



Universidad Nacional

SAN LUIS GONZAGA



Atribución-SinDerivadas 4.0 Internacional

Esta licencia permite a otros reutilizar la obra para cualquier propósito, incluso comercialmente; sin embargo, no se puede compartir con otros en forma adaptada, y se le debe proporcionar crédito.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0>



CONSTANCIA

El que suscribe, deja constancia que se ha realizado el análisis con el software de verificación de similitud de **Tesis** cuyo título es:

**ESTUDIO COMPARATIVO DE RENDIMIENTOS DE LAS BROCAS TRICONICAS SANDVIK
X47 Y PDB TOOLS GX 722 DE 11" EN EL TAJO 14 MINA SHOUGANG HIERRO PERU,
CONTRATA COSAPI MINERIA S.A.C, 2023**

Presentado por:

TAMBRA MENDOZA EDWIN MANUEL

Estudiante del nivel **PREGRADO** de la Facultad de Ingeniería de Minas y Metalurgia, perteneciente a la Escuela Profesional de **INGENIERÍA DE MINAS**. El resultado obtenido es **14%** por el cual se otorga el calificativo de:

(APROBADO, Según Reglamento de Evaluación de la Originalidad)

Se adjunta al presente el reporte de evaluación con el software de verificación de originalidad.

Observaciones:

Aprobado obtuvo un valor igual o inferior al porcentaje requerido del 20%.

Ica, 24 de noviembre de 2024

.....
DR. VICTOR MANUEL FLORES MARCHAN
DIRECTOR DE INVESTIGACION DE LA ESCUELA PROFESIONAL
DE INGENIERIA DE MINAS

UNIVERSIDAD NACIONAL “SAN LUIS GONZAGA”
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS Y METALURGIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS



**ESTUDIO COMPARATIVO DEL RENDIMIENTO DE BROCAS TRICONICAS DE
11” EN EL TAJO 14 MINA SHOUGANG HIERRO PERU, CONTRATA COSAPI
MINERIA SAC, 2023.**

LINEA DE INVESTIGACION

Desarrollo de ingeniería y tecnologías, ingeniería de los materiales y ciencias de la tierra.

PROYECTO DE INVESTIGACION

PRESENTADO POR

BACH. EDWIN MANUEL TAMBRA MENDOZA

NASCA – PERU

2023

DEDICATORIA

*El presente trabajo se
lo dedico al ser todo
poderoso; quien
permite que todo esto
sea posible
gracias a su bondad, su
generosidad
y su grandeza.*

*Dedicado con todo mi
corazón y mi ser; a mis
padres, hermanos, mi
compañera y en especial
mis hijos quienes me
dan fuerza y aliento
para seguir luchando
por más logros.*

AGRADECIMIENTO

*A la universidad san
Luis Gonzaga de Ica por
ser mi alma mater en el
mundo profesional, la
cual considero mi
segunda casa.*

*A mi facultad de
ingeniería de minas y
metalurgia por
permitirme formar parte
de esta gran familia
profesional.*

*A los docentes y
compañeros de estudio
por su apoyo en la
etapa estudiantil.*

*Y a todos aquellos que
me apoyaron
incondicionalmente.*

INDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTO	III
INDICE DE CONTENIDO	IV
INDICE DE TABLAS.....	X
RESUMEN.....	XI
ABSTRAC	XII
INTRODUCCION	XIII
CAPITULO I. EL PROBLEMA	16
1.1. Planteamiento del Problema	16
2.2. Formulación del Problema	17
2.2.1. Problema General.....	17
2.2.2. Problemas específicos.....	17
2.3. Justificación e Importancia	17
2.3.1. Justificación.....	17
2.3.1.1. Teórica.....	17
2.3.1.2. Práctica.....	18
2.3.1.3. Metodológica	18
2.3.2. Importancia.....	18
2.4. Objetivos	19
2.4.1. Objetivo general.....	19
2.4.2. Objetivos Específicos.....	19
CAPITULO II. MARCO TEORICO	20
2.1. Antecedentes de la investigación.....	20
2.1.1. Antecedentes Internacionales.....	20
2.1.2. Antecedentes Nacionales	22
2.2. Bases Teóricas.....	24
2.2.1. Empresa Cosapi Minería S.A.C.	24
2.2.1.1. Antecedentes Históricos.....	24
2.2.1.2. Perfil de la empresa.....	26
2.2.1.3. Visión.....	26
2.2.1.4. Misión.....	26

2.2.1.5. Valores.....	26
2.2.3. Sistemas de perforación	27
2.2.4. Sistema de perforación Rotativo	28
2.2.4.1. Principio de aplicación de peso en la broca.....	29
2.2.4.2. Principio de unidad de Rotación	30
2.2.4.3. Principio de barrido del material triturado.....	31
2.2.5. Familiarización con la broca triconica	32
2.2.6. Como perfora la roca una broca tricónica.	34
2.2.6.1. Velocidad de Penetración	34
2.2.7. Criterios de Diseño de una broca de perforación.	34
2.2.7.1. Angulo del Eje del cono	34
2.2.7.2. Descentramiento de los ejes de los conos del tricono	35
2.2.7.3. Angulo del cono	36
2.2.7.4. Longitud de los Dientes.....	37
2.2.7.5. Espesor del cono.....	37
2.2.8. Clasificación IADC	38
2.2.8.1. Primer dígito de la clasificación IADC	39
2.2.8.2. Segundo dígito de la clasificación IADC	39
2.2.8.3. Tercer dígito de la clasificación IADC.....	40
2.2.8.4. Cuarto dígito de la clasificación IADC	40
2.2.9. Tipos de Rodamientos	41
2.2.9.1. Brocas de rodillos de rodamientos abiertos	41
2.2.9.2. Broca de rodillos de rodamientos sellados	41
2.2.9.3. Broca de rodillos de cojinete sellado compuesto.....	42
2.2.10. Economía de la perforación	42
2.2.11. Selección de Brocas.....	44
2.2.11.1. Dureza de la roca (Resistencia)	44
2.2.11.2. Abrasividad.....	45
2.2.11.3. Homogeneidad y macizo de la roca.....	46
2.2.11.4. Análisis estadísticos de los datos Históricos.....	47
2.2.12. Análisis de una broca descartada.....	48
2.2.12.1. Insertos quebrados (IQ)	48
2.2.12.2. Desgaste por huella (DH)	49
2.2.12.3. Cono Quebrado (CQ)	51

2.2.12.4. Interferencia de conos	52
2.2.12.5. Redondeado de calibre (RC)	53
2.2.12.6. Rajaduras por el calor (RjC)	54
2.3. Hipótesis de la investigación.....	55
2.3.1. Hipótesis General.....	55
2.3.2. Hipótesis Específicas.....	55
2.4 Variables.	55
2.4.1. Variable Independiente (X):	55
2.4.2. Variable Dependiente (Y):	56
CAPITULO III. MATERIAL DE ESTUDIO	57
3.1. Generalidades y Descripción de la mina.	57
3.1.1. Ubicación y Accesibilidad.	57
3.1.2. Distritos Aledaños.....	58
3.1.3. Meteorología, Relieve y Clima.....	59
3.2. Geología.....	63
3.2.1. Geología Local	63
3.2.2. Geología Regional.....	64
3.2.3. Estratigrafía	65
3.2.4. Geología Económica	67
3.2.5. Tipo de Yacimiento.....	68
3.2.6. Mineralogía	69
3.2.6.1. Rumbo, buzamiento y potencia del yacimiento mineral.....	70
3.2.6.2. Reservas Geológicas y minables	70
3.3. Operaciones mina.....	71
3.3.1. Método de minado	71
3.3.2. Parámetros de diseño y producción.....	71
3.3.3. Descripción del proceso productivo.	72
3.3.3.1. Exploración.	72
3.3.3.2. Perforación.....	72
3.3.3.3. Voladura	72
3.3.3.4. Carguío.....	73
3.3.3.5. Acarreo	73
3.3.3.6. Equipos Auxiliares.....	73
CAPITULO IV. METODOLOGIA DE INVESTIGACION	74

4.1. Tipo de Investigación	74
4.2. Nivel de Investigación	75
4.3. Diseño de Investigación.....	75
4.4. Población y Muestra.....	76
4.4.1. Población	76
4.4.2. Muestra.....	76
4.5. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos	77
4.5.1. Observación directa.....	77
4.5.2. El fichaje.....	77
4.6. Instrumentos de recolección de datos.....	78
4.6.1. Los reportes.....	78
4.7. Técnicas e interpretación de datos.....	78
CAPITULO V. RESULTADOS DEL ANALISIS	79
5.1. Resultados de los metros perforados.	79
5.1.1. Análisis del total de metros perforados	79
5.1.1.2. <i>Brocas tricónicas de 11” x47 del proveedor SANDVIK</i>	80
5.2. Resultado del análisis comparativo de la velocidad de penetración.	82
5.2.1. Rendimientos por materiales y su velocidad de penetración.....	82
5.2.1.1. <i>Análisis de las brocas del proveedor PDB Tools</i>	82
5.2.1.2. <i>Análisis de las brocas del proveedor SANDVIK</i>	83
5.2.1.3. <i>Velocidad de penetración del periodo de investigación.</i>	83
5.2.1.4. <i>Mediana de la vida útil de las muestras por proveedor.</i>	84
5.3. Análisis del precio de broca y costo horario de los equipos.	85
5.3.1. Precio de la broca	85
5.3.2. Costo Horario.....	85
5.4. Análisis del costo total de perforación por material y proveedor.....	86
CAPITULO VI. DISCUSION Y CONCLUSIONES.....	88
6.1. Discusión.	88
6.2. Conclusiones.	90
CAPITULO VII. RECOMENDACIONES	92
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	94
ANEXOS. . MATRIZ DE CONSISTENCIA	101



INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 01. Métodos de Perforación Top Hammer & Down the Hole	28
Ilustración 02. Métodos de Perforación Rotary & Sistema PARD	28
Ilustración 03. Principio de empuje en la perforación.	30
Ilustración 04. Principio de rotación en la perforación.....	31
Ilustración 05. Principio de barrido en la perforación.	32
Ilustración 06. Estructura de cortes más y menos agresivas	33
Ilustración 07. Continuidad de la acción de la perforación	33
Ilustración 08. Angulo del eje del cono	35
Ilustración 09. Angulo del eje del cono en dos tipos de rocas	35
Ilustración 10. Descentramiento de los ejes de los conos del tricono	36
Ilustración 11. Angulo del cono.	37
Ilustración 12. Longitud de los dientes	37
Ilustración 13. Espesor del cono	38
Ilustración 14. Clasificación IADC.....	38
Ilustración 15. Primer dígito de la clasificación IADC.....	39
Ilustración 16. Segundo dígito de la clasificación IADC	39
Ilustración 18. Brocas de rodillos de Rodamientos sellados	42
Ilustración 19. Brocas de rodillos de cojinete sellado compuesto	42
Ilustración 20. Formula Parcial Drilling Cost.....	43
Ilustración 21. Formula Total Drilling Cost (Opc 01)	43
Ilustración 22. Formula Total Drilling Cost (Opc 02)	43
Ilustración 23. Insertos Quebrados	49
Ilustración 24. Desgaste por huella.....	50
Ilustración 25. Cono Quebrados.....	51
Ilustración 26. Interferencia de conos	53
Ilustración 27. Redondeado de calibre.....	54
Ilustración 28. Ubicación de las oficinas de Cosapi Minería	58
Ilustración 29. Ubicación Mina 14 - Cosapi Minería.....	58

INDICE DE TABLAS

Tabla 01. Selección de Broca según dureza del macizo rocoso.....	45
Tabla 02. Relación Abrasividad – ROP (Mts/Hr).....	46
Tabla 03. Relación nivel de Fracturamiento – Nivel de dureza de la broca.....	46
Tabla 04. Análisis estadístico del historial de datos.....	47
Tabla 06. Precipitaciones y temperaturas medias de cada mes.....	60
Tabla 07. Días de precipitaciones al mes	60
Tabla 08. Días del mes y velocidades de los vientos de cada mes.	61
Tabla 09. Dirección y horas en el que el viento sopla	61
Tabla 10. Estimado de reservas de mineral.....	70
Tabla 11. Estimado de reservas minables.....	71
Tabla 12. Rendimientos de las brocas GX 722 del proveedor PDB Tools.....	79
Tabla 13. Rendimientos de las brocas GX 722 del proveedor SANDVIK.....	80
Tabla 14. Metros totales perforados por material	81
Tabla 15. Distribución de metros perforados de ambos proveedores.....	81
Tabla 16. Metros perforados y ROP por material – Proveedor PDB Tools.....	82
Tabla 17. Metros perforados y ROP por material – Proveedor SANDVIK.....	83
Tabla 18. Velocidad de penetración en cada material y por cada proveedor	84
Tabla 19. Mediana de la vida útil de las muestras de cada proveedor.	84
Tabla 20. Precio de la broca.....	85
Tabla 21. Costo horario por modelo de perforadora.....	86
Tabla 22. Costo total de perforación.....	86
Tabla 23. Relación del costo total de perforación y la cantidad de brocas.....	87

RESUMEN

TITULO: Estimación técnica económica en el proceso de perforación mediante un estudio comparativo de brocas tricónicas en el tajo Mina 14, Contrata Cosapi Minería S.A.C. Shougang Hierro Perú S.A.A. 2024

OBJETIVOS: Determinar la optimización del proceso de perforación mediante un estudio comparativo de brocas tricónicas en el tajo Mina 14 – Shougan Hierro Perú para Cosapi Minería, 2023.

MATERIAL Y MÉTODO: El siguiente estudio es una investigación de tipo experimental y aplicada, nivel explicativo y descriptivo; las técnicas utilizadas fueron la observación directa y el fichaje, usando como instrumentos los reportes diarios de perforación

CONCLUSION: En el presente trabajo de investigación se determinó que el estudio comparativo de brocas triconicas incurre de manera significativa en el proceso de perforación en Contrata Cosapi minería S.A.C.; en el año 2023, al obtenerse un 2.5 % menos brocas en Sandvik y un 2.3% en las brocas de PDB Tools con respecto al Costo total de perforación en el 2022.

Palabras claves: Broca X47 Sandvik, Broca GX 722 PDB Tools, velocidad de penetración, metros perforados

ABSTRAC

TITLE: Economic technical estimation in the drilling process through a comparative study of triconical bits in the Mina 14 pit, Contract Cosapi Minería S.A.C. Shougang Hierro Perú S.A.A. 2024.

OBJECTIVES: To determine the optimization of the drilling process through a comparative study of triconical bits in the Mina 14 pit - Shougan Hierro Perú for Cosapi Minería, 2023.

MATERIAL AND METHOD: The following study is an experimental and applied research, explanatory and descriptive level; the techniques used were the direct observation and the recording, using as instruments the daily drilling reports.

CONCLUSION: In the present research work it was determined that the comparative study of triconical drill bits incurs significantly in the drilling process in Contrata Cosapi minería S.A.C.; in the year 2023, by obtaining 2.5% less drill bits in Sandvik and 2.3% in PDB Tools drill bits with respect to the total cost of drilling in 2022.

Key words: X47 Sandvik drill bit, GX 722 PDB Tools drill bit, penetration rate, meters drilled.

INTRODUCCION

En toda unidad minera a tajo abierto, el ciclo de minado dependerá fundamentalmente de sus costos, razón por la cual la Perforación es una de las operaciones mineras unitarias de vital importancia en el ciclo de minado, a pesar de que su costo puede representar un 12-18% del costo total de minado. Así mismo la operación unitaria de perforación tiene una gran incidencia en las posteriores operaciones del ciclo de minado.

Por tal motivo el ingeniero encargado de la perforación debe reducir los costos aplicados a esta operación unitaria con la finalidad de aumentar la eficiencia, reducir errores y mejorar la calidad del proceso de perforación, lo que representa una gran oportunidad de optimización por ende las utilidades mejoraran garantizando la sostenibilidad de la producción y la continuidad operativa de la mina.

La presente tesis titulada “estimación técnica económica en el proceso de perforación mediante un estudio comparativo de brocas tricónicas en el Tajo Mina 14- Contrata Cosapi minería S.A.C. Shougang Hierro Perú S.A.A. 2023 tiene la finalidad de aumentar la eficiencia, reducir errores, así mismo mejorar la calidad del proceso y resultados en la perforación, por lo cual esta dividida en 05 capítulos:

CAPITULO I . Se realiza el planteamiento teórico de los problemas generales y específicos de la investigación, la justificación e importancia de la tesis en mención y la determinación de los objetivos.

CAPITULO II. Se fundamentará el marco teórico, los antecedentes internacionales y nacionales, la fundamentación teórica y el marco conceptual.

CAPITULO III. Se detalla el material de estudio.

CAPITULO IV. Se trata de la metodología de la investigación.

CAPITULO V. Se detalla los resultados del análisis realizado a la muestra de investigación.

CAPITULO VI. Se describe las discusión y conclusiones, así mismo las recomendaciones pertinentes de la investigación.



CAPITULO I

EL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del Problema

La minería en la actualidad se a sido desarrollando significativamente tanto en el ámbito social y económico, día a día se realizan nuevos estudios sobre la elaboración de una nueva tecnología que nos brinde realizar optimización en cada una de los subprocesos del ciclo de minado, para que de esta forma podamos reducir los costos, siendo esta innovación tecnología un tema de interés tanto para los proveedores y el comprador en sí mismo debido a que genera nuevas oportunidades para realizar un trabajo de calidad, con mayor eficiencia a bajos costos y mínimo riesgo de pérdida.

Para la continuidad de la innovación tecnológica, nosotros los ingenieros de minas estamos enfocados en la reducción de los costos de extracción por tonelada de material, para lo cual la tarea de reducción de costos en el subproceso de perforación siendo está el origen del ciclo de minado. Ya que la experiencia demostrada en el ámbito minero nos demuestra que la perforación impacta significativamente en el subproceso de voladura, para lo consiguiente si deseamos no tener situaciones de retraso de productividad en los siguientes subprocesos del ciclo de minado se debe realizar una adecuada perforación y voladura, de esta manera estamos generando mayores rendimientos en las operaciones subsiguientes.

Como sabemos en la gran minería el KPI de (Mts/Hr) es muy importante en la actividad de perforación de los taladros, la cual es influenciada a su vez por diferentes parámetros como el Pull Down aplicado sobre el macizo rocoso, las revoluciones por minutos para cada tipo de material y la velocidad de barrido.

Generando así tiempos de perforación dependiendo el tipo de material; para material primario los tiempos de penetración oscilan entre 45 a 70 minutos por taladro, lo que se busca es reducir estos tiempos de penetración para lo cual se debe realizar la selección de

una adecuada estructura de corte mediante la realización de pruebas de nuevos proveedores de brocas que generen una mayor velocidad de penetración; ya que sabemos que si se aumenta la velocidad de penetración se va a aumentar la producción respecto a los metros lineales perforados por unidad de tiempo, el cual a su vez genera un costo total de perforación menor por metro perforado.

Todo esto nos indica que debemos tener un control rígido en perforación para tener buenos resultados en voladura.

2.2. Formulación del Problema

2.2.1. Problema General

PG: ¿Cuál será la broca triconica de 11” con los mejores rendimientos en el tajo 14 mina Shougang Hierro Perú, contrata Cosapi Minería S.A., 2023?

2.2.2. Problemas específicos.

PE1: ¿Los rendimientos de la broca triconica de 11” de serie X47 de SANDVIK obtendrá los mejores rendimientos en el tajo 14 mina Shougang Hierro Perú, contrata Cosapi Minería S.A., 2023?

PE2: ¿Los rendimientos de la broca triconica de 11” de serie GX 722 de PDB obtendrá los mejores rendimientos en el tajo 14 mina Shougang Hierro Perú, contrata Cosapi Minería S.A., 2023?

2.3. Justificación e Importancia

2.3.1. Justificación

2.3.1.1. Teórica

La investigación se justifica en la medida teórica, esto se debe a que el material teórico utilizado se basa en artículos de revistas internacionales y libros concerniente a las variables de estudio; además, brinda información desde otro punto de vista enfocado en

mejorar la producción en el campo minero; así mismo brinda a la empresa el análisis de brocas tricónicas desarrolladas en este proyecto de investigación.

2.3.1.2. Práctica

La investigación se justifica en la medida práctica, ya que la evaluación de la velocidad de penetración de brocas tricónicas de 11” para la perforadora 1190E y D75KS de Sandvik va a permitir garantizar la productividad de la operación unitaria de perforación, de tal manera que el costo total de perforación se vea afectada positivamente para Cosapi Minería, tanto que en conjunto puedan conseguir mayor cantidad de rendimientos operativos disponibles para procesar. Asimismo, el realizar este análisis nos permite evaluar la calidad de servicio que nos brinda la asistencia técnica de cada proveedor de brocas de 11” en el segundo trimestre del año 2023.

2.3.1.3. Metodológica

El presente trabajo de investigación se justifica de manera metodológica, debido a que muestra un tipo y diseño de investigación, el cual agregándole el uso de instrumentos confiables podrá servir como una ruta metodológica para futuros estudios sobre rendimientos de brocas tricónicas o estudios relativos a las variables estudiadas.

2.3.2. Importancia

La presente investigación es importante para

El presente estudio de investigación es de vital importancia para el área de Perforación, ya que mediante la recolección de información diaria de los reportes de perforación podemos determinar los indicadores claves de medición de rendimientos, tales como vida útil y velocidad de penetración, a su vez dichos indicadores nos podrá permitir realizar la selección de la broca tricónicas adecuada para poder obtener la optimización en el proceso de perforación en las siguientes unidades (\$/TM).

Así mismo, la presente investigación es importancia para la gerencia de operaciones y procura, ya que les permitirá conocer la realidad de cada uno de los indicadores en nuestro proceso de perforación, dichos indicadores nos permitirán tomar decisiones en base a estadísticas que nos serán útil para mejorar nuestros estándares de perforación.

2.4. Objetivos

2.4.1. Objetivo general

OG: Determinar la broca tricónica de 11” con los mejores rendimientos en el tajo 14 mina Shougang Hierro Perú, contrata Cosapi Minería, 2023.

2.4.2. Objetivos Específicos

OE1: Determinar los rendimientos de las brocas de 11” de serie GX 722 de PDB Tools analizadas en el tajo 14 mina Shougang Hierro Perú, contrata Cosapi Minería, 2023.

OE2: Determinar los rendimientos de las brocas de 11” de serie X47 de SANDVIK analizadas en el tajo 14 mina Shougang Hierro Perú, contrata Cosapi Minería, 2023.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de la investigación.

En toda unidad minera a tajo abierto, el ciclo de minado dependerá fundamentalmente de sus costos, razón por la cual la Perforación es una de las operaciones mineras unitarias de vital importancia en el ciclo de minado, a pesar de que su costo puede representar un 12-18% del costo total de minado.

Una adecuada perforación posibilita unos resultados adecuados post voladura, pero una deficiente perforación asegura inadecuados resultados post voladura.

2.1.1. Antecedentes Internacionales.

Soto (2023) analizó “Estudio de problemas operacionales en la perforación de un pozo de tipo S”, para optar el título de ingeniero Petrolero, tuvo como objetivo tomar las medidas preventivas en perforaciones futuras para los problemas operacionales que se presenten en la perforación de un pozo de tipo “S”,

Dicho trabajo de investigación curricular tiene un nivel metodológico Descriptivo y Explicativo con un enfoque cualitativo, se utilizaron técnicas tales como la recopilación de datos históricos y el análisis documental.

Al término de la investigación, el autor concluyó: “Este estudio permitió deducir que, en la sección 16” se tiene un acumulado de 14.1 hrs de tiempos no productivos debido a los embolillamientos de broca y pegas de tubería para lo cual se recomienda que el WOB no supere los 5 klbs para el embolillamiento de broca y incrementar el peso del lodo de 10.0 ppg a 10.2 ppg para las pegas de las tuberías, en la sección 12 ¼” presenta la mayor acumulación de tiempos no productivos con 24.9 hrs debido a arrastres en los viajes de calibración, inconvenientes con la broca (erosión en la broca y zonas de desgaste prematuro) y presencia de puntos apretados; y en la sección de 8 ½”, a comparación de

las otras tres secciones de 12 ¼” y 16” evidencia una menor acumulación de tiempos no productivos con 8.1 hrs debido a un viaje no planificado generado por una falla en el sensor de tensión probablemente a una falla de comunicación entre el martillo hidráulico y el sensor de tensión, esta sección fue diseñada con la finalidad de atravesar tres formaciones (Tena, Napo y Hollin). A lo cual se consiguió reducir la aparición de problemas operacionales a la hora de realizar perforar el pozo mediante acciones preventivas ya estudiadas.

Ovando (2019) analizó “Apuntes de perforación de pozos en aguas profundas y ultra profundas”, para optar el título de ingeniero petrolero. Tuvo como objetivo principal redactar las características y operaciones sobre el análisis de los pozos petroleros, esto a través de la experiencia recopilada de los apuntes de perforación tales como la aplicación de los parámetros de perforación en base a la determinación de la estructura geológica identificada en el recorrido de la perforación en las aguas profundas y ultra profundas, dicho material se centra en la instrucción del ingeniero petrolero que está iniciando en la materia de perforación de pozos, este estudio de perforación de aguas profundas le va servir para tomar decisiones más rápidas y más eficaces a una solución más factible, lo cual representa menos tiempos improductivos en perforación. Al término de la investigación el autor concluyó que: “Para la introducción del ingeniero petrolero en perforación de pozos marinos en la perforación no convencional, la perforación es una base teórica – practica que se debe conocer si se quiere involucrar con la materia, por lo cual el conocer la teoría de perforación y relacionarlo con la experiencia adquirida o analizada se va a obtener una estrategia para el control de pozos vecinos los cuales están orientados a zonas inaccesibles. Los factores que contribuyen a los altos costos operacionales son la perturbación de los esfuerzos de la tierra, los márgenes estrechos, manifestaciones someras de los fluidos y la presencia de hidratos de gas, por lo cual se

debe tomar mayor importancia en estos factores y determinar medidas de controles para mitigar los altos costos operacionales. Debemos tener en cuenta que la información ya redactada en la presente tesis no son todas las áreas las que se relacionan con la perforación de pozos de aguas profundas y ultra profundas, se debe tener en cuenta que el gran parte de los procedimientos está relacionado con reglas de campo o actualizaciones tecnológicas, donde el ingeniero petrolero debe adaptarse e incorporar dicha información a sus conocimientos.”

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Alaya (2018) analizó “Influencia de la velocidad de penetración en el proceso de velocidad primaria en minería Yanacocha, Cajamarca”, para optar el título de ingeniero de minas, se tuvo como objetivo optimizar el costo total de perforación en conjunto con las características del equipo perforadora tales como la capacidad de compresor, sistemas hidráulicos de Pull Down, Presión de Aire, Rotación y el Torque) los cuales intervienen en un gran porcentaje para la velocidad de penetración, a partir de este punto se va realizar el análisis de reducción del costo total de perforación.

Dicho trabajo de investigación presenta nivel metodológico descriptivo con enfoque cuantitativo, utilizo la técnica documental y la técnica de campo para la elaboración de su proyecto de investigación.

El autor de la tesis redactada a continuación concluyó, “La velocidad con la que el equipo de perforación penetra la roca, es decir la velocidad de penetración depende muchos factores externos, tales como las propiedades físicas de la roca y los parámetros utilizados para perforar el macizo rocoso, Si bien es difícil determinar la velocidad de penetración, a la vez la velocidad de penetración define una serie de conjuntos de parámetros de los rendimientos en la operación minera. El factor más predominante para el incremento de la velocidad de penetraciones el volumen y la presión del aire que el compresor del

equipo perforadora suministra a diferentes condiciones como también el peso Pull Down y las revoluciones por minutos aplicadas a las brocas.

Las recomendaciones de los proveedores de brocas tricónicas es mantener una presión de aire de barrido en la broca de 40 a 45 PSI, aplicados estos parámetros se obtendrá una refrigeración, limpieza de los rodamientos y una adecuada velocidad de barrido.

Llevado un estudio estadístico durante la investigación, aplicado los parámetros adecuados de perforación se obtuvo una optimización del 14% en el costo total de perforación en comparación con el costo histórico que se mantenía con anterioridad, Así mismo se obtiene un ahorro de USD\$ 212,469.00 anuales”.

Marroquin (2022) analizó “Reducción del costo total de perforación incrementando la velocidad de penetración en el Asentamiento Minero Toquepala, Tacna” para optar el título de ingeniero de minas, tuvo el objetivo principal de incrementar la velocidad de penetración en el asentamiento minero toquepala” se enfoca en la formulación de una propuesta para la mejora del proceso de perforación, con el objetivo principal de incrementar la velocidad de penetración de brocas triconicas de un forma sostenible y eficiente, debido que la velocidad de penetración es una variable clave y de gran impacto en el resultado del costo total de perforación.

Dicho trabajo de investigación presenta un nivel metodológico descriptivo, con el uso de técnicas recolección de datos en campo y técnica documental para la elaboración del proyecto de investigación.

El autor de la tesis descrita a continuación llegó a la conclusión que: “El avance tecnológico combinado con el nuevo desarrollo del diseño de las estructuras de corte (Brocas triconicas), nos ha permitido alcanzar velocidades de penetración bastantes altas, además de incrementar considerablemente la vida útil de estos aceros y en consecuencia el aumento de la productividad, logrando así la eficiencia y exigencia que demanden las

operaciones mineras de nuestros días. Los cuales intervienen directamente para la reducción de los costos totales de perforación. En Terreno de dureza media (Fase 04) de la mina, siendo una zona con presencia de yeso anhidrita y cuarzo sericita con alteraciones de brechas y cuarzo, requiere un incremento de la velocidad de penetración de 29.78m/Hr a 44.11m/Hr lo cual significa un incremento de 48.11% con respecto al promedio general y una reducción del TDC de 15.57 \$/Mts 11.66\$/m. En Terreno de dureza dura (Fase 05) de la mina evidenciando la presencia de brechas con alteraciones de turmalina, cuarzo y diorita propilítica, requiere un incremento de la velocidad de penetración de 24.98m/Hr a 32.72m/Hr el cual significa un incremento de 30.95% con respecto al promedio general y una reducción del TDC de 16.75\$/m a 12.61\$/m.

Los estudios descritos, presentan tanto niveles descriptivos como tipo aplicado con un diseño experimental y un enfoque mixto, así mismo se utilizarán técnicas de recopilación de información las cuales darán soporte a futuras investigaciones que contribuyan con el desarrollo sostenible e innovador para el rubro minero, generando optimización en todos los procesos.

2.2. Bases Teóricas.

2.2.1. Empresa Cosapi Minería S.A.C.

2.2.1.1. Antecedentes Históricos

1960.- Walter Piazza y Jose Valdez se forma la empresa PIAZZA Y VALDEZ INGENIEROS empresa de consultoría en ingeniería eléctrica, a la vez crean PIVASA INGENIEROS empresa constructora encargada de montajes de plantas industriales.

1965.- PIVASA forma un consorcio con SADE de argentina (Empresa propiedad de General Electric) para instalar la primera línea de transmisión de 220 kv entre la central hidroeléctrica de Huinco y la central hidroeléctrica de

Lima.

1967.- El consorcio SADE PIVASA se convierte en COSAPI S.A. ingeniería y construcción

En los años 70 COSAPI S.A. participa en proyectos de gran complejidad como el oleoducto nor peruano, el desarrollo petroquímico de talara, el montaje de la central hidroeléctrica del Mantaro, la refinería de petróleo la pampilla y la refinería de zinc de Cajamarquilla

En los años 80 Cosapi adopta una política de diversificación e internacionalización de esa forma con SADE de Argelia y SADE de Nigeria inician operaciones en Costa Rica, República Dominicana, México, Chile y Venezuela.

En 1984 Cosapi funda CosapiDATA se convierte en el primer distribuidor de computadores personales de IBM, así mismo Cosapi se diversifica hacia obras civiles y carreteras, además participa en varios proyectos de irrigación como el canal Miguel Checa de Piura, Chavimochic en La Libertad y Chimecas en Ancash. En el sector industrial se construyen las plantas de Tintaya en el Cuzco y cementos YURA en Arequipa.

En 1994 Cosapi en sociedad con Bechtel (Empresa de construcción e ingeniería) se ejecuta el proyecto de lixiviación por solventes y electrodeposición en Toquepala

En el 2017 se dio un proceso de nacionalización adjudicándose proyectos internacionales en Chile, Panamá y el Salvador, también se reinició el proyecto en SHOUGANG en el distrito de Marcona y la provincia de Ica, en el cual venimos realizando trabajo de forma segura, de excelente calidad y buena gestión ambiental.

2.2.1.2. Perfil de la empresa

Cosapi Minería es una compañía subsidiaria de COSAPI, empresa de ingeniería y construcción con más de 56 años de trayectoria en los ámbitos nacional e internacional. Compartimos los mismos valores y cultura empresarial. Nos especializamos en realizar grandes movimientos de tierra y explotación de minas a tajo abierto.

Estamos comprometidos con nuestros clientes a través de la realización de grandes inversiones, que nos permitan generar vínculos a largo plazo en los diferentes ciclos productivos del sector minero.

2.2.1.3. Visión

Ser reconocida como una empresa líder en servicios mineros de clase mundial por su productividad, innovación y gran capacidad de adaptación, superando las expectativas de sus clientes.

2.2.1.4. Misión

Contribuir al éxito de nuestros clientes desarrollando nuestras operaciones con altos estándares de calidad, medio ambiente, seguridad y salud ocupacional, enfocándonos en la productividad y empleando la tecnología para lograr un negocio sostenible.

2.2.1.5. Valores

COSAPI tiene la filosofía de pasar eficientemente de los objetivos y estrategias a las acciones concretas, que posibiliten alcanzar logros y resultados. La gestión de dichas estrategias debe realizarse dentro del marco de valores que sustentan el accionar de la empresa. Ellos son:

Integridad: Coherencia entre la palabra y la acción en un sentido de rectitud, probidad y respeto.

Liderazgo: Capacidad de crear un clima que oriente el esfuerzo de los grupos humanos en una dirección deseada, promoviendo una visión compartida, estructurándolos, dirigiéndolos, generando oportunidades de crecimiento, inspirando valores de acción y anticipando escenarios de desarrollo.

Espíritu de equipo: Colaborar, cooperar y conjugar esfuerzos con un grupo de personas a fin de alcanzar objetivos comunes, enriqueciendo la experiencia propia con la de otros miembros del grupo, y produciendo un resultado mayor que la suma de los esfuerzos individuales.

Innovación: Disposición de modificar las formas existentes de hacer las cosas asumiendo con responsabilidad el riesgo de llevarlas a la práctica, buscando optimizar la eficiencia de los procesos y la eficacia de los resultados.

2.2.2. Teoría en perforación de Rocas

La perforación de rocas con el sistema rotatorio se realizó en los años de 1901, Fue descubierto por un ingeniero de minas y petróleos, siendo los pioneros de la industria como explorador, esta práctica se dio en un campo de Espinade – Top, cerca de Beaumont en Texas.

2.2.3. Sistemas de perforación

En la actualidad existen 04 métodos de perforación (Sistema Rotary, Sistema de Martillo en el fondo DTH, Sistema de martillo en superficie TOP HAMMER y el sistema PARD el cual es un sistema híbrido que resulta de la combinación del sistema Rotary y el sistema Down the Hole

El sistema rotatorio se diferencia a los demás sistemas debido a que no requiere el uso de la percusión, el sistema rotatorio consiste en la aplicación de fuerza descendiente (Pull Down) y el giro de la estructura de corte (Rotación). El Pull Down se genera producto del accionar de las bombas de avance de igual forma que la rotación, ambos principios al

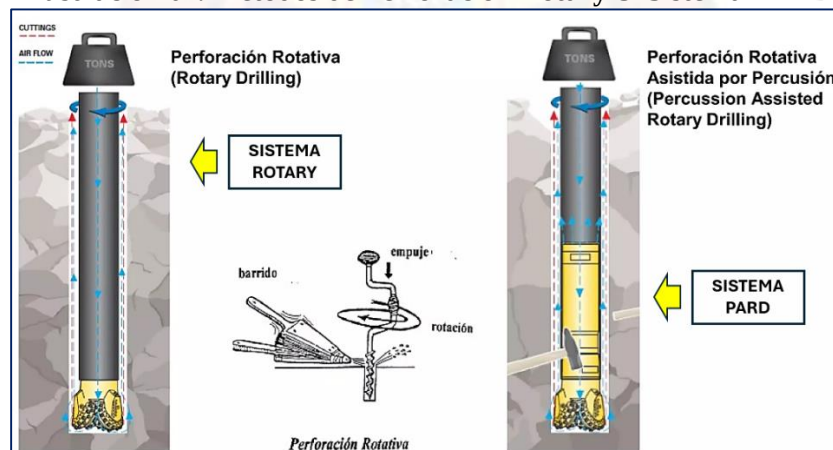
actuar unidos generan que la broca tricónica que cuenta con 3 conos, incrusten sus insertos de carburo de tungsteno en la roca, lo cual provoca que la roca se astille y triture. Posterior a los resultados producto del sistema de perforación rotatorio, se aplica el barrido del material, consiste en la inyección de aire comprimido desde el compresor y viaja a través de las mangueras y la columna de perforación la cual es evacuada por el espacio anular que genera el diámetro de la broca y el diámetro de la columna de perforación.

Ilustración 01. Métodos de Perforación Top Hammer & Down the Hole



Fuente: Unidad 01 – Curso Perforación de Rocas (Chile)

Ilustración 02. Métodos de Perforación Rotary & Sistema PARD



Fuente: Unidad 01 – Curso Perforación de Rocas (Chile)

2.2.4. Sistema de perforación Rotativo

En la presente tesis se realizara el análisis en el sistema de perforación rotativo, el sistema rotativo se incorporó como mejora tecnológica en el año 1909 por el inventor Howard R. Hugues, esta tecnología consistía en el uso de conos giratorios con insertos cortantes los

cuales realizaban la acción cortante en el fondo del taladro y se creaba una acción de traslape, dicho sistema permitía a las perforadoras incrementar sus rendimientos así mismo su productividad en tipos de terrenos consistentes (Duras) En aquellos tiempos no se tenía en mente usar la innovación tecnología del sistema rotatorio en la minería, sin embargo se utilizaba para otras actividades que consistía en la perforación de pozos como pozos de agua, de petróleo o exploraciones geofísicas.

2.2.4.1. Principio de aplicación de peso en la broca.

El peso en la broca también se conoce como la presión de la broca. Se necesita hacer que los diamantes de la broca corten la roca y avancen hacia el fondo del pozo. La cantidad de peso que se ejerce en la broca depende de distintas variables, que incluyen el tipo de roca, las condiciones del terreno, el tipo de broca utilizado, el flujo de agua, la profundidad del pozo, la longitud de la sarta de varillas, las revoluciones por minuto y la tasa de penetración.

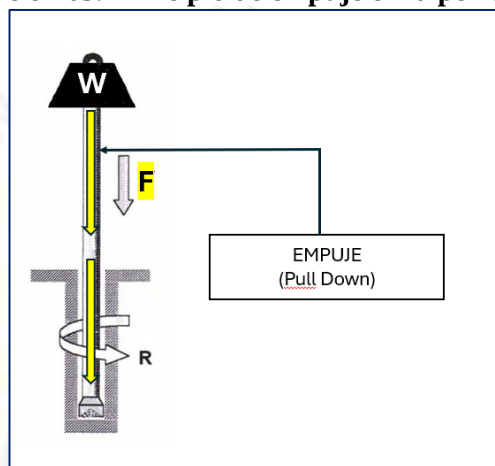
El peso en la broca recomendado es el máximo que se debe utilizar. Cuando comience a perforar, la configuración inicial del peso en la broca debe estar por debajo de la configuración recomendada. La presión de la broca o el peso en la broca que es demasiado alto puede provocar un desgaste prematuro de los componentes mecánicos de la perforadora, las varillas de perforación, la broca y el barril central. También habrá una mayor probabilidad de desviación del pozo si el peso en la broca es demasiado alto.

El peso demasiado bajo en la broca llevará a una disminución de la productividad y la broca puede perder su filo. Si esto ocurre, es posible que tenga que afilar la broca para mantener su productividad.

Como regla general, la presión de la broca o la fuerza aplicada a la broca, más el peso de las varillas que se están utilizando deben ser lo más bajos posible, y

al mismo tiempo mantener una buena tasa de penetración. Solo debe poner tanta presión en la broca como sea necesaria para avanzar. Para lograr una buena tasa de penetración, debe tratar de obtener la combinación ideal de velocidad de rotación y presión de la broca. Esta relación cambiará a medida que agregue cada varilla.

Ilustración 03. Principio de empuje en la perforación.



Fuente: Guía Esencial para los parámetros de perforación
FORDIA – Powered by Epiroc

2.2.4.2. Principio de unidad de Rotación

La velocidad de rotación también se conoce como revoluciones por minuto (RPM) y se mide utilizando un tacómetro. La velocidad de rotación sugerida a menudo se establece como un rango y usted comienza en algún lugar intermedio.

La rotación de la broca hace que los diamantes impregnados en la matriz corten la roca y desgarran los recortes. Por lo tanto, la velocidad de rotación determina la tasa a la que se corta la roca y se desgarran los recortes.

En términos generales, cuanto mayor sea la velocidad de rotación, mayor será la TDP (Tasa de penetración). La velocidad de rotación también ayuda a desgastar la matriz y tiene como objetivo exponer nuevos diamantes a una tasa constante. De esta manera, se van exponiendo nuevos diamantes afilados y se

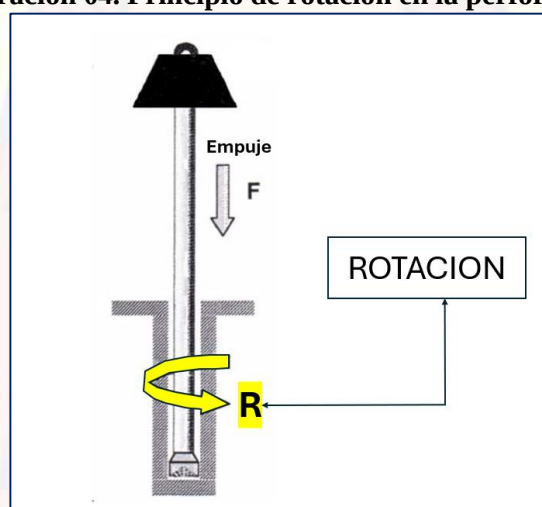
van expulsando los diamantes sin filo y desgastados.

La velocidad de rotación debe elegirse con cuidado basándose en el diámetro del sistema que está usando. Otras variables pueden afectar la elección de su velocidad de rotación. Estas incluyen el diámetro de la broca, la profundidad del pozo, la TDP y la vibración.

Una velocidad de rotación demasiado alta puede pulir la broca y si es demasiado baja, puede desgastarla prematuramente.

Si está penetrando la roca rápidamente, es posible rotar las varillas con mayor rapidez para mejorar la tasa de penetración. O si está teniendo dificultad para penetrar la roca, puede reducir la velocidad de rotación y ayudar a aumentar la tasa de penetración.

Ilustración 04. Principio de rotación en la perforación.



Fuente: Guía Esencial para los parámetros de perforación
FORDIA – Powered by Epiroc

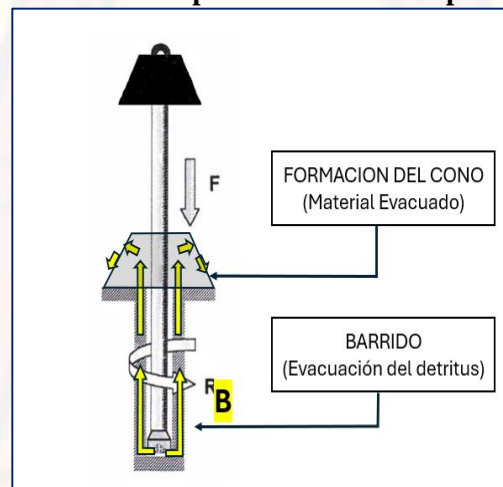
2.2.4.3. Principio de barrido del material triturado.

Para la obtención de un resultado eficaz en la formación del pozo donde se alojara el explosivo se requiere una buena velocidad de barrido posterior a la aplicación de los dos principios de empuje y rotación, el no tener una velocidad de barrido adecuada se va tener resultados negativos, debido al sobreconsumo

de energía para la sobre trituración innecesaria del material, la sobre trituración significa generar disminución en los rendimientos de los componentes de la columna, principalmente la matriz de la broca.

La velocidad de barrido se realiza con un fluido de aire o agua, la cual es inyectada a altas presiones mediante una línea de trayectoria, la cual va desde el compresor del equipo y evacua por la toberas de la broca la cual es proyectada a altas presiones y al entrar en contacto con el material triturado genera la evacuación del material triturado, la correcta formación del taladro y su barrido eficaz nos va permitir adquirir una tasa de penetración más efectiva y compatible con la producción.

Ilustración 05. Principio de barrido en la perforación.



Fuente: Guía Esencial para los parámetros de perforación
FORDIA – Powered by Epiroc

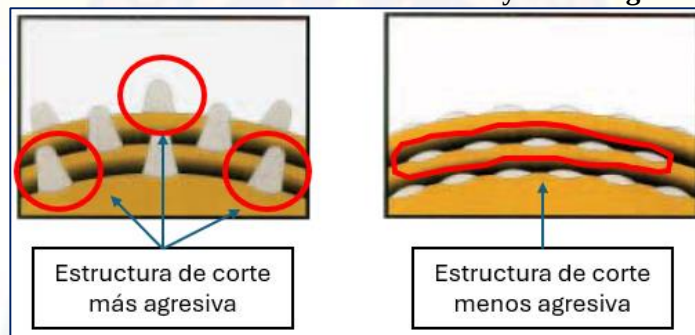
2.2.5. Familiarización con la broca triconica

La broca triconica está constituida por tres piezas fundamentales: los conos (o cortadores), los rodamientos y la pata de la broca (el cuerpo), la parte que genera el corte al macizo rocoso son los conos giratorios los cuales están compuestos por insertos de carburo de tungsteno las cuales están colocadas en hileras y distribuidas en los conos de

tal forma que nos permita realizar una perforación eficiente, Las brocas de dientes fresados se utilizan en formaciones blandas y el carburo de tungsteno se utiliza en la mayoría de las otras formaciones rocosas.

Para las formaciones duras y blandas es importante saber que para las formaciones blandas de utilizaran las brocas con dientes más balísticos con espacio largos entre cada inserto, mientras que las brocas para terrenos duro se utilizan los insertos más esféricos con el espacio reducido entre insertos. La broca triconica para roca blanda esta diseñada de forma que cuando los dientes entren en contacto con el fondo del pozo se raspen lo que significa que la broca genera corte y raspado del macizo rocoso, mientras que la broca con insertos más esféricos solo actúa por trituración sobre el macizo rocoso, debido que a las brocas con insertos mas esféricos se le aplica mayor peso los rodamientos tienden a ser mas robustos que el de las brocas con insertos balísticos

Ilustración 06. Estructura de cortes más y menos agresivas



Fuente: Manual de Usuario de Perforadoras Rotativas – Sandvik

El esquema a continuación describe como una broca para perforación blanda perfora por acción de corte y la broca para perforación dura perfora por acción de trituración

Ilustración 07. Continuidad de la acción de la perforación

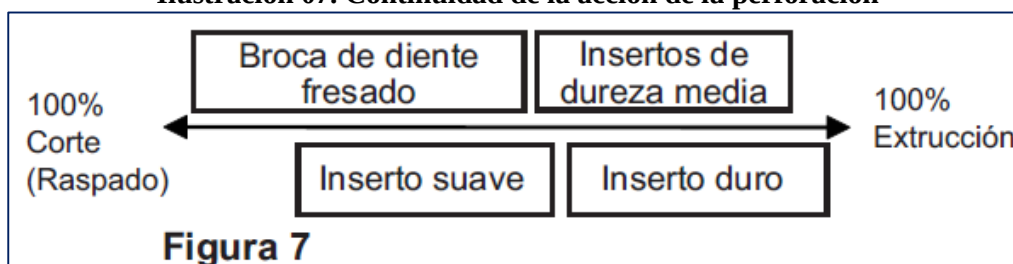


Figura 7

Fuente: Manual de Usuario de Perforadoras Rotativas – Sandvik

2.2.6. Como perfora la roca una broca tricónica.

La broca con 3 conos es una estructura de corte, que abarca diferentes diseños debido al diseño de sus componentes, como los conos giratorios, las toberas y/o los cojinetes entre otros componentes. La función principal es la de arrancar el material ya sea por trituración o desgarre, esto va a depender del tipo de material el cual nos servirá de indicio para la selección de las brocas tricónicas a través de sus características geotécnicas. A continuación, se detallará los principios básicos de la perforación rotatoria.

2.2.6.1. Velocidad de Penetración

La velocidad de penetración es la relación que existe entre los metros perforador en determinada unidad de tiempo, es un indicador clave para la selección del tricono. Así mismo el peso que se tiene sobre la broca influenciara en la velocidad de penetración, cabe decir que mientras a mayor peso se aplique sobre la broca obtendremos mayor velocidad de penetración, sin embargo es preciso indicar que mientras más peso vayamos aplicando peso sobre la broca se llega a un punto de velocidad máxima, a partir de ese punto empieza el declive de la velocidad de penetración, esto es debido a que se genera un peso sobre adicional sobre la broca generando la reducción relativa de la velocidad de penetración.

2.2.7. Criterios de Diseño de una broca de perforación.

2.2.7.1. Angulo del Eje del cono

El ángulo del eje del cono es el ángulo que hace referencia entre el eje del cono con la horizontal del terreno a perforar, es uno de los aspectos más importantes para diseñar un tricono. Dicho ángulo determina el diámetro del cono dentado en relación con el diámetro del barreno, si aumenta el ángulo que forma el eje del cono con la horizontal entonces el diámetro del cono debe disminuir recíprocamente.

Ilustración 08. Angulo del eje del cono

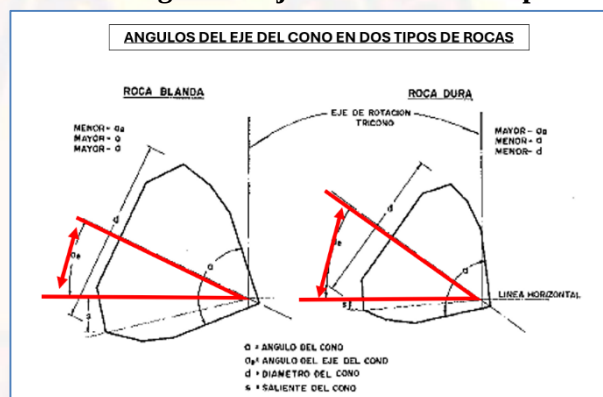


Fuente: Manual de Perforación y Voladura
López Jimeno

En la figura (Ilustración 08) se observan los parámetros geométricos que garantizan la disposición de los conos dentados para los tipos de rocas.

En el fondo del barreno el avance del tricono lo regula en gran parte el tamaño y forma de los conos, en decir el perfil mismo.

Ilustración 09. Angulo del eje del cono en dos tipos de rocas



Fuente: Manual de Perforación y Voladura – López Jimeno

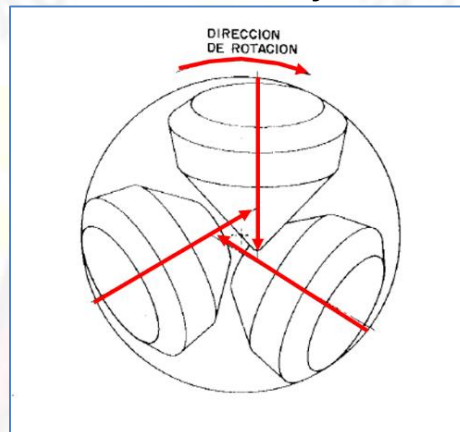
2.2.7.2. Descentramiento de los ejes de los conos del tricono

El descentramiento de los ejes de rotación de los conos giratorios es un factor para tomar en consideración en el diseño de los triconos.

En terrenos de tipo de roca dura el descentramiento es mínimamente nulo, con lo que el arranque de la roca se produce a través de la trituración al sufrir los

conos giratorios una rodadura efectiva y perfecta. En las rocas blandas presentan un mayor descentramiento, esto debido a que el material es arrancado mediante el desgarre o raspado, dado que los conos experimentan un movimiento de deslizamiento junto con los conos de rotación. En rocas de tipo mediano se considera los dos efectos de rotación y deslizamiento dando como resultado la obtención del material mediante la acción de trituración y desgarre.

Ilustración 10. Descentramiento de los ejes de los conos del tricono

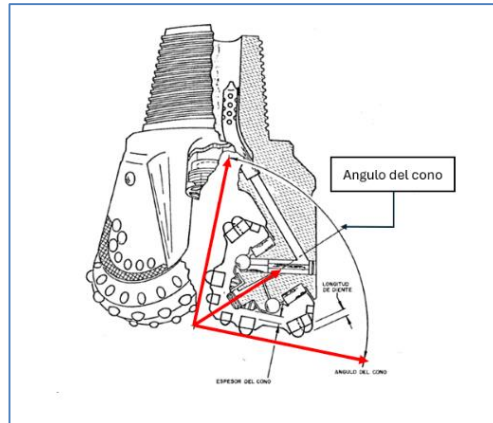


Fuente: Manual de Perforación y Voladura –
López Jimeno

2.2.7.3. Angulo del cono

El ángulo del cono en relación con el ángulo del eje del cono es inversamente proporcional, de forma que cuando el ángulo del eje del cono aumente, el ángulo del cono debe disminuir esto es para que no ocurra las interferencias entre los conos. La interferencia entre los conos limita la eficiencia a la hora de desarrollar su función del cono, lo cual significa un mal arranque del material, lo cual puede generar una muerte prematura de los conos y a la vez de la broca.

Ilustración 11. Angulo del cono.

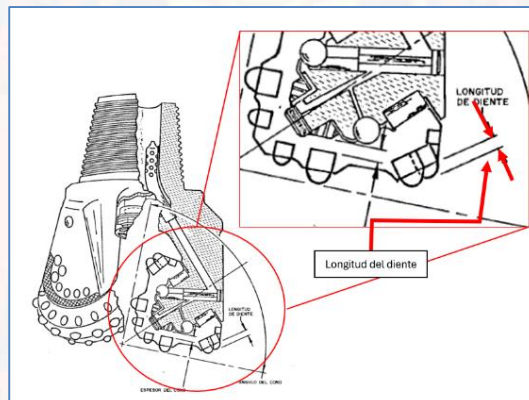


Fuente: Manual de Perforación y Voladura –
López Jimeno

2.2.7.4. Longitud de los Dientes

La longitud de los dientes en una broca esta definidos por la profundidad de la fresa en el cono. Si se tratase de un tricono con insertos la longitud del inserto está dada por la parte visible de los botones de metal duro.

Ilustración 12. Longitud de los dientes

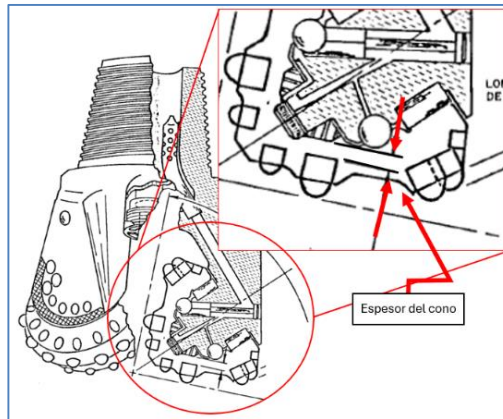


Fuente: Manual de Perforación y Voladura –
López Jimeno

2.2.7.5. Espesor del cono

Para asegurar la resistencia estructural del cono de debe contar con un espesor, El tamaño de los cojinetes determina el espesor de los conos giratorios, asi mismo también lo definen la profundidad de la fresa en los triconos de dientes y po la profundidad en el atascamiento en los conos de insertos.

Ilustración 13. Espesor del cono

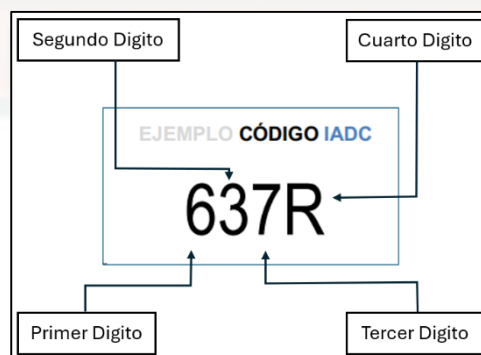


Fuente: Manual de Perforación y Voladura
López Jimeno

2.2.8. Clasificación IADC

Cuando nos referimos a la clasificación IADC, se refiere a una codificación de 04 dígitos, los cuales se van a dar esa facilidad de poder identificar las características del triconica el cual vamos a utilizar, Debemos tener en cuenta que los primeros 03 dígitos de la clasificación IADC dan la clasificación a un triconica dependiendo de la formación para la cual fue diseñado como también nos permite saber el tipo de rodamientos o sello de la broca triconica. Así mismo la clasificación se describe como un lenguaje técnico de requerimiento, de forma que el cliente puede indicarles a los distintos proveedores el tipo de diseño de broca triconica es la que está buscando.

Ilustración 14. Clasificación IADC

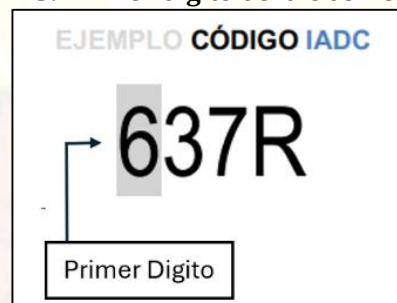


Fuente: Drillers Supply S.A.

2.2.8.1. Primer dígito de la clasificación IADC

El primer dígito tiene una relación directa con la dureza del terreo y la matriz del tricono, para las formaciones blandas el rango de codificación para el primer dígito es del número 1 al número 3, estos triconos presentan dientes de acero, mientras que las brocas con insertos de carburo de tungsteno su rango de codificación del primer dígito es de 4 al 8, lo cual determina que el número 4 es para terrenos menos duros y el tricono con codificación número 8 es para terrenos más duros.

Ilustración 15. Primer dígito de la clasificación IADC

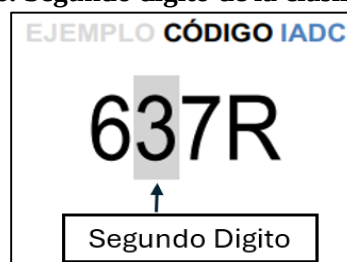


Fuente: Drillers Supply S.A.

2.2.8.2. Segundo dígito de la clasificación IADC

El segundo dígito guarda una relación directa con la codificación del primer dígito, dado que es una subclasificación de dureza propia del primer dígito, específicamente hace referencia a un desglose adicional a la formación, la cual toma en cuenta el código 1 como la más suave y el código número 4 como el más duro.

Ilustración 16. Segundo dígito de la clasificación IADC



Fuente: Drillers Supply S.A.

2.2.8.3. Tercer dígito de la clasificación IADC

En el tercer dígito se determinará un número del 1 al 7, la determinación de dicho dígito nos indicará el tipo de rodamientos, sellos, entre otras características de la broca tricónica. Específicamente existen 07 tipos de rodamientos los cuales se describen a continuación

1. Broca de rodillo de cojinete abierto estándar.
2. Broca de rodillo de cojinete abierto estándar, refrigerada por aire.
3. Broca de rodillo de cojinete abierto estándar con protección de calibre que se define como insertos de carburo en el talón del cono.
4. Broca de rodamiento de rodillos sellada.
5. Broca de rodamiento de rodillos sellada con protección de manómetro.
6. Broca de rodamiento sellada.
7. Broca de rodamiento sellada con protección de manómetro

2.2.8.4. Cuarto dígito de la clasificación IADC

El cuarto dígito comprende la asignación de letras, debido a que se le a que se le adicionan funciones como se describe a continuación:

A – Aplicación de Aire

R – Soldaduras Reforzadas

C – Inyector Central

S – Diente de acero estándar

D – Control de desviación

X – Inserción de cincel

E – Inserto Extendido

Y – Inserto cónico

G – Protección de calibre adicional

Z - Otra forma de inserción

J – Deflexión del chorro

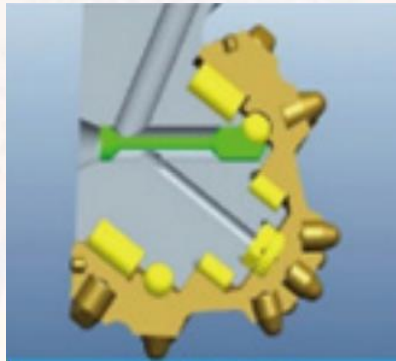
2.2.9. Tipos de Rodamientos

En el mercado de brocas, existen 03 tipos de rodamientos más comunes utilizados entre los proveedores, son los siguientes:

2.2.9.1. Brocas de rodillos de rodamientos abiertos

En estas brocas los rodillos giran libremente, estos rodillos tienen una estructura particular de rodillos, los cuales implican una fila delantera de rodamientos de bolas y en la parte posterior una fila de rodamientos de rodillos

Ilustración 17. Brocas de rodillos de Rodamientos abiertos



Fuente: El Dorado – Drilling Tools

2.2.9.2. Broca de rodillos de rodamientos sellados

Los rodamientos de estas brocas tienen un sello de junta teórica con un depósito de grasa para que se puedan enfriar los cojinetes, Es una tecnología la cual actúa como una barrera contra el barro y los recortes para proteger los cojinetes.

Ilustración 18. Brocas de rodillos de Rodamientos sellados



Fuente: El Dorado – Drilling Tools

2.2.9.3. Broca de rodillos de cojinete sellado compuesto.

Son enfriadas estrictamente con aceite/grasa con cojinetes de punta, sello de junta tórica y una carrera para adquirir un rendimiento máximo.

Ilustración 19. Brocas de rodillos de cojinete Sellado compuesto



Fuente: El Dorado – Drilling Tools

2.2.10. Economía de la perforación

La mejor forma para determinar que una broca es la adecuada, es realizar la evaluación de sus rendimientos relacionada con sus costos, así tenemos una representación económica.

Existen dos maneras básicas de calcular la relación existente entre los rendimientos y los costos de perforación, dicho cálculo nos brinda información apropiada para la toma de decisiones concerniente a la optimización de procesos de perforación.

Los cálculos son el parcial drilling cost (Costo parcial de perforación) y la otra forma es el total drilling cost (Costo total de perforación).

El costo parcial es el costo del metro perforado tomando en cuenta solamente su rendimiento del tricono y el costo del tricono mismo, dicho indicador adopta la siguiente formula:

Ilustración 20. Formula Parcial Drilling Cost

$$PDC = \frac{\text{Precio de compra}}{\text{Distancia perforada (en pies o metros)}}$$

Fuente: Manual de Perforación y Voladura – López Jimeno

La otra forma de obtener un indicador óptimo para la toma de decisiones es relacionarla con la productividad del equipo, a lo cual estamos refiriéndonos al Total drilling Cost (Costo total de perforación) en el cual intervienen variables como: el costo propio de la broca, sus rendimientos para cada tipo de material, el costo horario del equipo representado en (\$/Mt) y su productividad tomando como dato clave los metros perforados por hora. La fórmula de TDC se expresa de la siguiente forma:

Ilustración 21. Formula Total Drilling Cost (Opc 01)

$$TDC = \frac{\text{Costo broca} + [(\text{Costo por hora de equipo})(\text{horas})]}{\text{Pies (metros) perforados}}$$

Fuente: Manual de Usuario de Perforadoras Rotativas – Sandvik

Otra forma de apreciar la formula del costo total de perforación es la siguiente:

Ilustración 22. Formula Total Drilling Cost (Opc 02)

$$\frac{\text{Costo de la broca}}{\text{Pies (metros) perforados}} + \frac{\text{Costo por hora de equipo}}{\text{Velocidad de penetración (ROP)}}$$

Fuente: Manual de Usuario de Perforadoras Rotativas – Sandvik

En las distintas situaciones si el tiempo de penetración por metro perforado y el costo horario de equipo no es de importancia, el costo parcial es la mejor opción para evaluar el funcionamiento de la broca tricónica. Sin embargo, si en la operación se requiere el manejo de una gama de perforadoras en razón a su productividad, de ser el caso el costo total de perforación es el mejor criterio para la toma de decisiones en perforación.

2.2.11. Selección de Brocas

Para una perforación exitosa y adecuada es importante la selección correcta de la broca tricónica la cual tiene que cumplir con determinadas características para generar buenos rendimientos y indicadores de productividad. Los factores principales que se debe tener en cuenta del macizo rocoso son el volumen y la homogeneidad de la roca, la resistencia a la compresibilidad, la agresividad, la elasticidad del material rocoso, la velocidad de penetración requerida, del equipo de perforación se toma en cuenta la capacidad del compresor para el aire de barrido y la dimensión para poder perforar en las plataformas de perforación y así mismo el operador debe contar con la experiencia en perforación.

2.2.11.1. Dureza de la roca (Resistencia)

El primer paso para la selección de una broca es identificar la dureza a la resistencia de la compresión simple y uniaxial de la roca, con este dato podemos tener un indicio de que tipo de broca seleccionar de acuerdo con el tipo de IADC, sin embargo, aún no es suficiente basándose solo en la dureza debido a que los rangos de trabajos de la broca no están delimitados.

Tabla 01. Selección de Broca según dureza del macizo rocoso

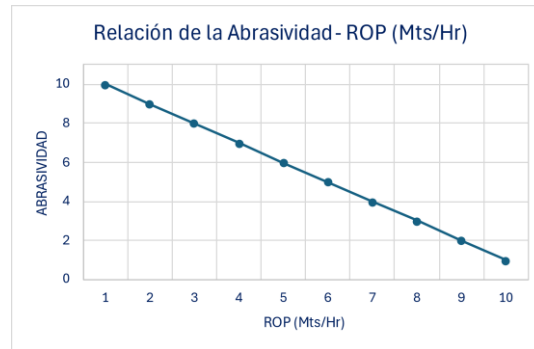
Serie de Estructura de Corte		Tipo de Estructura de Corte (1 a 4)	Descripción de Cojinetes		Características Disponibles (Opcional)
STEEL TOOTH BITS	Soft Formations with Low Compressive Strength and High Drillability	1	Standard Roller Bearing	1	A - Air Application B - Special Bearing Seal C - Center Jet D - Deviation Control E - Extended Nozzles G - Gauge/Body Protection H - Horizontal Steering Appl. J - Jet Deflection L - Lug Pads M - Motor Application S - Standard Steel Tooth T - Two Cone Bit W - Enhanced Cutting Structure X - Predominantly Chisel Tooth Insert Y - Conical Tooth Insert Z - Other Shape Insert
	Medium to Medium Hard Formations with High Compressive Strength	2	Roller Bearing Air Cooled	2	
	Hard Semi-Abrasive and Abrasive Formations	3	Roller Bearing Gauge Protected	3	
INSERT BITS	Soft Formations with Low Compressive Strength and High Drillability	4	Sealed Roller Bearing	4	
	Soft to Medium Formations with Low Compressive Strength	5	Sealed Roller Brg - Gauge Protected	5	
	Medium Hard Formations with High Compressive Strength	6	Sealed Friction Bearing	6	
	Hard Semi-Abrasive and Abrasive Formations	7	Sealed Friction Brg Gauge Protected	7	
	Extremely Hard and Abrasive Formations	8			

Fuente: International Association of Drilling Contractors

2.2.11.2. Abrasividad

La siguiente característica de la roca en tomar en cuenta es la abrasividad del terreno, muchas veces consideramos a la abrasividad como la característica principal para la selección del tricono, sin considerar las limitaciones en la velocidad de penetración y la vida útil del tricono. El tener un terreno demasiado abrasivo requiere que la broca a seleccionar este debidamente reforzada tanto en los faldones como el tratamiento de la matriz para evitar desgaste prematura de la broca. La selección del tricono para un terreno abrasivo es directamente proporcional con la velocidad de penetración, mientras el tricono este mas reforzado la velocidad de penetración será menos, el tomar principalmente como característica principal la abrasividad del tricono implica que el costo total de perforación incrementa, debido a que los rendimientos son menores y su velocidad de penetración es menor.

Tabla 02. Relación Abrasividad – ROP (Mts/Hr)

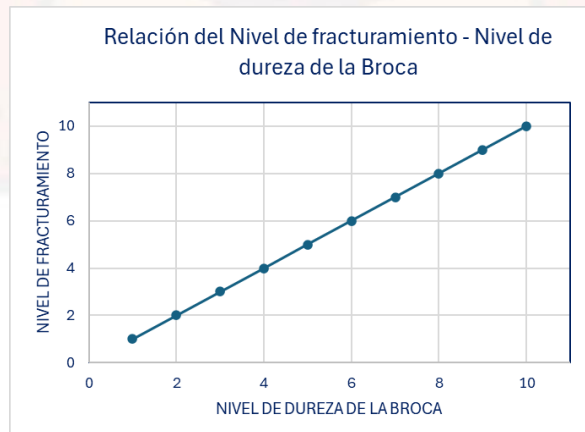


Fuente: Manual de Usuario de Perforadoras Rotativas – Sandvik

2.2.11.3. Homogeneidad y macizo de la roca.

Para la selección de una broca también se debe tener en cuenta la homogeneidad de la estructura a perforar como el volumen también, esto debido a que si se tratase de una estructura homogénea sin presencia de fracturas se requiere una broca menos robustas con insertos tipo esféricos que las de terrenos con presencia de demasiadas fracturas, para tipos de terrenos no homogéneos altamente fracturados se requiere una broca mas robustas con insertos balísticos para garantizar un ROP adecuado a la hora de perforar.

Tabla 03. Relación nivel de Fracturamiento – Nivel de dureza de la broca

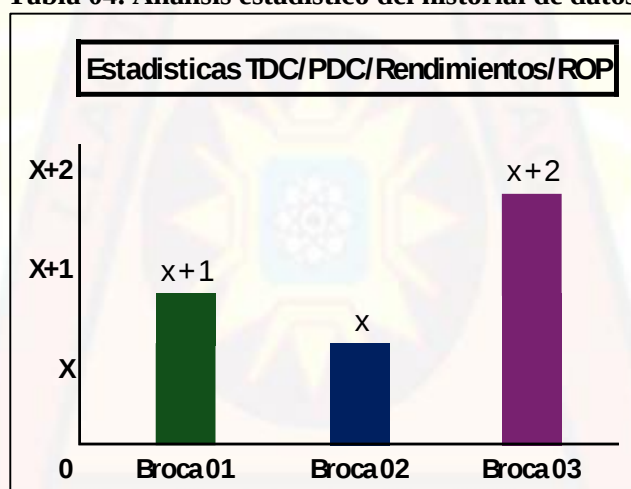


Fuente: Manual de Usuario de Perforadoras Rotativas – Sandvik

2.2.11.4. Análisis estadísticos de los datos Históricos.

En toda unidad minera al principio se desconoce el tricono adecuado para cada tipo de material por lo cual toman como referencia los ítems anteriores y se registra una data detallada de cada tricono a utilizar por ejemplo (fabricante, tipo, código IADC y posiblemente el número de parte de la broca tricónica), dicha información se comienza a recopilar durante el pasar del tiempo, lo cual para la toma de decisiones se comienza a evaluar, rendimientos velocidad de penetración, costo total de perforación, costo parcial de perforación, se va a considerar el indicador que sea de mayor relevancia para la operación cumpliendo con los requerimientos establecidos.

Tabla 04. Análisis estadístico del historial de datos.



Fuente: Manual de Usuario de Perforadoras Rotativas – Sandvik

La recomendación al comprador de broca tricónica es tomar decisiones a partir del análisis de su historial, sin embargo, si no se cuenta con dicho historial y su análisis correspondiente, se recomienda compartirle al proveedor los siguientes datos geológicos para el análisis correspondiente por parte del proveedor:

- Resistencia de la Roca
- Homogeneidad
- Tipo de roca a perforar
- Abrasividad

2.2.12. Análisis de una broca descartada.

Se realiza el estudio del análisis de brocas desgastadas para determinar los motivos del desgaste, y a partir de este análisis aplicar correcciones inmediatas para mejorar sus rendimientos, posteriormente obtener buenos indicadores.

Una broca desgastada puede determinar a la vez el estado de la perforadora:

- Estado del compresor de aire y la línea de trabajo.
- Parámetro de perforación inadecuados.
- El estado del mástil de la perforadora
- La eficacia del operador de la perforadora
- Condición de la columna de perforación.

2.2.12.1. Insertos quebrados (IQ)

Síntomas

Los insertos quebrados presentan quiebre en las hileras internas del acero de los conos de la broca examinada.

Causas

- Aplicación de demasiado peso sobre la broca (WOB)
- Los primeros metros de la longitud de perforación del collar hacia el fondo

del taladro demasiado fracturado.

- Tratamiento inadecuado de los insertos de carburo de tungsteno.

Recomendaciones

- Reducir el peso sobre la obra y evaluar el modo operantis del operador de la perforadora.
- Aplicación de peso reducido y reducción en la velocidad de rotación aplicada sobre la broca.
- Uso de una broca tricónica con un grado de mayor resistencia al quiebre.

Ilustración 23. Insertos Quebrados



Fuente: Manual de Usuario de Perforadoras Rotativas – Sandvik

2.2.12.2. Desgaste por huella (DH)

Síntomas

El desgaste del inserto de carburo de tungsteno predomina por un solo lado, esto es indicio de un mal corte que genera el inserto a la roca a perforar, adicionalmente una vibración excesiva de la broca.

Causas

- Normalmente se genera por una mala práctica de operación al utilizar un peso excesivo a una determinada rotación, esto significa que la cara de un cráter abierto por un inserto sea golpeada por otro inserto diferente, por lo general es un inserto continuo al sentido de la rotación del cono.
- Error de la selección de la broca tricónica.

Recomendaciones

- Ajustar el peso aplicado a la rotación para la aplicación del peso de fractura adecuado sobre la roca, con el fin de evitar estos desgastes, y a su vez los tiempos de detención deben ser los apropiados.
- Seleccionar una broca diferente la cual se adapte al tipo de litología presente, una opción sería probar las brocas tricónicas con mayor distancia de espaciamiento entre insertos.

Ilustración 24. Desgaste por huella



Fuente: Manual de Usuario de Perforadoras Rotativas – Sandvik

2.2.12.3. Cono Quebrado (CQ)

Síntoma

El cono quebrado puede sufrir la quebradura en dos sentidos, ya sea de forma uniaxial o en sentido a la circunferencia.

Causas

- El acero del cono del acero sufre demasiada fatiga
- Presencia de daños en el botón de empuje, debido a que su borde se recalienta y genera grietas.
- La boca del cono se suelta debido a que los rodamientos externos se sueltan produciendo que la boca del cono se monte sobre el faldón, lo cual va a generar calor y posteriormente se genera las grietas en la zona afectada por el calor producido.
- Aplicación de altas velocidades en el fondo del taladro, tipo de roca no requiere demasiada aplicación de velocidad de rotación.

Recomendaciones

- Modificación o aplicación de los parámetros de perforación adecuados.
- Descarte natural del tricono, previa evaluación de los rendimientos.

Ilustración 25. Cono Quebrados



Fuente: Manual de Usuario de Perforadoras Rotativas – Sandvik

2.2.12.4. Interferencia de conos

Síntoma

La interferencia de un inserto de carburo de tungsteno sobre otro inserto genera el desgaste de los rodamientos, Se producen generalmente cuando los conos se traban y se arrastran intermitentemente y/o se produce la rotura de estos mismos.

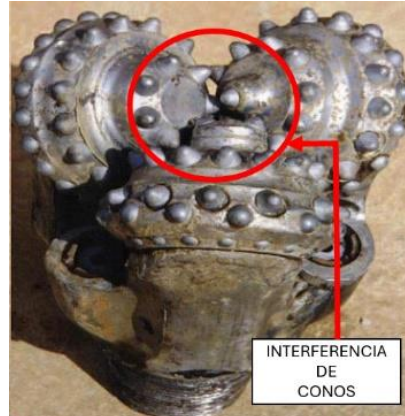
Causas

- Demasiada aplicación de peso sobre la broca.
- Se genera interrupción en el circuito de aire de uno de los rodamientos.
- Perforación excéntrica a causa del pandeo de las barras.
- Uso de la broca para Re perforación de un taladro de menor diámetro
- Exceder la vida útil del servicio de rodamientos.

Recomendaciones

- Reducir el peso sobre la broca.
- Realizar el procedimiento correcto con el fin de que la broca quede limpia después de cada termino de taladro
- Revisar posible pandeo de barras o deficiencias en el anillo guiador.
- Uso de broca de rodamientos sellados.

Ilustración 26. Interferencia de conos



Fuente: Manual de Usuario de Perforadoras Rotativas – Sandvik

2.2.12.5. Redondeado de calibre (RC)

Síntoma

Se generan los insertos redondeados hacia el centro de la broca cuando la velocidad de penetración de la broca es baja, significa que el operador no aplica correctamente los parámetros tratando de cuidar el estado del tricono.

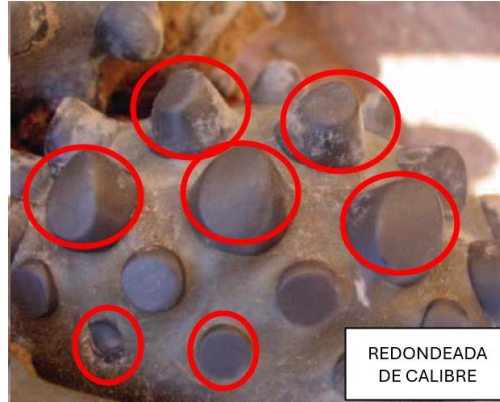
Causas

- El tratamiento del inserto de carburo de tungsteno no es el adecuado, obteniendo un inserto demasiado blanco para el tipo de terreno.
- Demasiad revoluciones por minuto RPM

Recomendaciones

- Reducir los RPM para que la hilera de los calibres tenga tiempo de cumplir el ciclo de desprendimiento del material a través de la perforación con triconos.
- Aplicación de una nueva broca con un tratamiento mejorado en los insertos de carburo de tungsteno evaluando las condiciones del terreno.

Ilustración 27. Redondeado de calibre



Fuente: Manual de Usuario de Perforadoras Rotativas – Sandvik

2.2.12.6. Rajaduras por el calor (RjC)

Síntomas

El inserto de carburo de tungsteno presenta rajaduras como la piel de la culebra, lo cual implica que exista la posibilidad de romperse el inserto.

Causa

- El tratamiento del inserto de carburo de tungsteno es incorrecto para el material que se está perforando.
- Enfriamiento y recalentamiento del inserto debido a la inyección de agua y el exceso de PM requeridas para el tipo de terreno.

Remedio

- Consumo reducido de agua y a la vez uso de RPM inferiores al utilizarlo
- Cambiar a una broca con mejor tratamiento, que no esté propensa a la rajadura.

2.3. Hipótesis de la investigación

2.3.1. Hipótesis General

HG1: El estudio comparativo de triconos determinara la broca de 11” con los mejores rendimientos en el Tajo 14 mina Shougang Hierro Perú, contrata Cosapi Minería, 2023.

2.3.2. Hipótesis Específicas.

HE1: La broca tricónica de 11” de serie GX 722 de PDB Tools tienen los mejores rendimientos en el Tajo 14 mina Shougang Hierro Perú, contrata Cosapi Minería, 2023.

HE2: La broca tricónica de 11” de serie X47 de SANDVIK tienen los mejores rendimientos en el Tajo 14 mina Shougang Hierro Perú, contrata Cosapi Minería, 2023.

2.4 Variables.

2.4.1. Variable Independiente (X):

Rendimientos de las brocas de 11”: Los rendimientos de las brocas tricónicas nos determina la cantidad de metros perforados por tricono en diferentes tipos de materiales, metros perforados por unidad de tiempo para analizar el avance de perforación.

Indicadores:

- Vida útil del tricono
- Terreno y litología del yacimiento

2.4.2. Variable Dependiente (Y):

Estudio comparativo de brocas tricónicas: Es un esfuerzo sistematizado para comparar dos a más elementos, estos elementos se medirán bajo los mismos Kpis de interés para determinar el objetivo buscado.[8][Carlos G. y Elda A. Capítulo 11 – Método Comparativo]

Indicadores:

- Velocidad de penetración
- TDC (Total drilling cost)

CAPITULO III

MATERIAL DE ESTUDIO

3.1. Generalidades y Descripción de la mina.

Cosapi Minería desarrolla las siguientes actividades dentro de la unidad operativa minera

Mina 14 de la compañía minera Shougang Hierro Perú S.A.A:

- Planeamiento Mina
- Perforación
- Voladura
- Carguío y acarreo
- Disposición del material en chancadora.

3.1.1. Ubicación y Accesibilidad.

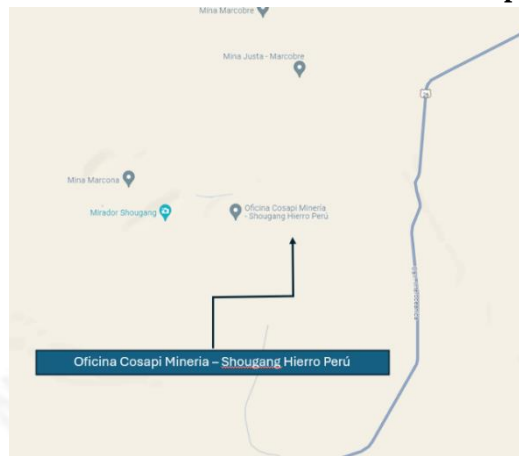
Cosapi Minería realiza las actividades de explotación, carguío y acarreo hacia la chancadora de Mina 14, donde se deposita el mineral de interés.

La mina 14, la cual será la mina de estudio es perteneciente a la concesión de la compañía minera Shougang Hierro Perú, la cual está ubicada en la región de Ica, provincia de Nasca y distrito de Marcona con coordenadas (E=4905000, N=8322300); aproximadamente a 525 kilómetros al sur de la ciudad de Lima, donde se obtienen distintos materiales como diques, materiales oxidados, mineral de alta ley y baja ley respecto al hierro.

El acceso a la ubicación de la Mina 14 es mediante una Miniván o Bus, la cual se toma en la ciudad de Nazca, Dicha movilidad te dejara en el cruce de la carretera interoceánica con la carretera de acceso a la mina 14, esta trayectoria tiene aproximadamente 52 Km; Por otro lado si el punto de partida es la ciudad de San Juan de Marcona la cual se ubica a 297 km de la mina hasta el cruce de la carretera interoceánica y la carretera asfaltada

de acceso a la mina 14.

Ilustración 28. Ubicación de las oficinas de Cosapi Minería



Fuente: Google Maps

Ilustración 29. Ubicación Mina 14 - Cosapi Minería



Fuente: Google Maps

3.1.2. Distritos Aledaños

San Juan de Marcona es el distrito más cercano a la concesión de Shougang Hierro Perú, ubicado aproximadamente a 30 Km, san juan de Marcona es uno de los distritos de la provincia de Nazca, Departamento de Ica, el distrito de san juan de Marcona se encuentra dentro de la jurisdicción de la administración del gobierno regional de Ica.

San Juan de Marcona presenta los siguientes poblados es sus diferentes limites, por el norte con el distrito de Nazca, por el sur con la ciudad de Caraveli perteneciente al departamento de Arequipa, por el este con la población de Lucanas (Departamento de Ayacucho) y por el oeste con el mar de Grau.

Ilustración 30. Distrito de la Ciudad de S.J. de Marcona



Fuente: Municipalidad de S.J. de Marcona

3.1.3. Meteorología, Relieve y Clima.

a) Meteorología

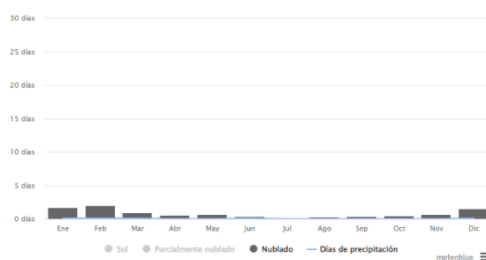
- Presión Atmosférica

La predicción para la presión del aire en la ciudad de san juan de Marcona (23 m.s.n.m,) ciudad que contiene la ubicación donde se llevara a cabo el estudio es de 1010 mb, Según el resultado arrojado del análisis por la entidad FORECA, nos indica que existe estabilidad climática en la zona.

- Nubosidad

La nubosidad en el litoral costero de la ciudad de San Juan de Marcona la nubosidad varía dependiendo las estaciones del año, por ejemplo podemos determinar que el periodo más nubloso corresponde a los meses de la época invernal, es decir entre los meses de junio y setiembre mientras que los demás meses presentan una nubosidad más tolerable

Tabla 05. Días Nublados de cada mes

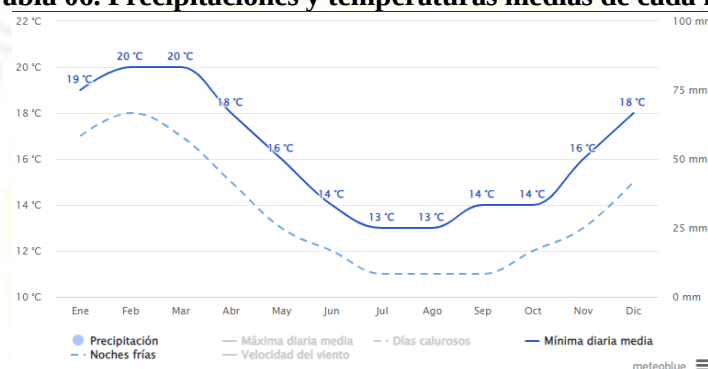


Fuente:Meteoblue

- **Precipitación**

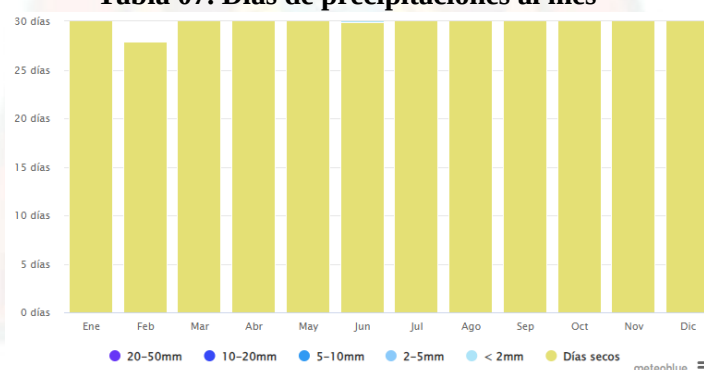
La precipitación pluvia varía hasta valores mínimos como por ejemplo en primavera alcanza los 10 mm. La ubicación de la zona que presenta la menor precipitación lluviosa es la zona ubicada entre el litoral matino y zona denominada Cuenca Senca, en dicha ubicación no cuenta con presencia de escorrentías superficiales en toda la zona y que su aporte a la zona de proyecto es nulo

Tabla 06. Precipitaciones y temperaturas medias de cada mes



Fuente: Meteoblue

Tabla 07. Días de precipitaciones al mes



Fuente: Meteoblue

- **Vientos**

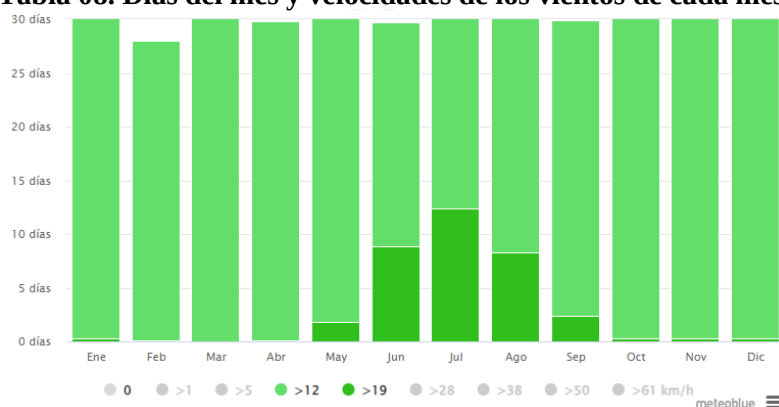
Velocidad de los Vientos

En el siguiente diagrama se muestra los días por mes en los que la ciudad de San Juan de Marcona presentaría vientos fuertes los cuales alcancen velocidades mayores a los 19 km/hr como máximo y velocidades mínimas mayores a los 12

km/hr.

Los meses donde se presentes mayor cantidad de días con vientos mayores a los 19 km/hr son entre los meses de mayo y setiembre, teniendo a Julio con el mes con más días de vientos mayores a los 19km/hr y regulares de Octubre a Abril

Tabla 08. Días del mes y velocidades de los vientos de cada mes.

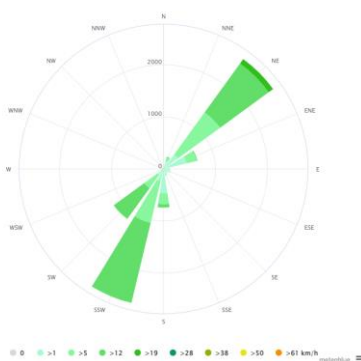


Fuente:Meteoblue

La rosa de los vientos

La rosa de los vientos para la ciudad de San Juan de Marcona nos muestra las horas al año que sopla el viento en dirección indicada.

Tabla 09. Dirección y horas en el que el viento sopla



Fuente:Meteoblue

b) Clima

Marcona presenta un clima árido y cálido, con mínimas precipitaciones, tal cual nos indica Meteouble, básicamente las características climáticas se deben a la ubicación geográfica del distrito poblado de San Juan de Marcona y la proximidad que tiene con el océano pacífico. La temperatura máxima en Marcona supera los 30° exclusivamente durante la estación del verano, la cual comprende los meses de enero a marzo y la mínima temperatura es de 16°C en los meses de julio a setiembre. Según la meteorología de Marcona se estima una temperatura promedio de 19°C hasta los 22°C, así como también presenta neblina a inicio y fines del año que producen un 100% de humedad en la ciudad.

Al presenciar cada cambio de estación del año se generan fuertes vientos con presencia de arena y tierra denominados “Vientos Paracas”, durante las estaciones de invierno y otoño los vientos del denominado fenómeno Paracas logran alcanzar los 58 Km/hr provenientes del suroeste.

c) Relieve

Se caracteriza por áreas desérticas, son características típicas de distritos ubicadas en la costa central y sur del Perú, en las cuales podemos hallar mesetas, pampas y altos cerros; ricos en minerales de hierro y cobre.

No olvidemos que la proximidad con el océano pacifico le permite a la ciudad de San Juan de Marcona tener una diversa riqueza marina a todo lo largo y ancho de su litoral, con amplias ensenadas, bahías y puntas que dan forma a una gran variedad de playas.

Ilustración 31. Playa Hermosa, Marcona



Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 22. Playa Los Leones, Marcona



Fuente: Elaboración Propia

3.2. Geología

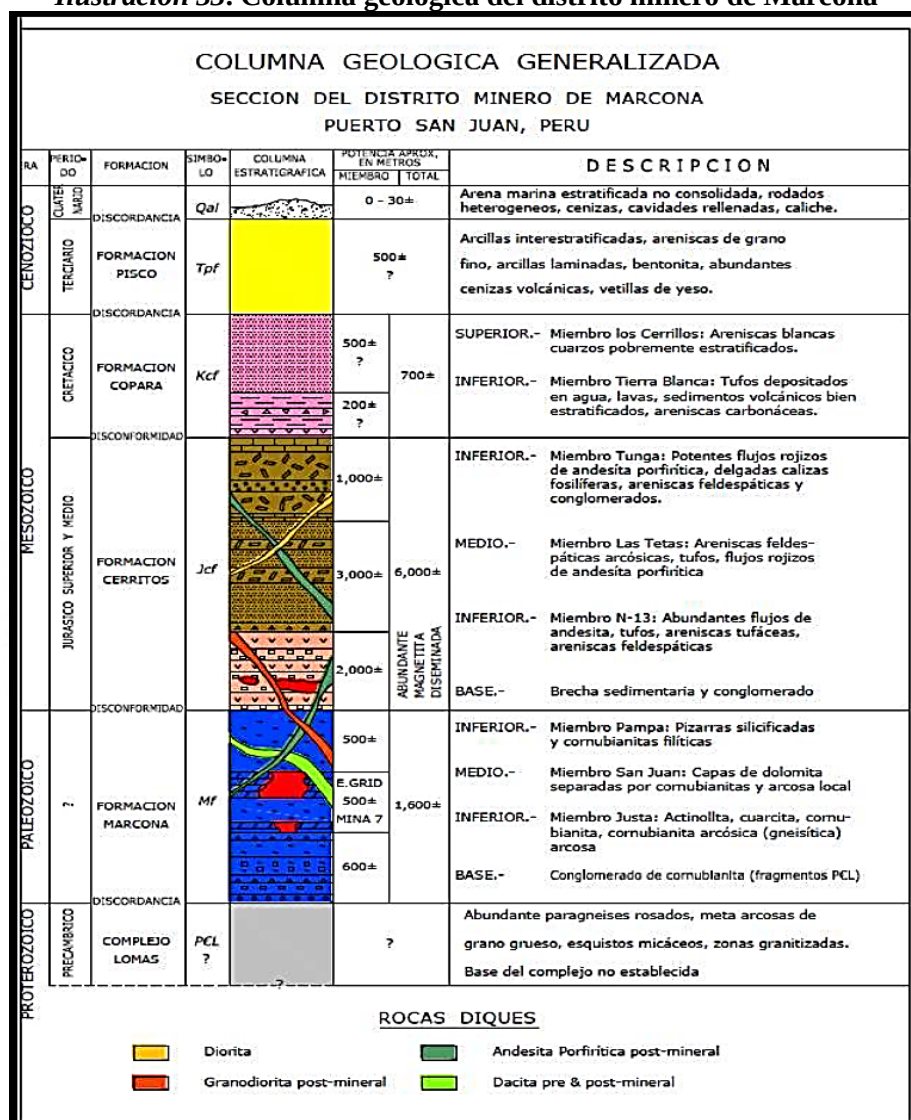
3.2.1. Geología Local

La geología de la ciudad de Marcona está formada por el batolito de granodiorita de la edad cretácico Superior, dicha zona pertenece a la cordillera de la costa. Dicho batolito instruyó principalmente a meta volcánicos mesozoico de edad Jurásica, metamórfico precámbricos, meta sedimentarios marinos paleozoicos del periodo carbonífero inferior, todas las cuales están muy metamorfoseados. Además, se encuentra tufos de sedimentos del cretácico inferior y superior, sedimento terciario muy poco inclinado y no muy consolidados.

Existen paralelamente numerosidad de rocas intrusivas ya sea capas, diques o derrames tabulares que cruzan y cortan todas las formaciones, la mayoría de estas rocas vienen siendo post mineral, el cual se considera un factor que conjuntamente con el fallamiento

existente se llega a producir estructuras complejas, acentuándose esta complejidad por los movimientos orógenos andinos del cretácico superior y terciario inferior.

Ilustración 33. Columna geológica del distrito minero de Marcona



Fuente: Determinación de equipos a corto plazo para el proceso a cielo abierto – Mina 5 – Compañía minera Shougang – Marcona – Perú.

3.2.2. Geología Regional

Los afloramientos de los yacimientos de la ciudad de San Juan de Marcona se encuentran entre los 600 msnm y los 700 msnm, presenta una altiplanicie extensa formando una plataforma de erosión marina que se encuentra ubicada en el terreno de la cadena costanera con erosión predominante y elevada, Desde el punto Oeste podemos ubicar

aproximadamente 28 terrazas litorales, dichas terrazas son ocasionadas por los movimientos costaneros durante las eras del terciario superior y el cuaternario de sollevamientos intermitentes del continente, además existe la posibilidad que se sea por un fallamiento que limita las zonas de contacto con el mar del pacifico, esto se da debido a que la región descrita tiene característica de no ser una región de sedimentación, la cual no ofrece mayores irregularidades topográfica, sino que es una penillanura con presencia de material de encapado aluvial no consolidado de rodados, arenas, gravas, restos fósiles salientes y fragmentos pulidos de minerales del hierro como consecuencia de las inundaciones marinas ocurridas en las eras antiguas.

Dicha zona es perteneciente a la denominada Cordillera de la costa, la cordillera de la costa está formada por el batolito de granidiorita de edad del cretácico superior y principalmente se instruyó en los depósitos de materiales metamórficos precámbricos, meta sedimentos paleozoicos de la era del carbón/ferro, metasedimentos terrestres y meta volcánicos mesozoicos de edad jurásica, las cuales están en condiciones de metamorfosis.

3.2.3. Estratigrafía

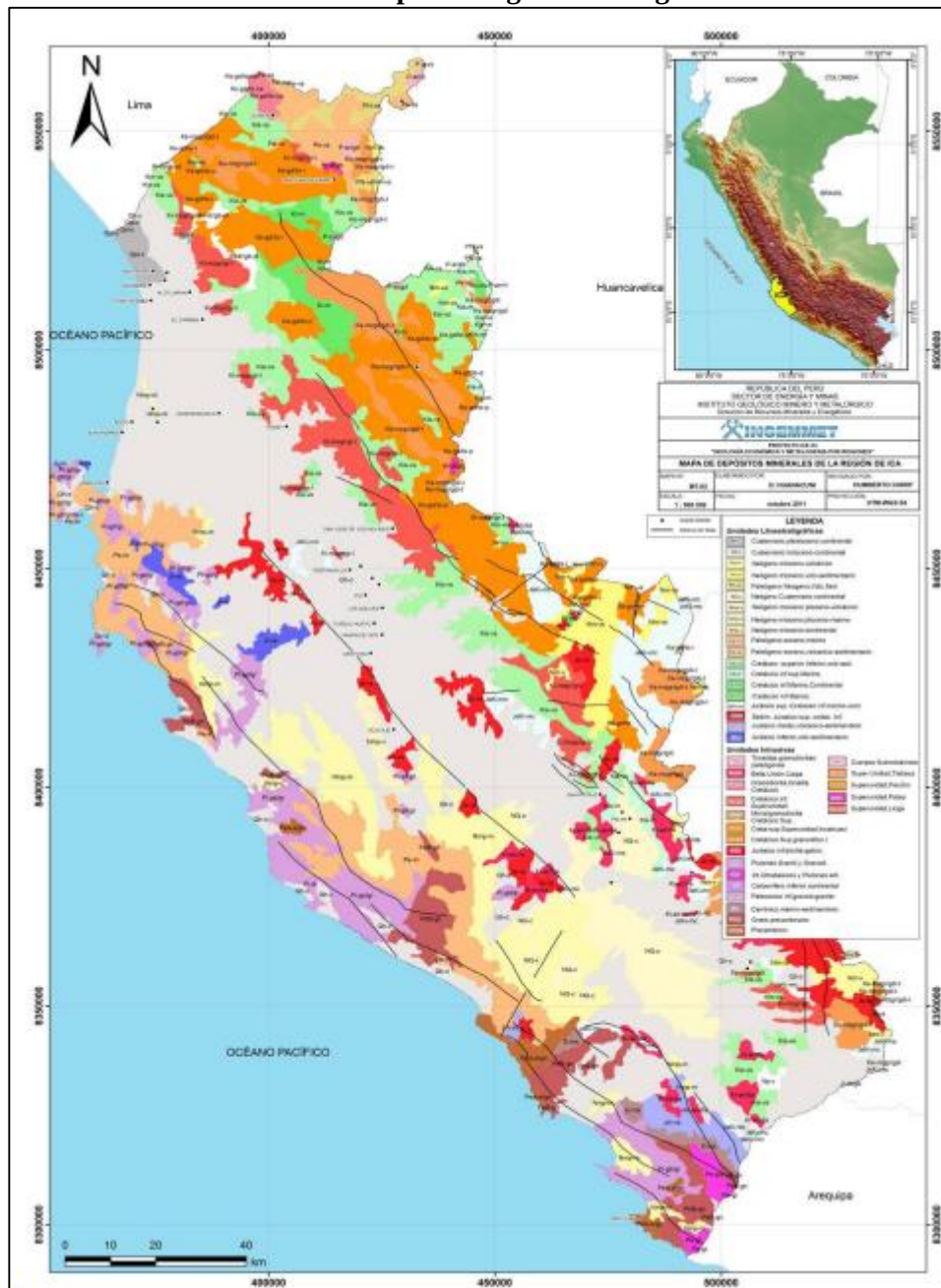
En la estratigrafía regional de la zona de estudio muestra las zonas con formaciones geológicas que más sobre yacen desde la formación con más antigüedad hasta las formaciones mas recientes. La estratigrafía de la ciudad de Marcona esta constituida por una variedad de rocas metamórficas de distintos tipos y clases del complejo Basal de la Costa, de formación regional como las formaciones de Rio Grande, las rocas sedimentarias de la formación de pisco, depósitos cuaternarios de origen residual, aluvial y eolicosresiduales, algunos de estos tipos de rocas cubren en ciertas zonas a las rocas intrusivas del batolito de san Nicolás, todas estas formaciones se describe en la siguiente imagen de la estratigrafía regional de San Juan de Marcona.

Ilustración 34. Columna Estratigráfica de la región de Ica

ERA	SERIE	FORMACION	LITOLOGIA	INTRUSIVO
CENOZOICO	CUATERNARIO		Amplias terrazas marinas, arenas eólicas; aluviones	
	MIOCENO-PLIOCENO	Fm. SENCCA	Tobas color claro a rosado de composición dacítica a ricitica	
		Fm. MILLO	Areniscas marinas y conglomerados poco consolidados	
	MIOCENO	Fm. PISCO	Predominancia de conglomerados, areniscas pardas a rojas, arcillas, estratos de bentonita y rocas volcánoclasticas	
MESOZOICO	APTIANO A ALBIANO INFERIOR (110 - 125 Ma) (Rango de edad de fósil)	Fm. COPARA (1000m)	Conglomerados acompañados de fragmentos volcánicos, arenisca foidospática, grauvaca rosacea y lutitas rojas. Tobas, flujo de lava, calizas.	Andesita
	NEOCOMIANO (125 - 140 Ma) (Rango de edad de fósil)	FORMACION YAUCA (1500m)	Arcillas, lutitas y areniscas	
	KIMMERIDIANO A TITONIANO (140 - 155 Ma) (Rango de edad de fósil)	FORMACION JAHUAY (1000m)	Aglomerados y brechas de flujo de lava, conglomerados, areniscas, cuarcitas, arcillas y lutitas. Silt de composición similar a los tujos de lava.	
	CALLOVIANO A OXFORDIANO (155 - 164) (Fósil por datación K-Ar)	SUPERIOR	Rocas porfíricas ricas en Potasio, andesitas calcocalcáneas. En menor proporción se encuentra una intercalación de conglomerados rojos, estratificación cruzada y areniscas volcánogénicas.	Dacita ?
	AELIANO A BAJOCIANO (160 - 179) (Rango de edad de fósil)	INFERIOR	Conglomerados rojos, areniscas conglomeráticas de granos medio a fino, arenisca conglomerática hincalada con lignimbritas, lutitas fosilíferas, areniscas calcáreas y tobas verdosas. (En la base del área de Marcona se encuentra brechas meta-volcánicas).	
		FORMACION CERRITOS A FORMACION MARCONA		
PRE - MESOZOICO	PALEOZOICO INFERIOR (> 425 Ma)	FORMACION MARCONA (1500m)	Conglomerado, mármol dolomítico, limolitas, areniscas, limolitas silicificadas con laminaciones de chert y vetillas de cuarzo, hornblenda y piroxenos metamorfizados	Bateño San Nicolás
	NEOPROTEROZOICO	FORMACION SAN JUAN (3000m)	Mármol dolomítico y esquistos de clorita. Centro: rocas pelíticas. Base: Esquistos calcáreos, mármol dolomítico, margas y turbiditas.	
	NEOPROTEROZOICO	FORMACION CHIQUERO	Tilitas con dolomitas en la parte superior.	
	PALEOZOICO A MESOPROTEROZOICO 940, 1200 and 1820 Ma metamorfismo (datación U-Pb)	MASIZO DE AREQUIPA	Gneis, granitos, migmatitas y esquistos intrudidos por varios eventos, se encuentra también diques pegmatíticos.	

Fuente: Determinación de equipos a corto plazo para el proceso a cielo abierto – Mina 5 – Compañía minera Shougang – Marcona – Perú.

Ilustración 35. Mapa Geológico de la región de Ica



Fuente: Memoria de la Geología económica de la región de Ica. INGEMMET

3.2.4. Geología Económica

En el distrito de Marcona se encuentra cerca de 117 cuerpos de mineral, los cuales se encuentran esparcidas en un área aproximadamente de 10 km por 15 km alojando depósitos aislados, con anchos y longitudes variables. Se encuentran depositadas en formaciones sedimentarias de la época paleozoica y jurásica, concordando a la vez con los estratos que lo limitan. Los cuerpos de mineralización presentan zoneamiento vertical

El mineral está compuesto principalmente de magnetita con disseminaciones de sulfuros los cuales se expusieron a demasiada oxidación y lixiviación debido al clima y las aguas subterráneas.

Está conformado de un 70% a 80% de hematita el material producto de la lixiviación, formada de la hematita proveniente de la magnetita primaria; la pirita concentrada influyó en el grado de lixiviación del material; es decir donde existió mayor presencia de pirita, la oxidación fue demasiado intensa dándose a formar la hematita ferrosa y la conocida magnetita residual.

3.2.5. Tipo de Yacimiento

La ciudad de Marcona tiene un yacimiento ferrífero, el cual se encuentra localizado dentro de la franja de yacimientos de Hierro y Cobre que son de tipo anfibolíticos, estos yacimientos se encuentran encajonados entre las series volcánicas de la formación del jurásico (Rio Grande), y en rocas de tipo meta sedimentarias pertenecientes a la formación mineralógica de la ciudad de Marcona. (Edad Pre – Ordoviciense), La actividad de sucesivos latidos hidrotermales, inicialmente procedentes de estratos profundos shoshoníticos y en segundo lugar generados por reservas monzograníticas en las calizas de la formación de Marcona, permitió penetrar el metamorfismo térmico asociado al centro volcánico del rift, dando origen a las formaciones de tipo skarn.

El hierro calcáreo “atípico”, superpuestos a eventos acoíticos tardíos del jahuay agregado Cu y latidos monzograníticos posterior a la formación de los minerales de la forma actual de los depósitos.

La mina incluye 117 cuerpos de magnetita como mineral económico, junto con la calcopirita y pirita-pirrotita, actinolita-epidota como minerales de ganga. Su edad de mineralización se sitúa entre el jurásico superior y el cretácico inferior.

3.2.6. Mineralogía

En la formación Marcona, son cuerpos estas formados en tipos mantos de mineral de hierro, siendo sus subproductos el cobre (Cu), Oro (Au) y la plata (Ag), se obtiene el mineral de hierro a partir de la magnetita.

Los mantos siguen dos estratos estratigráficos paralelos, el estrato Egrid tiene un aproximado de 150 metros a 2 metros de ancho. En las formaciones de Rio grande los cuerpos de yacimiento mineralógico se limitan a la parte inferior de dicha formación descrita, al igual que los revestimientos con hierro, el tamaño y en stockwork tienen contenido de cobre con magnetita y especularita, este contenido alcanza aproximadamente los 50°.

La secuencia paramagnética es representada por la formación inicial de calco silicatos de alta temperatura como los diópsido, cordierita y material de hornblenda en la formación Marcona y actinolita, la mineral epidota se ubica en la formación de Rio Grande, posterior se formaron la actinolita y la tremolita junto con la magnética según lo estimado en grandes cantidades. Algunos sulfuros como la pirrotita, pirita y la calcopirita son minerales ubicados dentro de la formación Rio Grande.

Durante todo este proceso se mineralización se forman minerales como esfena, rutilo, clorita y calcita, además se registraron trazas de cobre, cobalto y níquel. Se determinó que la edad de mineralización estaba entre 160 Ma y 156 Ma aproximadamente los cuales corresponden al periodo jurásico superior, es decir, ocurrió en la etapa final del vulcanismo del Rio grande cuando se inició la vaguada geológica andina.

El yacimiento de Marcona está clasificada como yacimiento de magnetita de skarn, la falta de relación entre los yacimientos metamórficos y los contactos intrusivos y su alteración y estén una dentro de la zona mineralizada, nos dan un indicador de que el depósito mineral no es de un depósito de skarn típico.

Se cree que el depósito de Marcona se formado en el campo geotérmico asociado con etapas posteriores del vulcanismo de la formación de Rio grande, la temperatura de formación inicial debe presentar mayores a 320°C.

3.2.6.1. Rumbo, buzamiento y potencia del yacimiento mineral

Los diversos yacimientos minerales que se encuentran en la zona minera de Marcona tienen a ser de tipo contacto, por lo cual sus yacimientos están bien definidos. Los yacimientos presentes en la ciudad de Marcona tienen un rumbo promedio de 45° al NorEste y buzamiento es de 44° NorOeste, la potencia de veta es variable debido a la profundidad y ubicación del yacimiento teniendo como margen desde los 30 metros a 200 metros aproximadamente.

3.2.6.2. Reservas Geológicas y minables

Para la estimación de reservas geológicas y minables se realizan perforaciones diamantinas de percusión, seguidamente de trabajos de exploración, desarrollos y explotación se determina las reservas detalladas a continuación. La metodología utilizada para la estimación de reservas minables se realiza en base al diseño, por lo tanto, tenemos tres tipos de reservas.

Reservas Geológicas: Para la estimación de dichas reservas se realizan perforaciones de exploración en todos los tajos operativos o inicio de proyectos para poder obtener todos los recursos de mineral probable.

Tabla 10. Estimado de reservas de mineral

ESTIMACION DE RESERVAS GEOLOGICAS			
DEPOSITO	PROBADO	PROBABLE	TOTAL GENERAL
MINA 14	81,657,848.0	30,762,947.0	112,420,795.0

Fuente: Tesis, estimación de equipos a corto plazo para el proceso a cielo abierto-Mina 5-Compañía minera Shougang -Marcona-Perú

Reservas minables al límite final probable: Son los recursos que se encuentran dentro del diseño óptimo de minado.

Reservas minables del talud actual: Es el material que se encuentra en proceso de minado en los taludes actuales, sin considerar los planes futuros para dichos taludes.

Tabla 11. Estimado de reservas minables

ESTIMACION DE RESERVAS GEOLOGICAS (Al límite final probable)				
DEPOSITO	MINERAL (Toneladas)	DESMONTE (Toneladas)	TOTAL GENERAL (Toneladas)	RATIO (TM Desm/ TM Min)
MINA14	69,230,444	142,436,597	211,667,041	2.06

Fuente: Tesis, estimación de equipos a corto plazo para el proceso a cielo abierto-Mina 5-Compañía minera Shougang -Marcona-Perú

3.3. Operaciones mina

3.3.1. Método de minado

La mina 14 se explota mediante fases o también conocidos como push backs, también se utiliza el método de bancos o a tajo abierto el cual pertenece a los métodos de minado en superficie para extraer minerales metálicos y no metálicos exactamente desde la superficie utilizando superficies planas y niveladas para poder llegar a los depósitos formando un cono invertido.

3.3.2. Parámetros de diseño y producción.

En mina 14 la altura de banco es de 15 metros con sub drilling para mineral de 1.5 mts y para desmonte de 1.0, las rampas de diseño presentan una gradiente de 10%, anchos de rampas de 21 metros, los taludes finales presentan hasta 70° y banquetas de 5 metros aplicadas al doble banco.

La producción diaria de material minado es de 150,000 TM para desmonte y 60,000 TM para mineral

3.3.3. Descripción del proceso productivo.

El proceso productivo de la mina consta de las siguientes etapas.

3.3.3.1. Exploración.

Es la búsqueda del yacimiento a través de equipos de perforación diamantina con la finalidad de saber las características cuantitativas y cualitativas del yacimiento mineral de hierro del Tajo Mina 14 (Shougang Hierro Perú)

3.3.3.2. Perforación

La perforación es una actividad consistente en la realización de taladros en una superficie rocosa con el fin de distribuir la carga explosiva a lo largo del taladro con el fin de extraer el material de interés en fragmentos óptimos para las posteriores actividades del ciclo de minado, existen dos tipos de perforación

a) Perforación Primaria: La perforación primaria son los taladros de producción que se perforan a la altura de bancos completos, se emplean equipos de perforación de gran dimensión (1190E)

b) Perforación secundaria: Es la perforación post voladura que se realiza a los TOES del piso y los fragmentos de mayor dimensión. Se emplean equipos de perforación de gran dimensión (FlexiRoc D65)

3.3.3.3. Voladura

La voladura consta de realizar el primado de los taladros con accesorios de voladura (Booster, Fanel, detonador electrónico), el carguío con la mezcla explosiva resultado de la mezcla de materias primas (Nitrato, Emulsión y Diesel), el amarre con los retardos de superficie ya coordinado previamente con el personal encargados de la voladura y por último la chispeo o detonación del proyecto mediante carmex o detonación electrónica respectivamente.

3.3.3.4. Carguío

La actividad del carguío consta del levantamiento del material volado mediante equipos de gran dimensión (Palas o Excavadoras) hacia las tolvas de los camiones mineros o volquetes, los cuales disponen el material en la chancadora primaria o en los botaderos dependiendo del material cargado. Las palas se trasladan sobre orugas y son equipos eléctricos lo cual significa que el costo de tonelada movida es menor a comparación de un equipo Diesel.

3.3.3.5. Acarreo

Esta actividad consiste en transportar el material fragmentado una vez realizado el carguío sobre las tolvas de los camiones mineros o de los volquetes indistintamente. La disposición final del material que se realiza el carguío sobre las tolvas de los equipos de acarreo de material será en la chancadora de ser material de mineral de hierro (Alta Ley y Baja Ley) o algún botadero de ser desmonte (Material sin interés de comercialización).

3.3.3.6. Equipos Auxiliares

En Cosapi Minería se cuenta con equipos auxiliares (Cargador frontal, Motoniveladora, Tractor orugas) para realizar los distintos trabajos, por ejemplo:

- Habilitación de plataforma de perforación
- Nivelación de la plataforma de perforación
- Colocación de muro de seguridad

CAPITULO IV

METODOLOGIA DE INVESTIGACION

4.1. Tipo de Investigación

El siguiente proyecto de investigación hace énfasis a la investigación experimental y aplicada, con el diseño cuasi experimental, en este tipo de investigación se realiza la toma de datos que correspondan a la productividad de las brocas (Metros perforados, Tiempos de perforación) los cuales se identifican en dos tipos de terreno (Mineral y Desmonte) que se presentan en el tajo Mina 14, las brocas en estudio serán de dos empresas PDB Tools y Sandvik con los modelos GX 722 y X47 respectivamente.

Recopilado los datos de productividad de las brocas de ambos proveedores se realizó una evaluación técnica económica en base a la productividad de ambas brocas, además se tomó en consideración los costos horarios de perforación de los equipos 1190E Sandvik y el costo de las brocas de cada proveedor independientemente.

En concordancia con Vargas Cordero (2009), docente de la maestría en orientación la universidad de costa rica nos da a conocer que la investigación de tipo aplicada se bases netamente en el análisis de la problemática y la solución del problema de diferentes indoles de la vida real y cotidiana. A la vez se alimenta de nuevos avances científicos la cual es caracterizada por el interés en la aplicación de los conocimientos. Es una forma de obtener información de la realidad mediante pruebas científicas; es necesario contar con un marco teórico, sobre el cual se construirá una solución al problema en particular que se desea resolver. Según Palella y Martins (2012), El diseño experimental implica la manipulación de una variable experimental no confirmada en condiciones estrictamente controladas, Con el propósito de explicar cómo y porque causa ocurre o la posibilidad de ocurrir un fenómeno. Tiene como objetivo predecir el futuro y formular pronósticos que, una vez validados, se transforman en leyes y generalizaciones con el fin de aumentar el conjunto de conocimientos

pedagógicos y mejorar la acción. Además, se lleva a cabo un análisis comparativo de la cantidad de metros perforados en diferentes tipos de terrenos, utilizando los datos de las brocas utilizadas en el proceso de perforación, lo que resulta en un diseño cuasi experimental.

Así mismo el presente estudio de investigación en relación a Hernández, Fernández y Baptista (2010) la aplicación de este método se basa en la aplicación práctica de lo verificado en la investigación pura de la problemática, es decir, propone la aplicación y puesta en práctica de los conocimientos, y su objetivo principal es proponer mejoras en la toma de decisiones respecto a la problemática de esta investigación.

4.2. Nivel de Investigación

La siguiente tesis es una investigación de nivel descriptivo porque busca identificar las características del fenómeno de estudio, medir y evaluar datos sobre varios conceptos y luego relacionar las variables entre sí.

Se llevará a cabo la investigación de nivel explicativo, en concordancia con Arias, quien señala que este nivel de investigación tiene como propósito el analizar el motivo de los sucesos ocurridos del fenómeno tratado en la problemática el cual se va a investigar, es decir no solo investiga y describe situaciones, sino también responde y verifica lo ocurrido, lo cual impulsará la creación de la relación causa efecto del suceso.

4.3. Diseño de Investigación.

El diseño de investigación del presente trabajo de investigación será un diseño de investigación experimental, en concordancia con Hernández, Fernández y Baptista (2014) indicando que este diseño de investigación se basa en la manipulación deliberada de una de las variables; a la que se le denomina independiente; lo cual va a tener un impacto significativo en la variable dependiente. En consecuencia, la investigación se centra en la evaluación de las brocas tricónicas de ambos proveedores y los resultados que se obtengan en Tajo Mina 14 – Shougang Hierro Perú, en la contrata minera Cosapi Minería S.A.

El esquema para el siguiente diseño de investigación es:

G.E.:	X	O
--------------	----------	----------

Donde:

G.E: Grupo Experimental

X: Estimulo Experimental (Análisis de los rendimientos de las brocas de ambos proveedores)

O: Postest del grupo experimental (Mejora en los procesos de perforación)

4.4. Población y Muestra

4.4.1. Población

La población está constituida por 120 brocas de 11” que Cosapi Minería utilizó para el proceso de perforación.

4.4.2. Muestra

Para el cálculo de la muestra se utilizó la siguiente formula: $x = NM/D$, donde

$NM = N * Z^2 * P * Q$ y $D = e^2 * (N-1) + (Z^2) * P * Q$, siendo:

x = número de muestra

N = Tamaño de la población = 120

Z = Parámetro estadístico que depende el nivel de confianza = 95% (1.96)

e = Error de estimación máximo aceptado = 8% (0.08)

P = Probabilidad de que ocurra el evento estudiado (éxito) = 81% (0.81)

Q = (P-1) Probabilidad de que no ocurra el evento deseado = 19% (0.19)

D = Denominador

NM = Numerador

Realizamos la ecuación:

$$NM = 120 \times 1.96 \times 1.96 \times 0.81 \times 0.19$$

$$NM = 70.95$$

$$D = (0.08 \times 0.08) \times (120-1) + (1.96 \times 0.81 \times 0.19)$$

$$D = 1.35$$

$$NM/D = x = 52$$

Se obtuvo como resultado una muestra de brocas, las cuales de repartida de forma homogénea (26 brocas PDB Tools serie GX722 y 26 brocas SANDVIK serie X47) para realizar la estimación técnica económica.

4.5. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

4.5.1. Observación directa

Mediante la observación directa en el campo, se pudo apreciar la disparidad en el progreso de metros perforados y la productividad correspondiente a las brocas tricónicas GX 722 del proveedor PDB y las brocas tricónicas X47 del proveedor SANDVIK, debido a la productividad que ambas poseían en los dos tipos de terreno identificados en el macizo rocoso en el que se llevan a cabo las operaciones.

Así mismo, la duración de las brocas X47 y GX 722 presentaba un alto porcentaje de variación, por lo tanto, se determinó llevar a cabo este estudio de investigación.

4.5.2. El fichaje

Según Valderrama (2013), la técnica del fichaje es la que va recopilar la información importante y pertinente del fenómeno el cual se va a estudiar referente a la productividad de las brocas, esto se va a realizar a través de los reportes de perforación, los cuales serán

necesarios para poder describir y analizar el futuro comportamiento de sus propios rendimientos.

4.6. Instrumentos de recolección de datos.

4.6.1. Los reportes

El objetivo principal del reporte de perforación es recolectar toda la información que se requiera para realizar el análisis de cada broca a evaluar, debe contener datos importantes como los metros perforados, el tiempo de perforación que se emplea por taladro, los materiales que se está perforando y su longitud por material perforado, a partir de estos datos se puede obtener la siguiente información como la velocidad de penetración, pudiendo relacionarla con el costo horario del equipo y poder determinar un costo de perforación adecuado, el cual nos va a indicar que el proveedor que obtenga un menor TDC representa menor costo por metro perforado lo que a su vez significa una optimización en el proceso de perforación.

4.7. Técnicas e interpretación de datos.

Como indica U. Maria, A. Wileidys, posterior de la recolección de datos obtenidos en campo en los instrumentos indicados, de proceder a organizar para determinar la ubicación de la población y muestra, la cual, está representada por todas las unidades de análisis representativas como caso de estudio, y a continuación procesarlos estadísticamente para finalmente realizar representarlas en gráficos para su interpretación en relación con los indicadores señalados. (2016).

CAPITULO V

RESULTADOS DEL ANALISIS

5.1. Resultados de los metros perforados.

A continuación, se detalla los resultados de los metros perforados por cada tricono (SANDVIK X47 y PDB GX722), así mismo se presenta el análisis realizado de los datos recolectados de campo y los datos brindados por los proveedores.

5.1.1. Análisis del total de metros perforados

Los datos que se recolectaron para la evaluación de rendimientos son del periodo Setiembre a diciembre del 2023.

5.1.1.1. Brocas tricónicas de 11” GX 722 del proveedor PDB Tools

Tabla 12. Rendimientos de las brocas GX 722 del proveedor PDB Tools

RENDIMIENTOS DE LAS BROCAS GX722 - PDB TOOLS						
MES	MODELO	MARCA	DIAMETRO	CODIGO IADC	SERIE	TOTALES (Mts)
SETIEMBRE	1190E	PDB TOOLS	11"	GX722	P-C603321	2,023.5
SETIEMBRE	1190E	PDB TOOLS	11"	GX722	P-C603342	1,724.7
SETIEMBRE	D75KS	PDB TOOLS	11"	GX722	P-C603319	1,376.8
SETIEMBRE	D75KS	PDB TOOLS	11"	GX722	P-C603356	1,647.6
SETIEMBRE	D75KS	PDB TOOLS	11"	GX722	P-C603314	2,177.3
OCTUBRE	1190E	PDB TOOLS	11"	GX722	P-C602618	1,717.3
OCTUBRE	D75KS	PDB TOOLS	11"	GX722	P-C602350	1,942.9
OCTUBRE	D75KS	PDB TOOLS	11"	GX722	P-C603416	1,543.0
OCTUBRE	D75KS	PDB TOOLS	11"	GX722	P-C602985	2,005.5
OCTUBRE	D75KS	PDB TOOLS	11"	GX722	P-C603111	2,517.9
OCTUBRE	D75KS	PDB TOOLS	11"	GX722	P-C603118	1,709.4
NOVIEMBRE	D75KS	PDB TOOLS	11"	GX722	P-C603108	2,187.9
NOVIEMBRE	D75KS	PDB TOOLS	11"	GX722	P-C603147	2,182.6
NOVIEMBRE	1190E	PDB TOOLS	11"	GX722	P-C602390	1,864.1
NOVIEMBRE	1190E	PDB TOOLS	11"	GX722	P-C602395	2,188.5
NOVIEMBRE	1190E	PDB TOOLS	11"	GX722	P-C603107	1,675.6
DICIEMBRE	1190E	PDB TOOLS	11"	GX722	P-C603141	1,774.9
DICIEMBRE	D75KS	PDB TOOLS	11"	GX722	P-C602394	1,424.9
DICIEMBRE	D75KS	PDB TOOLS	11"	GX722	P-C603144	1,735.8
DICIEMBRE	D75KS	PDB TOOLS	11"	GX722	P-C603145	1,358.8
DICIEMBRE	1190E	PDB TOOLS	11"	GX722	P-C603120	1,253.2
DICIEMBRE	1190E	PDB TOOLS	11"	GX722	P-C603305	1,656.5
DICIEMBRE	1190E	PDB TOOLS	11"	GX722	P-C603312	1,959.9
DICIEMBRE	D75KS	PDB TOOLS	11"	GX722	P-C603304	2,976.8
DICIEMBRE	D75KS	PDB TOOLS	11"	GX722	P-C603306	1,398.5
DICIEMBRE	D75KS	PDB TOOLS	11"	GX722	P-C603324	1,353.5
TOTAL METROS PERFORADOS						47,377.3

Fuente: Elaboración propia – Datos de campo

5.1.1.2. Brocas tricónicas de 11” x47 del proveedor SANDVIK

Tabla 13. Rendimientos de las brocas GX 722 del proveedor SANDVIK

RENDIMIENTOS DE LAS BROCAS X47 - SANDVIK						
MES	MODELO	MARCA	DIAMETRO	CODIGO IADC	SERIE	TOTALES (Mts)
SETIEMBRE	1190E	SANDVIK	11"	X47	S-C23I0683	1,531.9
SETIEMBRE	1190E	SANDVIK	11"	X47	S-C23I0687	1,744.7
SETIEMBRE	D75KS	SANDVIK	11"	X47	S-C23I0682	1,608.6
SETIEMBRE	D75KS	SANDVIK	11"	X47	S-C23I0710	1,454.6
SETIEMBRE	D75KS	SANDVIK	11"	X47	S-C23I0746	1,226.2
SETIEMBRE	1190E	SANDVIK	11"	X47	S-C23I0684	1,470.7
SETIEMBRE	1190E	SANDVIK	11"	X47	S-C23I0700	1,511.2
SETIEMBRE	D75KS	SANDVIK	11"	X47	S-C23I0681	1,471.7
OCTUBRE	D75KS	SANDVIK	11"	X47	S-C23I0875	1,492.3
OCTUBRE	1190E	SANDVIK	11"	X47	S-C22D0912	1,403.0
OCTUBRE	D75KS	SANDVIK	11"	X47	S-C22D0910	2,146.1
OCTUBRE	1190E	SANDVIK	11"	X47	S-C23B0647	1,674.1
OCTUBRE	1190E	SANDVIK	11"	X47	S-C23C0659	1,712.4
OCTUBRE	D75KS	SANDVIK	11"	X47	S-C23B0644	2,201.5
OCTUBRE	D75KS	SANDVIK	11"	X47	S-C23B0645	2,241.9
NOVIEMBRE	D75KS	SANDVIK	11"	X47	S-C23C0655	1,559.4
NOVIEMBRE	1190E	SANDVIK	11"	X47	S-C23B0380	1,401.1
NOVIEMBRE	1190E	SANDVIK	11"	X47	S-C23E0379	1,649.7
NOVIEMBRE	1190E	SANDVIK	11"	X47	S-C23E0381	1,720.0
NOVIEMBRE	D75KS	SANDVIK	11"	X47	S-C23E0383	1,661.3
NOVIEMBRE	D75KS	SANDVIK	11"	X47	S-C23E0389	1,401.5
NOVIEMBRE	D75KS	SANDVIK	11"	X47	S-C23E0390	2,026.4
DICIEMBRE	D75KS	SANDVIK	11"	X47	S-C23E0377	1,614.9
DICIEMBRE	1190E	SANDVIK	11"	X47	S-C23H0336	1,952.9
DICIEMBRE	1190E	SANDVIK	11"	X47	S-C23H0528	1,499.9
DICIEMBRE	D75KS	SANDVIK	11"	X47	S-C23H0339	1,593.4
TOTAL METROS PERFORADOS						42,971.2

Fuente: Elaboración propia – Datos de campo

Como se puede evidenciar respecto a las brocas del proveedor PDB Tools el rendimiento máximo alcanza son los 2,976.8 metros y como rendimiento mínimo 1,253.2 metros. Así mismo analizando las brocas de SANDVIK tienen como rendimiento máximo 2,241.9 metros y su rendimiento mínimo es de 1,226.2 metros.

Luego de analizar los resultados obtenidos en cuanto a rendimientos de ambos proveedores en relación a la cantidad de metros perforados por las brocas GX 722 PDB Tools y las brocas X47 de SANDVIK presentadas en la tabla 12 y tabla 13 respectivamente, se tiene un total de 47,377.3 metros para la broca GX 722 de PDB y un total de 42,971.2 metros para la broca X47 de SANDVIK, ambos proveedores superan los 40,000 metros en el periodo de Setiembre a diciembre del 2023.

Teniendo los datos de totales perforados de ambas brocas se realizó un análisis comparativo sobre los metros perforados totales por cada material (Desmante y Mineral).

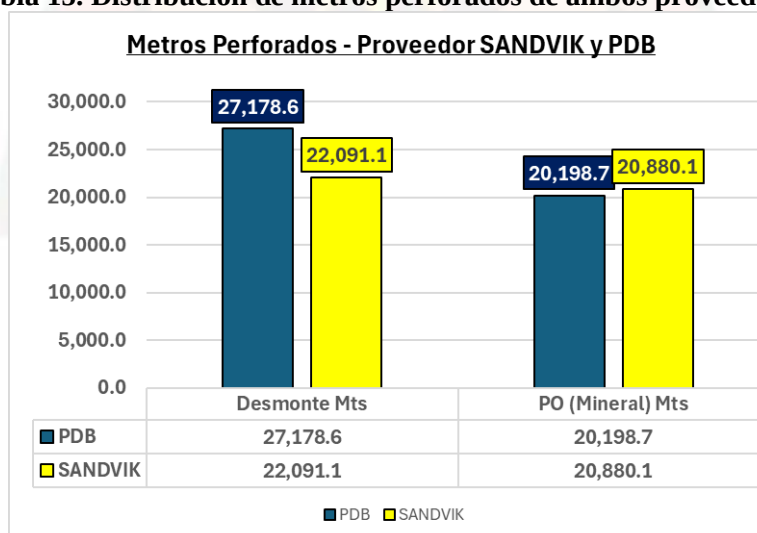
Tabla 14. Metros totales perforados por material

PROVEEDOR	Desmante Mts	PO (Mineral) Mts	TOTAL Mts
PDB	27,178.6	20,198.7	47,377.3
SANDVIK	22,091.1	20,880.1	42,971.2

Fuente: Elaboración propia – Datos de campo

Podemos observar en los resultados que se obtuvo del análisis de los datos recopilados de campo que las brocas GX 722 del proveedor PDB Tools realizaron mayor producción en general, cabe resaltar que presentan mayor producción en desmante; sin embargo la broca X47 presenta una producción ligeramente mayor en un 3% en material de mineral, Dicha diferencia se debe a que el rápido desgaste generado en las brocas X47 de SANDVIK en determinados periodos de tiempos se optó solo por utilizar las brocas GX 722 de PDB Tools, esto es debido a sus buenos rendimientos de vida útil. A continuación, se muestra la gráfica de comparativo de rendimientos por material de ambas brocas.

Tabla 15. Distribución de metros perforados de ambos proveedores.



Fuente: Elaboración propia – Datos de campo

5.2. Resultado del análisis comparativo de la velocidad de penetración.

Una vez recolectado los datos en campo, se procedió a realizar el análisis de las velocidades de penetración por cada broca y de cada proveedor, a continuación, se detallan las velocidades en distintos tipos de materiales de cada broca perteneciente a la muestra.

5.2.1. Rendimientos por materiales y su velocidad de penetración.

5.2.1.1. Análisis de las brocas del proveedor PDB Tools

Tabla 16. Metros perforados y ROP por material – Proveedor PDB Tools

RENDIMIENTOS DE LAS BROCAS GX722 - PDB TOOLS x MATERIALES												
MES	MODELO	MARCA	DIAMETRO	CODIGO IADC	SERIE	TOTALES (Mts)	Σ DESM Mts	Σ DESM Hrs	Σ PO Mts	Σ PO Hrs	ROP Desmorte (Mts/Hr)	ROP Mineral (Mts/Hr)
SEPTIEMBRE	1190E	PDB TOOLS	11"	GX722	P-C603321	2,023.5	902.70	27.42	1120.77	40.90	32.92	27.40
SEPTIEMBRE	1190E	PDB TOOLS	11"	GX722	P-C603342	1,724.7	483.12	18.73	1241.55	52.08	25.80	23.84
SEPTIEMBRE	D75KS	PDB TOOLS	11"	GX722	P-C603319	1,376.8	255.42	10.82	1121.40	60.18	23.62	18.63
SEPTIEMBRE	D75KS	PDB TOOLS	11"	GX722	P-C603356	1,647.6	336.69	13.11	1310.94	74.24	25.69	17.66
SEPTIEMBRE	D75KS	PDB TOOLS	11"	GX722	P-C603314	2,177.3	1635.66	74.74	541.62	19.87	21.88	27.26
OCTUBRE	1190E	PDB TOOLS	11"	GX722	P-C602618	1,717.3	1717.29	65.75	0.00	0.00	26.12	
OCTUBRE	D75KS	PDB TOOLS	11"	GX722	P-C602350	1,942.9	1146.96	70.32	795.96	51.15	16.31	15.56
OCTUBRE	D75KS	PDB TOOLS	11"	GX722	P-C603416	1,543.0	866.79	34.25	676.17	39.71	25.31	17.03
OCTUBRE	D75KS	PDB TOOLS	11"	GX722	P-C602985	2,005.5	578.34	22.80	1427.13	72.40	25.36	19.71
OCTUBRE	D75KS	PDB TOOLS	11"	GX722	P-C603111	2,517.9	1519.11	78.68	998.82	56.46	19.31	17.69
OCTUBRE	D75KS	PDB TOOLS	11"	GX722	P-C603118	1,709.4	983.97	40.90	725.40	38.19	24.06	19.00
NOVIEMBRE	D75KS	PDB TOOLS	11"	GX722	P-C603108	2,187.9	1069.29	47.99	1118.61	60.60	22.28	18.46
NOVIEMBRE	D75KS	PDB TOOLS	11"	GX722	P-C603147	2,182.6	1915.20	81.95	267.39	14.77	23.37	18.10
NOVIEMBRE	1190E	PDB TOOLS	11"	GX722	P-C602390	1,864.1	1202.58	42.47	661.50	23.50	28.31	28.15
NOVIEMBRE	1190E	PDB TOOLS	11"	GX722	P-C602395	2,188.5	588.42	24.85	1600.11	66.57	23.68	24.04
NOVIEMBRE	1190E	PDB TOOLS	11"	GX722	P-C603107	1,675.6	1533.69	54.15	141.93	5.37	28.33	26.42
DICIEMBRE	1190E	PDB TOOLS	11"	GX722	P-C603141	1,774.9	1774.89	64.33	0.00	0.00	27.59	
DICIEMBRE	D75KS	PDB TOOLS	11"	GX722	P-C602394	1,424.9	553.14	27.23	871.74	47.72	20.31	18.27
DICIEMBRE	D75KS	PDB TOOLS	11"	GX722	P-C603144	1,735.8	1246.14	65.71	489.69	25.20	18.96	19.43
DICIEMBRE	D75KS	PDB TOOLS	11"	GX722	P-C603145	1,358.8	798.57	35.02	560.25	31.87	22.80	17.58
DICIEMBRE	1190E	PDB TOOLS	11"	GX722	P-C603120	1,253.2	386.37	17.85	866.79	31.82	21.65	27.24
DICIEMBRE	1190E	PDB TOOLS	11"	GX722	P-C603305	1,656.5	525.06	10.12	1131.39	37.91	51.91	29.85
DICIEMBRE	1190E	PDB TOOLS	11"	GX722	P-C603312	1,959.9	1379.79	38.38	580.14	17.57	35.95	33.02
DICIEMBRE	D75KS	PDB TOOLS	11"	GX722	P-C603304	2,976.8	2976.75	136.68	0.00	0.00	21.78	
DICIEMBRE	D75KS	PDB TOOLS	11"	GX722	P-C603306	1,398.5	218.43	11.38	1180.08	68.23	19.20	17.29
DICIEMBRE	D75KS	PDB TOOLS	11"	GX722	P-C603324	1,353.5	584.19	28.21	769.32	41.16	20.71	18.69
TOTAL METROS PERFORADOS						47,377.3	27,178.6	1,143.8	20,198.7	977.5	23.28	20.25

Fuente: Elaboración propia – Análisis de los datos de campo

El siguiente análisis nos indica que el proveedor PDB Tools tiene una mediana de velocidad de penetración de 23.6 mts/hr para material de desmorte, siendo un 9% menos que el proveedor SANDVIK. Analizando en los datos de campo para material de mineral respecto a las velocidades de penetración, se tiene que la mediana de la velocidad de penetración para mineral del proveedor SANDVIK supera por 3.2 mts/hr al proveedor PDB Tools.

5.2.1.2. Análisis de las brocas del proveedor SANDVIK

Tabla 17. Metros perforados y ROP por material – Proveedor SANDVIK

RENDIMIENTOS DE LAS BROCAS X47 - SANDVIKx MATERIALES												
MES	MODELO	MARCA	DIAMETRO	CODIGO IADC	SERIE	TOTALES (Mts)	Σ DESM Mts	Σ DESM Hrs	Σ PO Mts	Σ PO Hrs	ROP Desmonte (Mts/Hr)	ROP Mineral (Mts/Hr)
SEPTIEMBRE	1190E	SANDVIK	11"	X47	S-C23I0683	1,531.9	79.74	4.67	1452.15	55.81	17.07	26.02
SEPTIEMBRE	1190E	SANDVIK	11"	X47	S-C23I0687	1,744.7	748.89	23.01	995.76	41.35	32.54	24.08
SEPTIEMBRE	D75KS	SANDVIK	11"	X47	S-C23I0682	1,608.6	800.46	29.44	808.11	36.35	27.19	22.23
SEPTIEMBRE	D75KS	SANDVIK	11"	X47	S-C23I0710	1,454.6	1175.49	54.79	279.09	12.83	21.45	21.76
SEPTIEMBRE	D75KS	SANDVIK	11"	X47	S-C23I0746	1,226.2	495.99	27.30	730.17	42.98	18.17	16.99
SEPTIEMBRE	1190E	SANDVIK	11"	X47	S-C23I0684	1,470.7	687.69	18.76	783.00	25.52	36.66	30.69
SEPTIEMBRE	1190E	SANDVIK	11"	X47	S-C23I0700	1,511.2	1198.44	41.13	312.75	14.35	29.14	21.79
SEPTIEMBRE	D75KS	SANDVIK	11"	X47	S-C23I0681	1,471.7	812.16	41.69	659.52	33.93	19.48	19.44
OCTUBRE	D75KS	SANDVIK	11"	X47	S-C23I0875	1,492.3	332.10	15.16	1160.19	68.36	21.91	16.97
OCTUBRE	1190E	SANDVIK	11"	X47	S-C22D0912	1,403.0	1403.01	38.27	0.00	0.00	36.66	
OCTUBRE	D75KS	SANDVIK	11"	X47	S-C22D0910	2,146.1	1277.55	58.99	868.50	31.71	21.66	27.39
OCTUBRE	1190E	SANDVIK	11"	X47	S-C23B0647	1,674.1	1474.20	41.65	199.89	6.95	35.39	28.77
OCTUBRE	1190E	SANDVIK	11"	X47	S-C23C0659	1,712.4	447.57	14.96	1264.86	49.42	29.91	25.59
OCTUBRE	D75KS	SANDVIK	11"	X47	S-C23B0644	2,201.5	1489.95	55.72	711.54	39.55	26.74	17.99
OCTUBRE	D75KS	SANDVIK	11"	X47	S-C23B0645	2,241.9	1121.67	55.97	1120.23	45.99	20.04	24.36
NOVIEMBRE	D75KS	SANDVIK	11"	X47	S-C23C0655	1,559.4	468.09	23.22	1091.34	58.52	20.16	18.65
NOVIEMBRE	1190E	SANDVIK	11"	X47	S-C23B0380	1,401.1	783.54	25.60	617.58	27.91	30.60	22.13
NOVIEMBRE	1190E	SANDVIK	11"	X47	S-C23E0379	1,649.7	575.73	20.06	1073.97	40.78	28.71	26.34
NOVIEMBRE	1190E	SANDVIK	11"	X47	S-C23E0381	1,720.0	1202.13	35.32	517.86	18.71	34.04	27.68
NOVIEMBRE	D75KS	SANDVIK	11"	X47	S-C23E0383	1,661.3	693.09	33.55	968.22	52.10	20.66	18.58
NOVIEMBRE	D75KS	SANDVIK	11"	X47	S-C23E0389	1,401.5	1401.48	56.51	0.00	0.00	24.80	
NOVIEMBRE	D75KS	SANDVIK	11"	X47	S-C23E0390	2,026.4	1778.31	72.56	248.13	12.64	24.51	19.64
DICIEMBRE	D75KS	SANDVIK	11"	X47	S-C23E0377	1,614.9	445.95	19.43	1168.92	77.81	22.96	15.02
DICIEMBRE	1190E	SANDVIK	11"	X47	S-C23H0336	1,952.9	128.43	4.22	1824.48	70.14	30.45	26.01
DICIEMBRE	1190E	SANDVIK	11"	X47	S-C23H0528	1,499.9	929.34	35.33	570.60	21.07	26.30	27.08
DICIEMBRE	D75KS	SANDVIK	11"	X47	S-C23H0339	1,593.4	140.13	8.23	1453.23	86.21	17.04	16.86
TOTAL METROS PERFORADOS						42,971.2	22,091.1	855.5	20,880.1	971.0	24.85	21.07

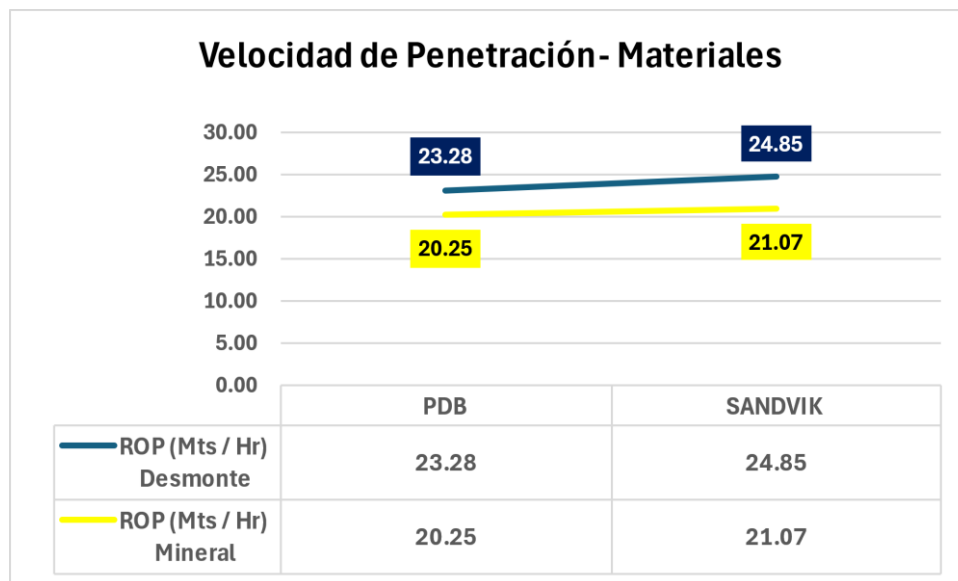
Fuente: Elaboración propia – Análisis de los datos de campo

Para las brocas de 11" de SANDVIK se obtienen medianas de 25.6 mts/hr y 22.2 Mts/hrs para los materiales de desmonte y mineral respectivamente.

5.2.1.3. Velocidad de penetración del periodo de investigación.

Para la determinación de la siguiente grafica se tomará en cuenta todos los metros perforados por materiales de las brocas PDB Tools y se va a relacionar mediante una división con todas las horas perforadas en cada material, de esta manera estamos determinando la velocidad de penetración general la cual nos ayuda a visualizar que proveedor presenta mayor velocidad de penetración en un periodo de tiempo, en este caso se visualizara los resultados de las velocidades de penetración en un rango de tiempo de Setiembre a Diciembre del 2023.

Tabla 18. Velocidad de penetración en cada material y por cada proveedor



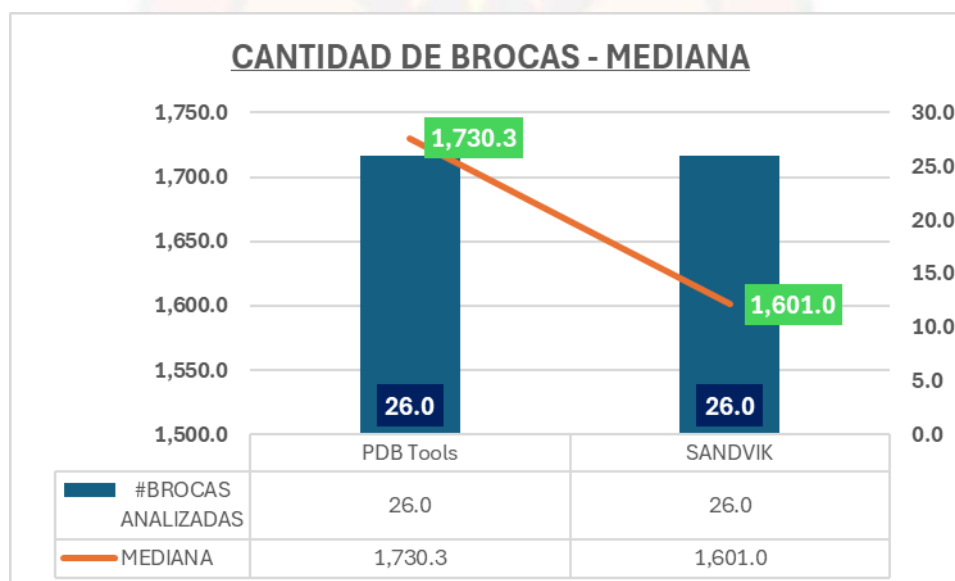
Fuente: Elaboración propia – Análisis de los datos de campo

Como se puede apreciar en el grafico el proveedor PDB tiene 4 % y 8 % menos que el proveedor SANDVIK para los materiales de mineral y desmonte respectivamente.

5.2.1.4. Mediana de la vida útil de las muestras por proveedor.

En el siguiente grafico se visualizará la mediana de rendimiento tomando en cuenta todas las brocas de las muestras para cada proveedor.

Tabla 19. Mediana de la vida útil de las muestras de cada proveedor.



Fuente: Elaboración propia – Análisis de los datos de campo

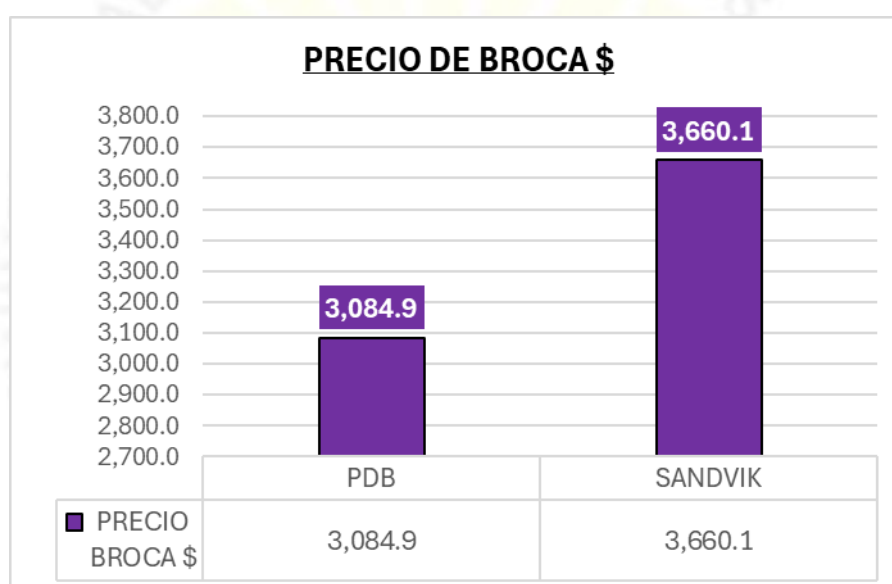
Se aprecia que el proveedor PDB Tools presenta una mediana mayor a la del proveedor SANDVIK, lo que quiere decir que las brocas de PDB Tools tienen mayor vida útil.

5.3. Análisis del precio de broca y costo horario de los equipos.

5.3.1. Precio de la broca

Para el análisis de la formula del TDC, tener un precio de broca más bajo nos indica que el PDC de la broca es menor.

Tabla 20. Precio de la broca

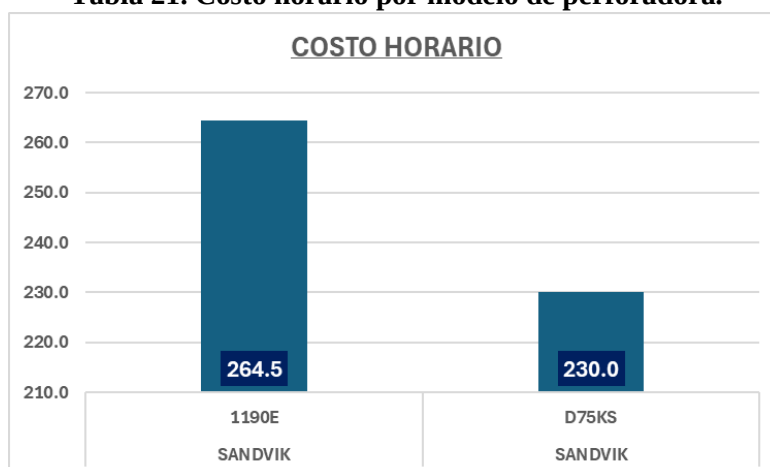


Fuente: Elaboración propia – Análisis de los datos de campo

5.3.2. Costo Horario

El costo horario del equipo interviene en la determinación del costo de perforación, dicho costo horario del equipo es considerado el costo de columna de perforación ya que la perforación se realiza con la columna instalada en el equipo indistintamente su configuración.

Tabla 21. Costo horario por modelo de perforadora.



Fuente: Elaboración propia – Análisis de los datos de campo

5.4. Análisis del costo total de perforación por material y proveedor.

El costo total de perforación nos va a determinar el costo que nos representa como contrata perforar un metro lineal, sus unidades de medida son (\$/mt, \$/km, etc) en este presente trabajo de investigación utilizaremos el \$/mt.

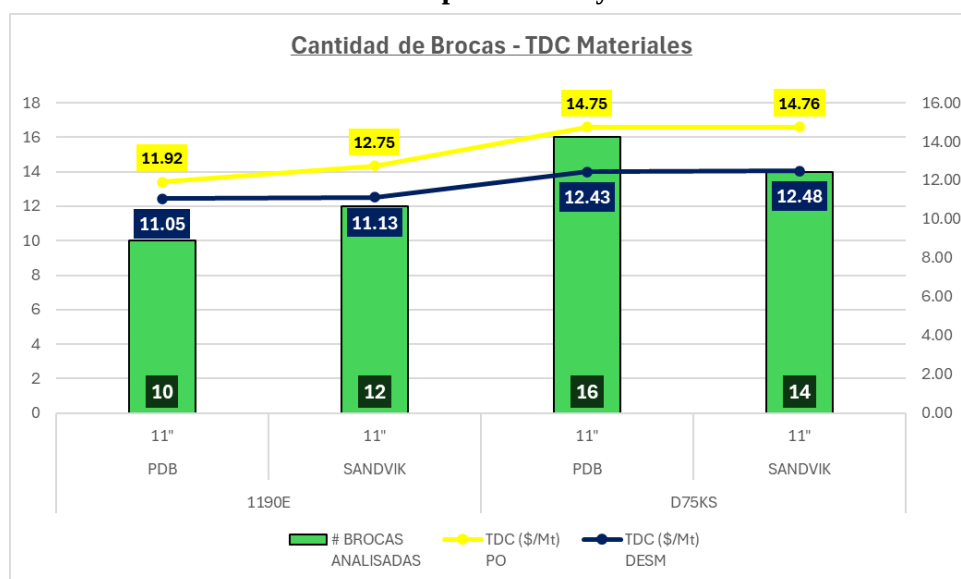
Para el cálculo del costo total de perforación interviene varios datos como los de metros perforados, precio de la broca tricónica, costo horario del equipo y la velocidad de penetración, en el presente trabajo se analizara independiente por cada tipo de material, es decir que al proveedor se le evaluara su resultado por material y por modelo de equipo de perforación, tener en cuenta que no se puede tener un valor general respecto al costo total de perforación por material y por proveedor, esto se debe a que el costo horario de ambos modelos de perforación son diferentes. A continuación, se muestra los resultados obtenidos en el análisis del costo total de perforación.

Tabla 22. Costo total de perforación.

DELO	MARCA	DIMATRO	# BROCAS ANALISADAS	TDC (\$/Mt) PO	TDC (\$/Mt) DESM
1190E	PDB	11"	10	11.92	11.05
	SANDVIK	11"	12	12.75	11.13
D75KS	PDB	11"	16	14.75	12.43
	SANDVIK	11"	14	14.76	12.48

Fuente: Elaboración propia – Análisis de los datos de campo

Tabla 23. Relación del costo total de perforación y la cantidad de brocas.



Fuente: Elaboración propia – Análisis de los datos de campo

CAPITULO VI

DISCUSION Y CONCLUSIONES

6.1. Discusión.

Dados los resultados del análisis realizado a los datos recopilados de campo se puede observar algunas diferencias considerables con relación a la cantidad de metros perforados por ambos proveedores, las variaciones son esencialmente por las condiciones del terreno. Las brocas del proveedor PDB Tools supera en un 10 % en metraje total perforado a las brocas SANDVIK; enfocándonos solo en material de desmonte PDB Tools supera en un 23 % en metros perforados y para mineral está en un 3% debajo de las brocas de SANDVIK.

Determinada la mediana de la vida útil de las brocas y en relación a su productividad de metros perforados el proveedor PDB Tools nos muestra mejores resultandos; Sin embargo, las brocas del proveedor SANDVIK muestran velocidades superiores a las brocas de PDB Tools en un 3 % y 8 % para mineral y desmonte respectivamente.

Se sabe que el desempeño de una broca esta influenciada por varias propiedades de la formación rocosa, incluida su resistencia. Quizá la forma más sencilla de seleccionar el tricono adecuado será determinar el tipo de formación perforada. En cualquier caso, la mejor de manera de determinar el tipo de broca tricónica es la experiencia en la que se está perforando en la actualidad.

En las formaciones de desmonte son de tipo suave a comparación del mineral esto debido a la densidad propia de cada material siendo sus densidades de 2.74 TM/m³ y 4.47 TM/m³ para desmonte y mineral respectivamente; dicha información nos da indicios de los parámetros adecuados para perforar en el macizo rocoso, al hablar de terreno suave no se requiere un peso excesivo como el del mineral, el utilizar un peso menor sobre la broca nos va dar una mayor velocidad y se estará perforando de manera adecuada. Sin embargo, en el mineral por ser un

material extremadamente duro se va a requerir la aplicación de un peso mayor al del material desmonte para poder obtener mayores velocidades de penetración

En la investigación realizada por Wilson nos muestra que mientras más duro se el material los parámetros a utilizar será de mayor pull down y menor rotación, así mismo para terrenos de menor dureza se aplicará menor pull down y mayor rotación.

Debido a los diferentes tipos de rocas con las que se trabaja, el tipo de broca utilizada tendrá una competencia diferente durante la perforación, lo que marca una gran diferencia en la productividad, dicho detalle tiene un impacto directo en los costos a medida que disminuye la producción de brocas por lo consecuente se excavarán menos. Esto confirma lo señalado por Ordoñez (2010), nos dice que no es lo mismo perforar en una roca competente que en una roca incompetente o como realizar una limpieza del material granulado o material con granos de mayor dimensión los cuales generan que los equipos exijan puntualmente sus capacidades produciendo daños mecánicos a largo plazo.

Para el análisis del cálculo del TDC , el cual nos indicara el costo por metro perforado de cada material se tuvo que reunir la información tomada en campo y posterior realizar un análisis independiente y de forma global para determinar sus KPis, así como también se tomó en cuenta los modelos de los equipos de perforación, saber el equipo nos ayudara para saber el costo horario del equipo, dato que nos ayudara a realizar el cálculo del TDC, esto apoya lo afirmado por gamarra(211), Afirma que el costo perforado en la mina se determina con los metros perforado por cada proveedor en los distintos materiales que realizan la sarta de perforación, es por eso que el costo de perforación guarda relación a total de dólares de la sarta de perforación dividida los metros que realiza dicha columna de perforación. El KPI del costo de perforación se mide en unidades de valor económico entre unidades de longitud (\$/Mt), por lo tanto, el costo de perforación viene a ser un costo directo y también variable; es decir que si se pudiera disminuir el costo de perforación se obtendría una reducción en el costo total de la

mina.

Una limitación de la investigación es la falta de herramientas estadísticas para realizar pruebas de hipótesis en las que existe una variable cualitativa independientemente (Tipo de broca tricónica). Por otro lado, hay dos variables dependientes (productividad y costo de perforación) que son variables cuantitativas.

Debido a que el estudio se realizó en gran minería a cielo abierto en la zona costera del Perú, el estudio utilizó dos diferentes tecnologías en diseño de brocas tricónicas, una tecnología de cada proveedor de brocas, además de usar plataformas de perforación con los dos tipos de terrenos (mineral y desmonte).

6.2. Conclusiones.

- Se realizó el análisis comparativo entre el total de metros perforados por material con las 26 brocas modelo X47 del proveedor SANDVIK y las 26 brocas modelo GX 722 del proveedor PDB Tools, dichas brocas alcanzaron de forma general 42,971.2 metros y 47,377.3 metros respectivamente. Los resultados obtenidos se obtuvieron de la recolección de datos durante el periodo de Setiembre a diciembre del año 2023. Este análisis nos indica que las 26 brocas modelo GX 722 del proveedor PDB Tools son más productiva, ya que las brocas del proveedor PDB Tools perforo 4,406.1 metros más que las brocas del proveedor SANDVIK.
- Los resultados del análisis de productividad cuanto, a metros perforados por material, se tiene que las brocas del proveedor PDB tiene mayor productividad en material de desmonte con 27,178.6 metros representando un 20 % más que las brocas del proveedor SANDVIK; Así mismo respecto a la productividad de metros perforados en mineral se tiene que el proveedor SANDVIK tiene una

productividad ligeramente mayor de 20,880.1 metros siendo mayor en un 3 % con respecto al proveedor PDB Tools.

- Referente al análisis de las velocidades de penetración las brocas del proveedor SANDVIK poseen mayor velocidad en los materiales de mineral y desmonte, teniendo 21.07 m/hr y 24.85 m/hr respectivamente, siendo 4% y 7 % mayor que las brocas del proveedor PDB Tools.
- En cuestión de precios de brocas tricónicas, el proveedor SANDVIK cuesta 3,660.1 \$ y nos muestra un precio más elevado que las brocas tricónicas del proveedor SANDVIK que tiene un precio de 3,084.9 \$, siendo 16 % menor el precio de la broca del proveedor PDB Tools a comparación del precio de las brocas del proveedor SANDVIK.
- Realizada la evaluación técnica económica del costo total de perforación por materiales se obtuvo que las brocas del proveedor PDB Tools obtuvo en desmonte 11.05 \$/mt y 12.43 \$/mt para los modelos 1190E y D75KS respectivamente; mientras que en material de mineral obtuvo 11.92 \$/mt y 14.75 \$/mt para los modelos 1190E y D75KS respectivamente. Así mismo las brocas del proveedor SANDVIK obtuvieron para material de desmonte 11.13 \$/mt y 12.48 \$/mt para los modelos 1190E y D75KS respectivamente; y para material de mineral se obtuvo 12.75 \$/mt y 14.76 \$/mt para los modelos 1190E y D75KS respectivamente; comprobándose que las brocas del proveedor PDB Tools la productividad y mejora los costos de perforación produciendo un mayor beneficio para la empresa.

CAPITULO VII

RECOMENDACIONES

- Se recomienda gestionar la adquisición de nuevas brocas de diversos proveedores internacionales como WLS, EPIROC, CORETECH, WLS; como también de proveedores nacionales como STRONG, NEUMAN PERU, PETRA; esto debido a que cada proveedor maneja su propia patente tecnológica respecto al diseño de su propia broca y su mismo tratamiento. Dichas características determinaran su rendimiento y su velocidad de penetración. A demás el realizar nuevas pruebas con distintos proveedores nos brindara una mayor base de datos para poder tomar la decisión más adecuada que nos permita optimizar el proceso de perforación mediante la reducción del costo total de perforación.
- Se recomienda realizar las capacitaciones constantes a los operadores por cada proveedor, ya que cada broca trabajan bajos determinados parámetros de perforación como PULL DOWN, ROTACION, VELOCIDAD DE BARRIDO; a lo cual el tener un operador con los conocimientos de la aplicación correcta de los parámetros de perforación en cada tipo de terreno contribuye con obtener una mayor velocidad de penetración, por lo tanto significa mayor metros perforados en un determinado periodo y una mayor durabilidad de la vida útil de la broca tricónica.
- Se recomienda gestionar los mantenimientos a los compresores de las perforadoras o el monitoreo de presiones de aire a los compresores, ya que trabajar con una presión baja genera una velocidad de barrido menor a la que se requiere para la evacuación de los detritus y de generarse esta condición expone

al tricono a una remolienda, a lo cual va a generar una menor vida útil del tricono y mayor tiempo para realizar un taladro. Por lo tanto, que el tricono se encuentre expuesto va a aumentar el costo total de perforación; esto no resulta beneficioso para la optimización del proceso de perforación sino todo lo contrario.



REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

[1] Curso especializado: «PERFORACION Y VOLADURA EN MINERIA SUBTERRANEA» ditado por la institución ISEE ACADEMY (Curso de especialización que dio en la plataforma de e-learning, es un espacio virtual de aprendizaje). Accedido el 15 de Agosto del 2023.

Disponible en:

https://drive.google.com/drive/folders/1i7Owz-GssU1NXkvx3NgF9Qcx8W7PY4f1?usp=sharing_eip_m&ts=61e94559

[2] Soto Lavayen, Jaliveth Damarys «Estudio de problemas operacionales en la perforación de un pozo de tipo “” en el bloque 54 en Ecuador. (Tesis de Titulación en Ingeniería) Universidad Estatal Península de Santa Maria, Ecuador. Accedido el 20 de Octubre del 2023.

Disponible en: <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/9077>

[3] Ovando Alvarado, Jose Francisco «Apuntes de perforación de pozos en aguas profundas y ultra profundas (Tesis de Titulación en ingeniería) » Universidad Nacional Autónoma de México, México. Accedido el 20 de Octubre del 2023.

Disponible en: <http://132.248.52.100:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/16877>

[4] Leynes Chavarria, Jesus: «Generación de un modelo en geo presiones para la perforación de un pozo petrolero.(Tesis de Titulación en ingeniería) » Universidad Nacional Autónoma de México, México. Accedido el 22 de Octubre del 2023.

Disponible

en:

<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/14789/tesis.pdf?sequence=1>

[5] Alaya Cruzado, Luis Primitivo, «Influencia de la velocidad de penetración en el proceso de velocidad primaria en minería Yanacocha, Cajamarca (Tesis de titulación en ingeniería) » Universidad Alas Peruanas, Peru. Accedido el 23 de Octubre del 2023.

Disponible en:

https://repositorio.uap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12990/2779/tesis_influencia_velocidad.penetra%3Bn%20proceso_perforaci%3Bn%20primaria_minera%20Yanacocha_Cajamarca%202018.pdf

[6] Marroquin Egúsqiza, Niels Henrik «Reducción del costo total de perforación incrementando la velocidad de penetración en el Asentamiento Minero Toquepala, Tacna (Tesis de Titulación en ingeniería) » Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima. Accedido el 25 de Octubre del 2023.

Disponible en: <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/17756>

[7] Montoya Villalta, Franco Alexis «Optimización de procesos en perforación mediante un estudio comparativo de brocas triconicas en la unidad minera Toquepala – Shouthern Peru Cooper Corporation 2019» Universidad Católica de Santa Maria, Arequipa.

Accedido el 25 de Octubre del 2023.

Disponible en: <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/9138>

[8] Diaz Olivera, Esthiben Eugenio «Optimización de la perforacion y voladura de rocas para maximizar utilidades en la mina Panulcillo de minera Cruz LTDA, 2016» Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo.

Accedido el 27 de Octubre del 2023.

Disponible_en: http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/1966/T033_44147936_T.pdf?sequence=1

[9] Carlos Gomez, Elda Ayde «Capítulo 11 – Metodo Comparativo » Universidad de Nuevo Leon Mexico (UANL), Monterrey, Mexico.. Accedido el 28 de Octubre del 2023.

Disponible en: <http://eprints.uanl.mx/9802/1/Estudio%20Comparado.pdf>

[10] H.S. Roberto, F.C. Carlos y B.L. Maria del pilar «Metodología de la investigación 6th Edición» .Accedido el 28 de Octubre del 2023.

Disponible en: <https://perio.unlp.edu.ar/catedras/wp-content/uploads/sites/151/2021/08/Hernandez-Sampieri.-Metodologia-de-la-investigacion.pdf>

[11] P.S.Santa y M.P. Feliberto «Metodología de la investigación cuantitativa»

Accedido el 29 de Octubre del 2023.

Disponible en: <https://issuu.com/originaledy/docs/metodolog3ada-de-la-investigac3b>

[12] H.S. Roberto y M.T.Christian «Metodología de la investigación – Las rutas cuantitativas, cualitativas y mixtas »

Accedido el 29 de Octubre del 2023.

Disponible en: https://www.iberlibro.com/9781456260965/METODOLOGIA_INVESTIGACION-RUTAS-CUANTITATIVA-CUALI-1456260960/plp

[13] M.M. Catalina «Técnicas e instrumentos de recogida y análisis de datos»

Accedido el 30 de Octubre del 2023.

Disponible_en:

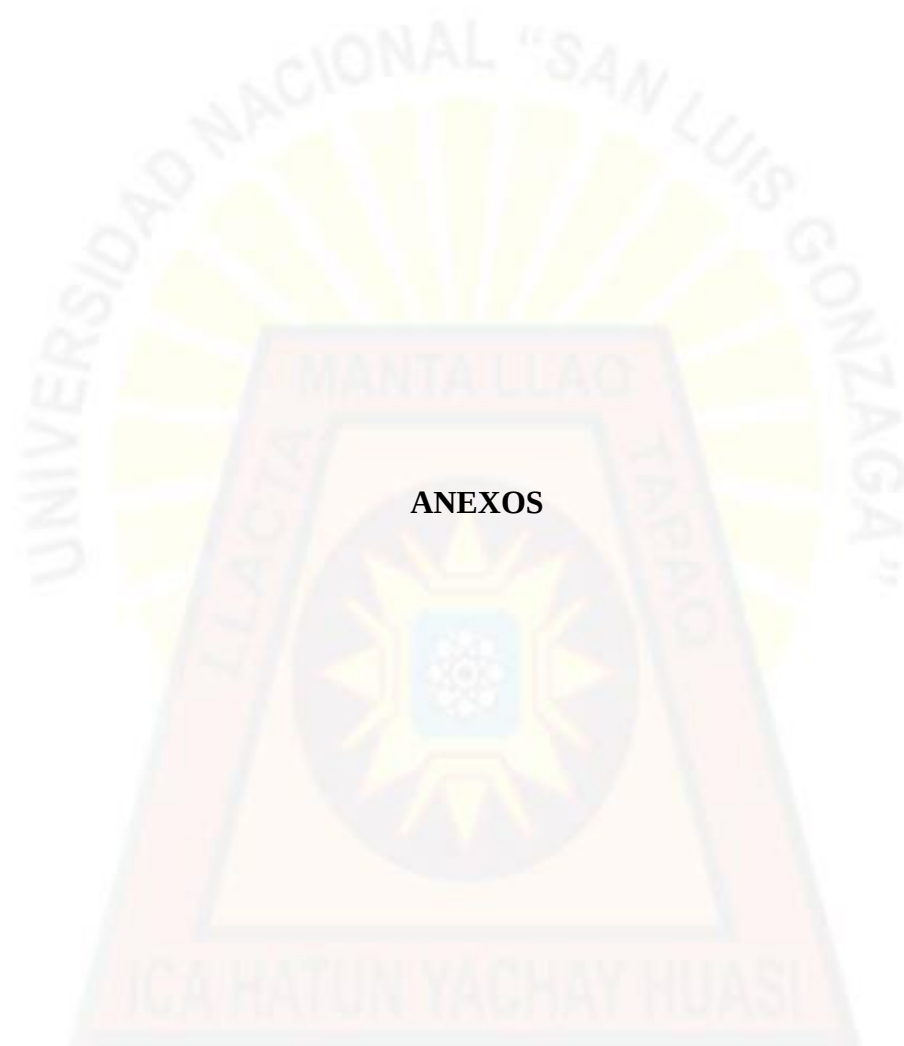
https://www.google.com.pe/books/edition/T%C3%89CNICAS_E_INSTRUMENTOS_DE_RECOGIDA_Y_A/iiTHAwAAQBAJ?hl=es&gbpv=1&dq=inauthor:%22MART%C3%8DNEZ+MEDIANO+Catalina+%22&printsec=frontcover

[14] U. Maria, A. Wileidys, Queipo Beatriz y Edizon Perozo «Tecnica e instrumentos de recolección de datos cuali-cuantitativos». Accedido el 30 de Octubre del 2023.

Disponible_en:

<https://repositoryinst.uniguajira.edu.co/bitstream/handle/uniguajira/467/88.%20Tecnicas%20e%20instrumentos%20recolecci%c3%b3n%20de%20datos.pdf?sequence=1>





ANEXOS

Instrumentos de recolección de información.

- Reporte de perforación.

COSAPI MINERÍA		REPORTE DE PERFORACIÓN															CÓDIGO: SHP-EST-PER-01-R0						
		UOM: PRODUCCIÓN SECTOR ESTE MINA 11, 14, 16															VERSIÓN: 02						
FECHA:		TURNO:		DÍA		NOCHE		INDUSTRIAL		MANTENIMIENTO		EQUIPO:		MINA:		MALLA 1:		MALLA 2:					
HORÓMETRO INICIAL		PERFORADORA		GUARDIA:		A		B		C		MODELO:		N° PROYECTO:		B=		E= SD=					
HORÓMETRO FINAL				OPERADOR:								SISTEMA DE PERFORACIÓN:		ROTARY		E=Espaciamiento, B=Burden, SD= Sub Drill							
TIPO	ITEM	N°	TAL	PROFUNDIDAD (mts)		TIEMPO		TRAMO 1		TRAMO 2		MALLA 1 & 2		VISTA DE FRACTURAS EN EL TRABAJO				OBSERVACIÓN DEL TALADRO					
				DISEÑO	EQUIPO	AYUDANTE	HORA INICIO	HORA FINAL	TOTAL (min)	PD	RPM	MMT	MTS	PD	RPM	MMT	MTS	4m	8m	12m	16m	Cambio de broca / Barra / Bit Sub/ Top Sub	
	1	8		15.5	15.8	15.7	07:48	08:00	20	500	90	OK	4	500	90	WFS	13						Cambio de broca / Barra / Bit Sub/ Top Sub
	2																						
	3																						
	4																						
	5																						
	6																						
	7																						
	8																						
	9																						
	10																						
	11																						
	12																						
	13																						
	14																						
	15																						
	16																						
	17																						
	18																						
	19																						
	20																						
	21																						
	22																						
	23																						
	24																						
	25																						
TOTAL																							

DETALLES	BROCA 1	BROCA 2	BIT SUB	BARRA 1	BARRA 2	TOP SUB	D. BUSHING 1	BUSHING FLOTANTE	SHOCK ABSORBER
MARCA									
SERIE									
TIPO / ESTADO									
DIÁMETRO (Pulg) / LONGITUD									
ACUMULADO (mts)									
METROS PERFORADOS (mts)									
TOTAL (mts)									
DESCARTADO / CORRIENDO									

SUPERVISOR			OPERADOR			NOMBRE Y FIRMA DE AYUDANTE:			PÁGINA:
------------	--	--	----------	--	--	-----------------------------	--	--	---------

OPERACIONALIZACION DE VARIABLES

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	INDICADORES
Variable Independiente (X): Rendimientos de las brocas de 11"	Los rendimientos de las brocas tricónicas nos determina la cantidad de metros perforados por tricono en diferentes tipos de materiales, metros perforados por unidad de tiempo para analizar el avance de perforación.	- Vida útil del tricono - Terreno y litología del yacimiento
Variable Dependiente (Y): Estudio comparativo de brocas tricónicas	Es un esfuerzo sistematizado para comparar dos a más elementos, estos elementos se medirán bajo los mismos Kpis de interés para determinar el objetivo buscado.	- Velocidad de penetración - TDC (Total drilling cost)

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Título: Estimación Técnica Económica en el Proceso de Perforación Mediante un Estudio Comparativo de Brocas Tricónicas en el Tajo Mina 14-Contrata Cosapi Minería S.A.C. Shougang Hierro Perú S.A.A. 2023

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	INDICADORES	METODOLOGIA
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General			
PG: ¿Cuál será la broca tricónica de 11” con los mejores rendimientos en el tajo 14 mina Shougang Hierro Perú, contrata Cosapi Minería S.A., 2023?	OG: Determinar la broca tricónica de 11” con los mejores rendimientos en el tajo 14 mina Shougang Hierro Perú, contrata Cosapi Minería, 2023.	HG: El estudio comparativo de triconos determinara la broca de 11” con los mejores rendimientos en el Tajo 14 mina Shougang Hierro Perú, contrata Cosapi Minería, 2023.	Variable Independiente (X): Rendimientos de las brocas de 11”	- Vida útil del tricono - Terreno y litología del yacimiento	Tipo: Aplicada - Experimental. Nivel: Descriptiva - Explicativa. Diseño: Experimental de índole pre experimental -

					transversal.
					Población: La población está constituida por 120 brocas de 11” que Cosapi Minería utilizó para el proceso de perforación.
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas			Muestra: La muestra está constituida por 26 brocas PDB Tools serie GX722 y 26 brocas SANDVIK serie X47 que utilizó la
PE1: ¿Los rendimientos de la broca tricónica de 11” de serie X47 de SANDVIK obtendrá los mejores rendimientos en el	OE1: Determinar los rendimientos de las brocas de 11” de serie GX 722 de PDB Tools analizadas en el tajo 14 mina Shougang Hierro Perú, contrata Cosapi Minería, 2023.	HE1: La broca tricónica de 11” de serie GX 722 de PDB Tools tienen los mejores rendimientos en el Tajo 14 mina Shougang Hierro Perú, contrata Cosapi Minería, 2023.	Variable Dependiente (Y): Estudio comparativo de brocas tricónicas	- Velocidad de penetración - TDC (Total drilling cost)	

tajo 14 mina Shougang Hierro Perú, contrata Cosapi Minería S.A., 2023? PE2: ¿Los rendimientos de la broca tricónica de 11” de serie GX 722 de PDB obtendrá los mejores rendimientos en el tajo 14 mina Shougang Hierro	OE2: Determinar los rendimientos de las brocas de 11” de serie X47 de SANDVIK analizadas en el tajo 14 mina Shougang Hierro Perú, contrata Cosapi Minería, 2023.	HE2: La broca tricónica de 11” de serie X47 de SANDVIK tienen los mejores rendimientos en el Tajo 14 mina Shougang Hierro Perú, contrata Cosapi Minería, 2023.		empresa minera desde enero a junio para realizar las perforaciones. Técnicas: La observación directa y el fichaje. Instrumentos: Reporte diario de perforación.
---	--	--	--	--

Perú, Cosapi S.A., 2023?	contrata Minería					
--------------------------------	---------------------	--	--	--	--	--