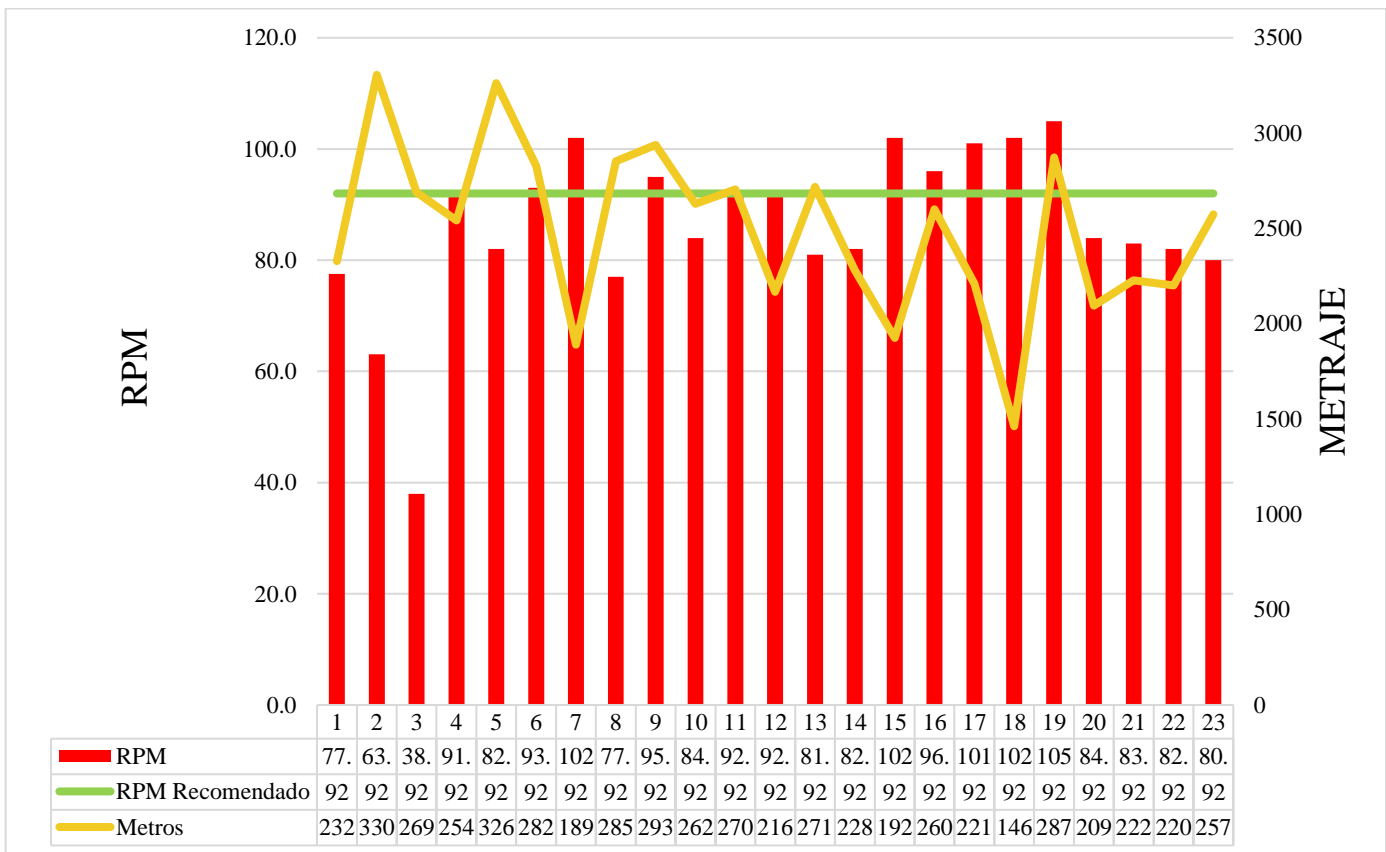
Anexo 1: Matriz de consistencia

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL
¿Qué factores influyen en la vida útil y rendimiento de las barras y brocas en taladros de producción en la Unidad Minera Constancia?	Determinar los factores que afectan la durabilidad y el rendimiento de las barras y brocas en los taladros de producción, así como evaluar su impacto en los costos de perforación en la Unidad Minera Constancia.	Al identificar los factores que afectan la durabilidad y el rendimiento de las barras y brocas en los taladros de producción, se podrá optimizar el uso de aceros y reducir los costos a la operación de perforación.
PROBLEMA ESPECÍFICO	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS
¿Cuáles son los factores que intervienen durante el proceso de perforación en la unidad Minera Constancia?	Identificar los factores que afectan la durabilidad de las barras y brocas durante el proceso de perforación en la Unidad Minera Constancia.	Al identificar los factores que afectan el proceso de perforación nos permitirá evaluar el rendimiento de las barras y brocas.
¿Cómo influye el tipo de roca en el rendimiento de las barras y brocas en la unidad Minera Constancia?	Analizar como estos factores influyen en el rendimiento de las barras y brocas según tipo de roca en la Unidad Minera Constancia.	Al evaluar los factores que influyen en el rendimiento de las barras y brocas según tipo de roca nos ayudara a reducir las deficiencias y mejorar la toma de decisiones.
¿Cómo influye el costo total de perforación en los diferentes tipos de roca en relación a la velocidad de perforación en la unidad Minera Las Bambas?	Calcular el costo total de perforación en distintos tipos de roca, considerando la velocidad de perforación en la Unidad Minera Constancia.	Al determinar el costo total de perforación permitirá evaluar como varia este costo en función de la velocidad de perforación en diferentes tipos de roca, facilitando mejores decisiones sobre la correcta aplicación de los parámetros de perforación.

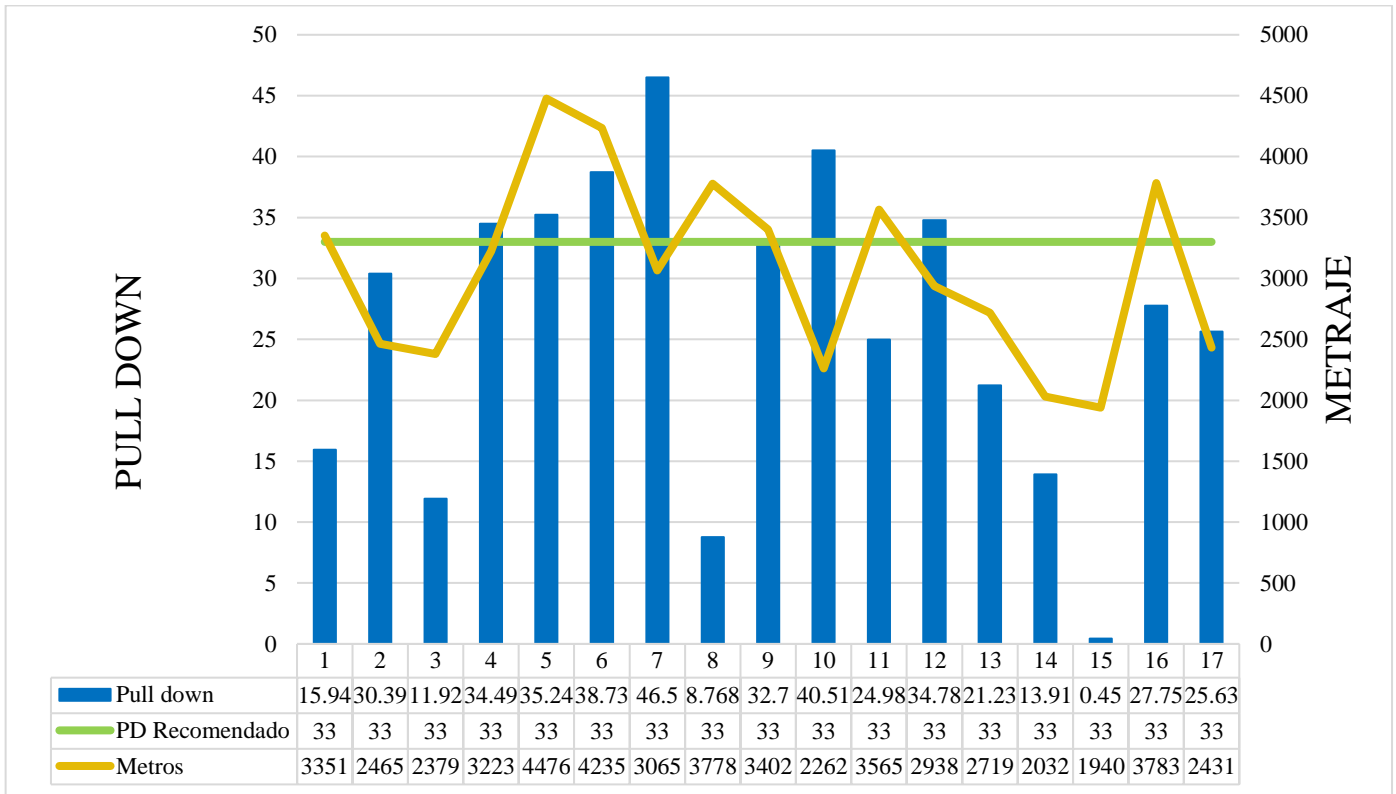
Anexo 2: Pulldown en tipo de roca muy dura



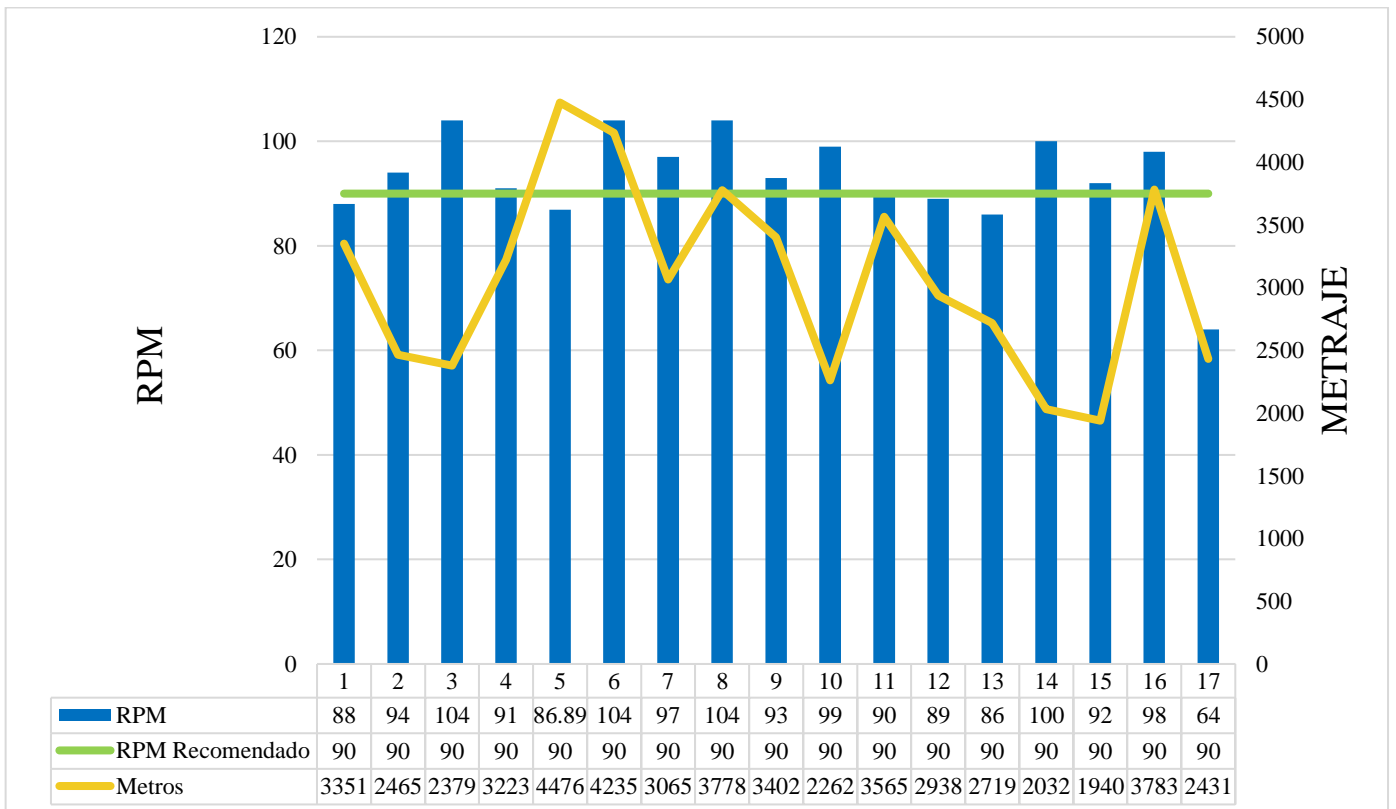
Anexo 3: RPM en tipo de roca muy dura



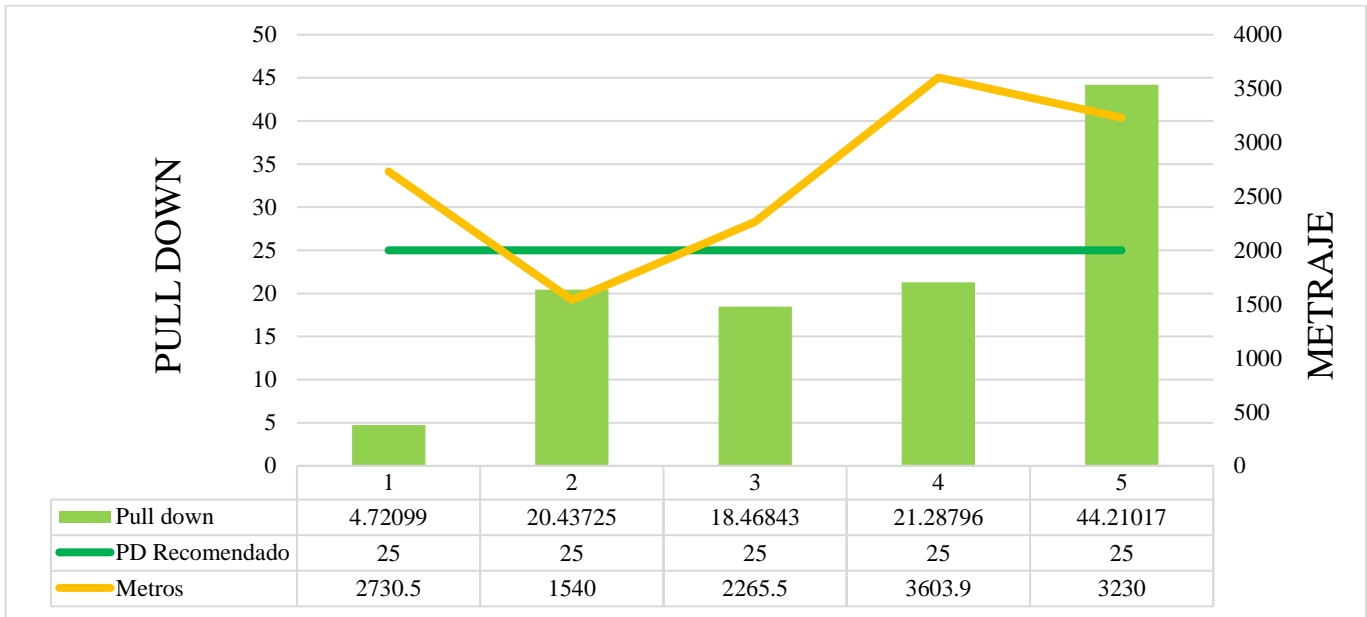
Anexo 4: Pulldown en tipo de roca dura



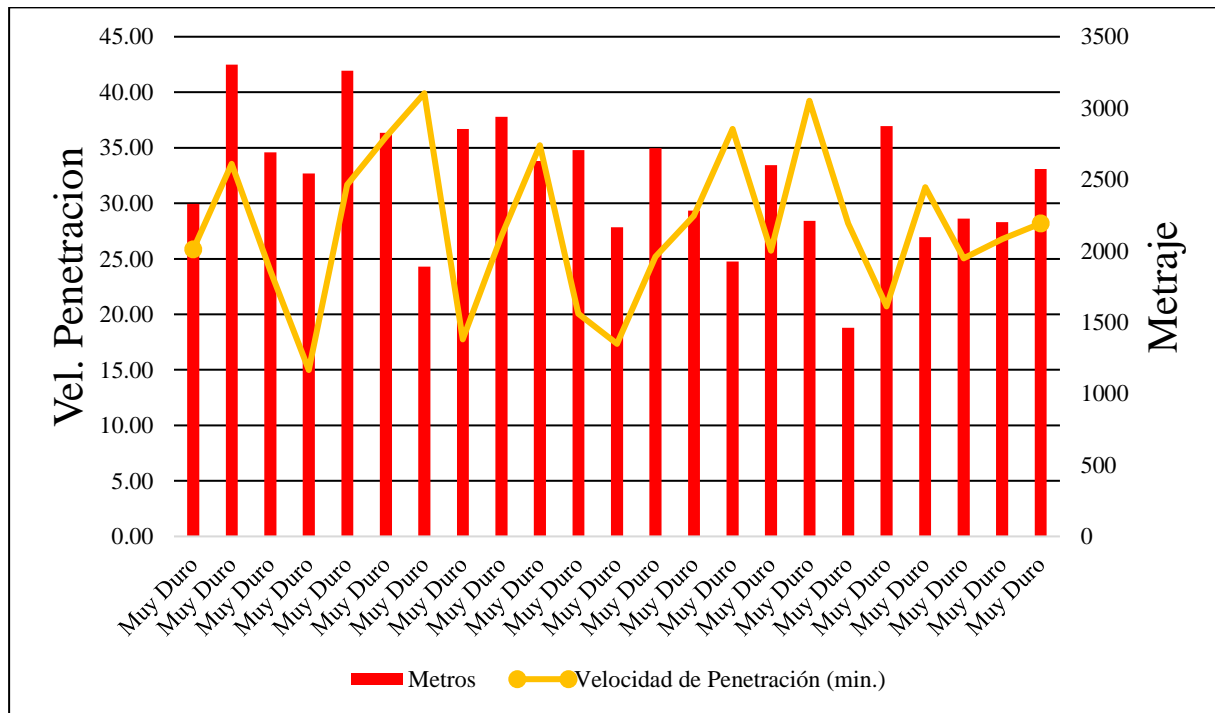
Anexo 5: RPM en tipo de roca dura



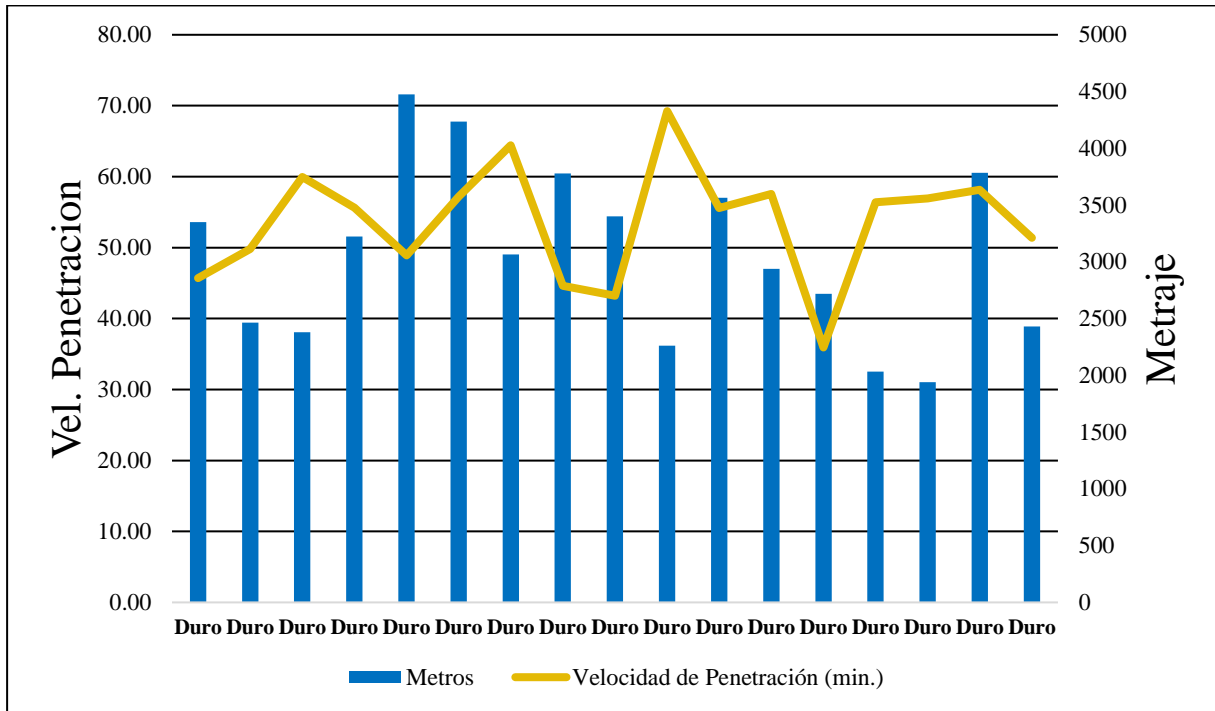
Anexo 6: Pulldown en tipo de roca media



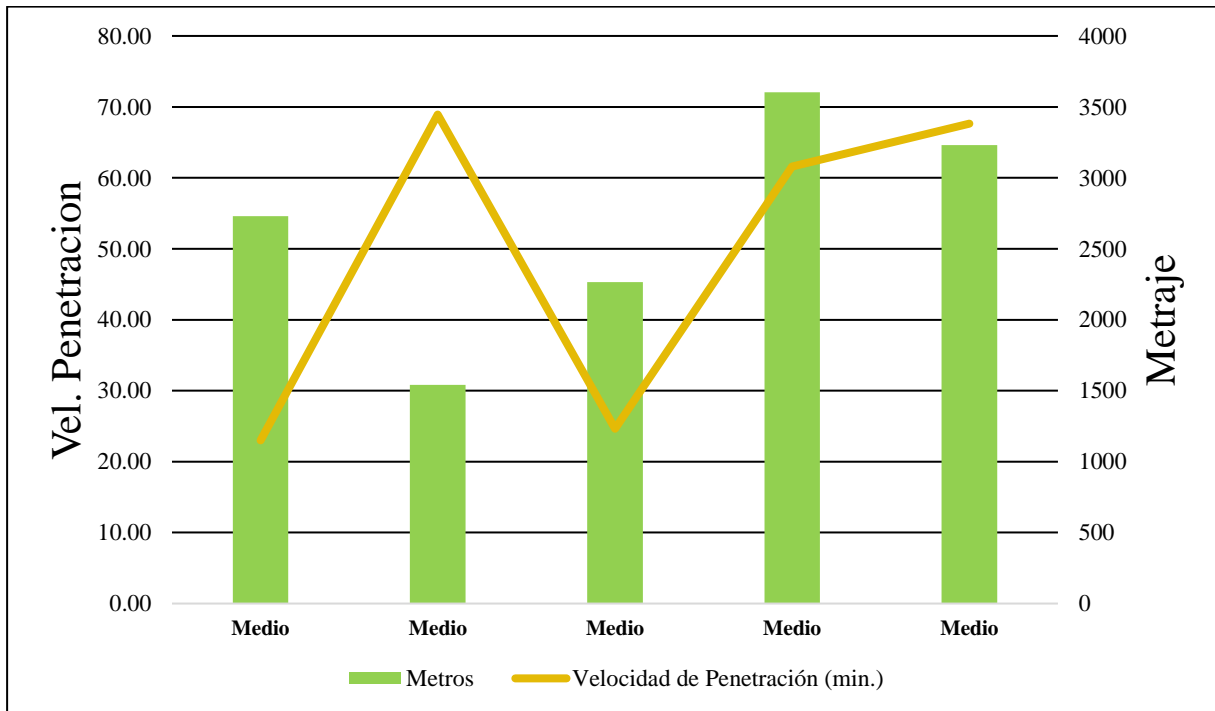
Anexo 7: Velocidad de perforación en roca muy dura vs metraje



Anexo 8: Velocidad de perforación en roca dura vs metraje



Anexo 9: Velocidad de perforación en roca media vs metraje



Anexo 10: cuadro de metraje

Fecha	Turno	Equipo	Nombre de malla	Taladro	Tipo taladro	Perforación Profundidad R.	Top Sub	Barra 1	Barra 2	Broca	Adaptador 8 pies	Bit Sub	Deck Bushing
2/03/2023 03:16	B	PE02	PV_4035_005_F4	4347	Produccion	15.82	EPI-40687_1-01	SAN-4671702A-02	SAN-4998403A-03	7200533	SAN-4993604-04	SAN-4968003-05	SAN-4966903-06
2/03/2023 07:17	A	PE02	PV_4035_005_F4	4373	Produccion	16.16	EPI-40687_1-01	SAN-4671702A-02	SAN-4998403A-03	7200533	SAN-4993604-04	SAN-4968003-05	SAN-4966903-06
2/03/2023 07:55	A	PE02	PV_4035_005_F4	4375	Produccion	16.16	EPI-40687_1-01	SAN-4671702A-02	SAN-4998403A-03	7200533	SAN-4993604-04	SAN-4968003-05	SAN-4966903-06
2/03/2023 08:56	A	PE02	PV_4035_005_F4	4395	Produccion	16.3	EPI-40687_1-01	SAN-4671702A-02	SAN-4998403A-03	7200533	SAN-4993604-04	SAN-4968003-05	SAN-4966903-06
2/03/2023 09:35	A	PE02	PV_4035_005_F4	4393	Produccion	16.05	EPI-40687_1-01	SAN-4671702A-02	SAN-4998403A-03	7200533	SAN-4993604-04	SAN-4968003-05	SAN-4966903-06
2/03/2023 10:34	A	PE02	PV_4035_005_F4	4412	Produccion	16.03	EPI-40687_1-01	SAN-4671702A-02	SAN-4998403A-03	7200533	SAN-4993604-04	SAN-4968003-05	SAN-4966903-06
2/03/2023 10:48	A	PE02	PV_4035_005_F4	4411	Produccion	16.05	EPI-40687_1-01	SAN-4671702A-02	SAN-4998403A-03	7200533	SAN-4993604-04	SAN-4968003-05	SAN-4966903-06
2/03/2023 11:26	A	PE02	PV_4035_005_F4	4409	Produccion	16.2	EPI-40687_1-01	SAN-4671702A-02	SAN-4998403A-03	7200533	SAN-4993604-04	SAN-4968003-05	SAN-4966903-06
2/03/2023 12:08	A	PE02	PV_4035_005_F4	4372	Produccion	16.14	EPI-40687_1-01	SAN-4671702A-02	SAN-4998403A-03	7200533	SAN-4993604-04	SAN-4968003-05	SAN-4966903-06
2/03/2023 12:27	A	PE02	PV_4035_005_F4	4390	Produccion	16.48	EPI-40687_1-01	SAN-4671702A-02	SAN-4998403A-03	7200533	SAN-4993604-04	SAN-4968003-05	SAN-4966903-06
2/03/2023 14:52	A	PE02	PV_4035_005_F4	4387	Produccion	16.14	EPI-40687_1-01	SAN-4671702A-02	SAN-4998403A-03	7200533	SAN-4993604-04	SAN-4968003-05	SAN-4966903-06
2/03/2023 22:10	B	PE02	PV_4035_005_F4	4408	Produccion	15.63	EPI-40687_1-01	SAN-4671702A-02	SAN-4998403A-03	7200533	SAN-4993604-04	SAN-4968003-05	SAN-4966903-06
3/03/2023 02:21	B	PE02	PV_4035_005_F4	4363	Produccion	16.55	EPI-40687_1-01	SAN-4671702A-02	SAN-4998403A-03	7200533	SAN-4993604-04	SAN-4968003-05	SAN-4966903-06
3/03/2023 03:26	B	PE02	PV_4035_005_F4	4362	Produccion	15.88	EPI-40687_1-01	SAN-4671702A-02	SAN-4998403A-03	7200533	SAN-4993604-04	SAN-4968003-05	SAN-4966903-06
3/03/2023 04:02	B	PE02	PV_4035_005_F4	4403	Produccion	15.86	EPI-40687_1-01	SAN-4671702A-02	SAN-4998403A-03	7200533	SAN-4993604-04	SAN-4968003-05	SAN-4966903-06
3/03/2023 04:19	B	PE02	PV_4035_005_F4	4402	Produccion	15.74	EPI-40687_1-01	SAN-4671702A-02	SAN-4998403A-03	7200533	SAN-4993604-04	SAN-4968003-05	SAN-4966903-06
3/03/2023 05:10	B	PE02	PV_4035_005_F4	4399	Produccion	15.71	EPI-40687_1-01	SAN-4671702A-02	SAN-4998403A-03	7200533	SAN-4993604-04	SAN-4968003-05	SAN-4966903-06
3/03/2023 05:36	B	PE02	PV_4035_005_F4	4398	Produccion	15.54	EPI-40687_1-01	SAN-4671702A-02	SAN-4998403A-03	7200533	SAN-4993604-04	SAN-4968003-05	SAN-4966903-06
3/03/2023 05:54	B	PE02	PV_4035_005_F4	4361	Produccion	15.98	EPI-40687_1-01	SAN-4671702A-02	SAN-4998403A-03	7200533	SAN-4993604-04	SAN-4968003-05	SAN-4966903-06
3/03/2023 06:10	B	PE02	PV_4035_005_F4	4379	Produccion	15.8	EPI-40687_1-01	SAN-4671702A-02	SAN-4998403A-03	7200533	SAN-4993604-04	SAN-4968003-05	SAN-4966903-06
2/03/2023 21:58	B	PE03	PA_4200_030_F1	4743	Produccion	16.54	EPI-12514-01	AGE-14377_5-02	SAN-4672002-03	7216857	CCB-S014-04	CCB-SBS021-06	CCB_S013-06
2/03/2023 22:13	B	PE03	PA_4200_030_F1	4744	Produccion	16.73	EPI-12514-01	AGE-14377_5-02	SAN-4672002-03	7216857	CCB-S014-04	CCB-SBS021-06	CCB_S013-06
2/03/2023 22:26	B	PE03	PA_4200_030_F1	4764	Produccion	16.52	EPI-12514-01	AGE-14377_5-02	SAN-4672002-03	7216857	CCB-S014-04	CCB-SBS021-06	CCB_S013-06
2/03/2023 23:19	B	PE03	PA_4200_030_F1	4761	Produccion	16.68	EPI-12514-01	AGE-14377_5-02	SAN-4672002-03	7216857	CCB-S014-04	CCB-SBS021-06	CCB_S013-06
2/03/2023 23:37	B	PE03	PA_4200_030_F1	4759	Produccion	16.75	EPI-12514-01	AGE-14377_5-02	SAN-4672002-03	7216857	CCB-S014-04	CCB-SBS021-06	CCB_S013-06
3/03/2023 08:21	A	PE02	PV_4035_005_F4	4378	Produccion	16.07	EPI-40687_1-01	SAN-4671702A-02	SAN-4998403A-03	7200533	SAN-4993604-04	SAN-4968003-05	SAN-4966903-06
3/03/2023 09:19	A	PE02	PV_4035_005_F4	4421	Produccion	16.07	EPI-40687_1-01	SAN-4671702A-02	SAN-4998403A-03	7200533	SAN-4993604-04	SAN-4968003-05	SAN-4966903-06
3/03/2023 10:16	A	PE02	PV_4035_005_F4	4418	Produccion	16.05	EPI-40687_1-01	SAN-4671702A-02	SAN-4998403A-03	7200533	SAN-4993604-04	SAN-4968003-05	SAN-4966903-06
3/03/2023 10:46	A	PE02	PV_4035_005_F4	4416	Produccion	16.07	EPI-40687_1-01	SAN-4671702A-02	SAN-4998403A-03	7200533	SAN-4993604-04	SAN-4968003-05	SAN-4966903-06
3/03/2023 12:09	A	PE02	PV_4035_005_F4	4415	Produccion	16.09	EPI-40687_1-01	SAN-4671702A-02	SAN-4998403A-03	7200533	SAN-4993604-04	SAN-4968003-05	SAN-4966903-06
3/03/2023 17:32	A	PE02	PV_4035_005_F4	4422	Produccion	16.1	EPI-40687_1-01	SAN-4671702A-02	SAN-4998403A-03	7200533	SAN-4993604-04	SAN-4968003-05	SAN-4966903-06

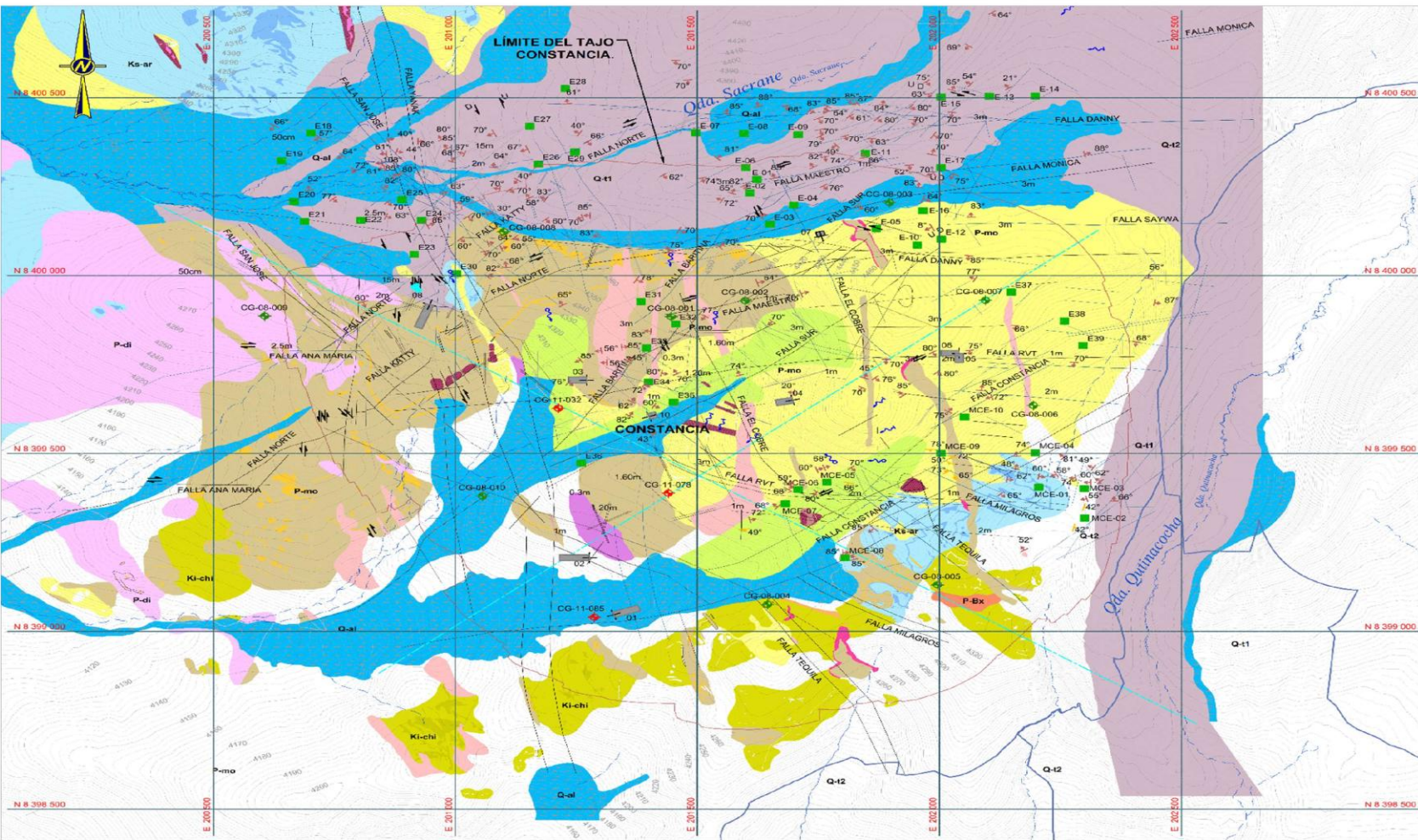
Anexo 11: Imagen de broca desgastada



Anexo 12: Engrasado de aceros de perforación



ANEXO 12: Plano estructural del Tajo Constan



LEYENDA

	TOPOGRAFIA EXISTENTE		SOCAVÓN
	RÍO		ESTACIÓN DE SUPERFICIE GEOTÉCNICA
	QUEBRADA		LIMITE DEL TAJO CONSTAN
	LAGO		PERFORACIONES GEOTÉCNICAS (2008)
	DIRECCION DE BUZAMIENTO DE LA FALLA MAPEADA		PERFORACIONES GEOTÉCNICAS (2011)
	FALLA INFERIDA		
	DIRECCION DE BUZAMIENTO DE LA JUNTA		
	BLOQUE ASCENDENTE		
	BLOQUE DESCENDENTE		
	PERFORACION CON ARTESIANISMO		
	MANANTIAL		

ESTRATIGRAFIA:

CUATERNARIO

- Q-tq** DEPOSITOS BOFEADALES Y ALUVIALES; DEPOSITOS ORGANICOS Y RICOS EN ARCILLA ASOCIADA A PRESAS, LAGOS, FONDOS DE VALLES. SATURADOS Y COMPRESIBLES
- Q-co** COLUVIAL; ARENA LIMOSA CON GRAVA Y GRAVA ARENOSA CON LIMO PROVENIENTE DEL BASAMENTO ROCOSO. SE ENCUENTRAN CUBRIENDO LA MAYORIA DE ROCAS DE LA ZONA. SU ESPESOR ES GRUESO CERCA A LA BASE DE LOS TALUDES
- Q-t** GLACIAR - TIL, BIEN GRADUADA (POBREMENTE SORTEADA) LIMO, ARENA, GRAVA Y CANTOS DEPOSITADOS POR GLACIARES. PUEDEN CUBRIR LOS TALUDES O PRESENTARSE COMO DEPOSITOS LINEALES GRUESOS (MORRENAS), POR EJEMPLO: AL NORTE DEL TAJO CONSTANCIA

PALEOGENO - ROCAS INTRUSIVAS

- And** ANDESITA PORFIRITICA
- Bx-Sil** DIQUES SILICEOS. DIQUES PEQUEÑOS RICOS EN CUARZO EN LOS ALREDORES DEL TAJO CONSTANCIA
- SKN** SKARN EN CALIZAS. DE COLOR NARANJA A MARRÓN ROJIZO. ROCA RESISTENTE Y CONTIENE MAGNETITA, GRANATES, CALCOPIRITA, GALENA Y ESFALERITA
- SKN** SKARN EN ARENISCAS: ROCA RESISTENTE Y ALTERADA. CERCA AL CONTACTO CON EL INTRUSIVO Y CONTIENE DIOPSIDO, GRANATES, EPIDOTA, CALCOPIRITA, MAGNETITA, GALENA Y ESFALERITA

Mesozoico

- MP2** MONZONITA PORFIRITICA. GRIS CLARA, FELDSPATOS DE GRANO FINO A MEDIO CON TEXTURA PORFIRITICA. OCURRE COMO DIQUES AISLADOS
- Qmp** MONZONITA CUARZO PORFIRITICA. GRIS VERDOSA, PLAGIOCLASA Y HORNBLENDA DE GRANO MEDIO CON TEXTURA PORFIRITICA Y OJOS DE CUARZO DE 3 A 4mm. OCURRE COMO DIQUES AISLADOS E INTRUSIONES. EN SUS MARGENES ES DE GRANO FINO Y DE COLOR OSCURO
- MMP** MICROMONZONITA PORFIRITICA. PLAGIOCLASA MICROCRISTALINA DE TEXTURA PORFIRITICA ADEMÁS CON BIOTITA Y TRAZAS DE MAGNETITA; PARCHES RODEADOS CON ALTERACION DE CLORITA Y ARCILLA
- MP1** MONZONITA PORFIRITICA 1: ROSADA, PLAGIOCLASA PORFIRITICA DE GRANO MEDIO A FINO CON ABUNDANTES FENOCRISTALES LARGOS DE PLAGIOCLASA, CRISTALES DE HORNBLENDA ALTERADOS; DONDE ESTO OCURRE CERCA AL CONTACTO CON QMP O CAL. ESTO GENERALMENTE TIENE MEJOR MINERALIZACION
- Dio** DIORITA: DE GRANO MEDIO A FINO (DIORITA A GRANDIORITA) CON FELDSPATOS, CUARZO, HORNBLENDA, BIOTITA, APATITO, ZIRCON Y ESFENA COMO MINERAL COMPONENTE PRINCIPAL.

CRETACEO - ROCAS SEDIMENTARIAS

- Ks-ar** FORMACION ARCUOLINA: CALIZAS GRIS MASIVAS, ARENISA CALCAREA Y LENTES DE CONGLOMERADO. EN EL AREA DE CONTACTO CON INTRUSIVO ES RECRISTALIZADA A MARMOL Y LOCALMENTE RECRISTALIZADA LOCALMENTE PARA FORMAR SKARN. CONTIENE VENAS DE CUARZO CON MINERALIZACION ASOCIADA AL COBRE
- Ki-chi** FORMACION CHILLORCHA: BLANCO A ROJO A PÚRPURA A GRIS, ARENISA DE GRANO MEDIO CON ALTERNANCIA DE HORIZONTES DE LIMOLITA Y LUTITAS ROJIZAS. LAS MANCHAS ROJAS SON DE LA OXIDACION DE LA PIRITA DISEMINADA

- NOTAS**
1. LAS UNIDADES MOSTRADAS EN LOS PLANOS ESTÁN EN EL SISTEMA INTERNACIONAL (SI) SALVO OTRA INDICACION
 2. LAS ELEVACIONES ESTÁN REFERIDAS A ALTURAS ORTOMÉTRICAS (msnm).
 3. LA CUADRICULA ESTÁ REFERIDA AL DATUM WGS 84, SISTEMA DE COORDENADAS UTM, ZONA 18S.
 4. LAS ESCALAS GRÁFICAS MOSTRADA EN LAS FIGURAS SERÁN VÁLIDAS ÚNICAMENTE CUANDO ESTAS SEAN IMPRESAS EN ISO A3.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA
 FACULTAD DE GEOLOGÍA, GEOFÍSICA Y MINAS
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS
 PLANO N°03: GEOLOGÍA LOCAL Y ESTRUCTURAL - UNIDAD MINERA CONSTANCIA



Noviembre 2019