

**Universidad Católica de Santa María**  
**Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales**  
**Escuela Profesional de Ingeniería de Minas**



**Reducción del costo total de perforación TDC en minería superficial  
comparando modelos de broca triconica estándar y super sónica, Perú**  
**2024**

Tesis presentada por el Bachiller:

**Valdivia Andia, Ivan Domivanovich**

**ORCID: 0009-0006-3261-5132**

Para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas

Asesor (a):

**Mg. Bernedo Tito, Edwin Jose**

**ORCID: 0000-0002-3008-6488**

Arequipa – Perú

2025

UCSM-ERP

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA**

**INGENIERIA DE MINAS**

**TITULACIÓN CON TESIS**

**DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR**

Arequipa, 23 de Junio del 2025

**Dictamen: 013843-C-EPIM-2025**

Visto el borrador del expediente 013843, presentado por:

**2016701021 - VALDIVIA ANDIA IVAN DOMIVANOVISH**

Titulado:

**REDUCCIÓN DEL COSTO TOTAL DE PERFORACIÓN TDC EN MINERÍA SUPERFICIAL  
COMPARANDO MODELOS DE BROCA TRICONICA ESTÁNDAR Y SUPER SÓNICA, PERÚ 2024**

Nuestro dictamen es:

**APROBADO**

Titulo Profesional/Titulo de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

**INGENIERO DE MINAS**

**29721032 - DELGADO PONCE MARIA AZUCENA  
DICTAMINADOR**



**40393135 - TEJADA MANDUJANO OLIVER  
DICTAMINADOR**



**09875174 - ESQUIVIAS OTAZU JOSE LUIS  
DICTAMINADOR**



# Reducción del costo total de perforación TDC en minería superficial comparando modelos de broca triconica estándar y super sónica, Perú 2024

## INFORME DE ORIGINALIDAD

17%

INDICE DE SIMILITUD

19%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

9%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="https://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	6%
2	<a href="https://tesis.usat.edu.pe">tesis.usat.edu.pe</a> Fuente de Internet	4%
3	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	2%
4	Submitted to uni Trabajo del estudiante	1%
5	<a href="https://ribuni.uni.edu.ni">ribuni.uni.edu.ni</a> Fuente de Internet	1%
6	<a href="https://repositorio.unjbg.edu.pe">repositorio.unjbg.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
7	<a href="https://repositorio.upn.edu.pe">repositorio.upn.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
8	<a href="https://idoc.pub">idoc.pub</a> Fuente de Internet	1%

### *Dedicatoria*

A mi familia, por ser mi refugio y mi fuerza.

A mi madre, por su amor infinito y su fe inquebrantable en mí.

A mi padre, por sacar adelante a la familia y apoyarnos hasta donde dios se lo permitió.

A todos los que creyeron en mí, incluso cuando yo dudaba.

A quienes me sostuvieron con palabras, abrazos o silencios.

A los sueños que se volvieron metas, y a las metas que hoy se convierten en logros.

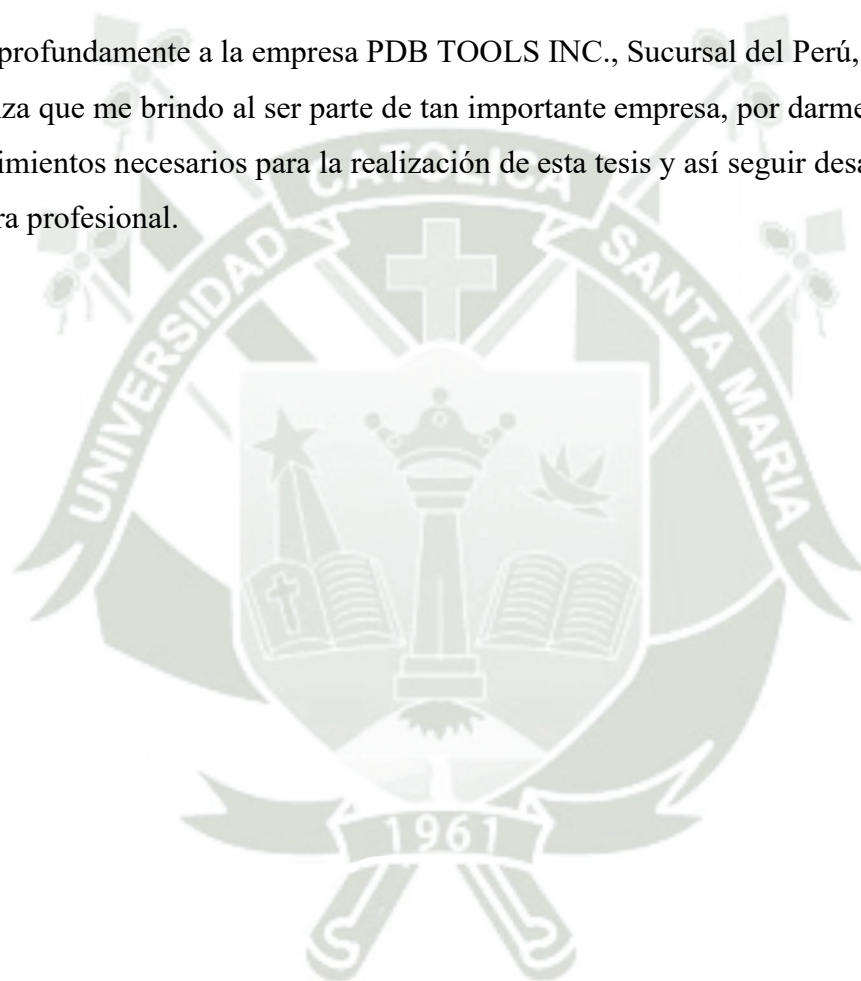
A la versión de mí que no se rindió.



### *Agradecimientos*

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que, de una u otra manera, contribuyeron a la realización de esta tesis. A mis padres, en especial a mi madre, por su amor, comprensión y sacrificio, quien siempre creyó en mí y me motivaron a seguir adelante. A mis hermanos, por su apoyo y alegría en los momentos más difíciles. Este logro es tan suyo como mío.

Agradezco profundamente a la empresa PDB TOOLS INC., Sucursal del Perú, por el apoyo y la confianza que me brindó al ser parte de tan importante empresa, por darme los recursos y los conocimientos necesarios para la realización de esta tesis y así seguir desarrollándome en mi carrera profesional.



## RESUMEN

La problemática radica en que, uno de los elementos más relevantes en el proceso de perforación que influye en los costos totales, es la broca triconica, es por ello que diversas mineras a cielo abierto están en busca de reducir el costo total en los equipos de perforación rotativa, es así que, el presente estudio, se enfoca a investigar los resultados al hacer uso de una nueva broca triconica en minería superficial en el Sur del Perú, y realizar un análisis comparativo entre brocas estándar y super sónicas. En tal sentido, el objetivo del estudio es, demostrar la reducción del costo total de perforación TDC en minería superficial comparando modelos de broca triconica estándar y supersónica; la investigación es de tipo aplicada, de enfoque cuantitativo, y alcance descriptivo; la población estuvo compuesta por las brocas triconicas utilizadas en el último semestre de dos empresas ubicadas al sur de Perú, el muestreo fue el no probabilístico y como muestra se utilizó una broca de cada modelo; los resultados indican que en la prueba uno las brocas supersónicas tuvieron un rendimiento de metros de perforación de 1 235.90 metros y la brocas estándar tuvieron un rendimiento de 1 184.10 metros; en el caso del rendimiento de la velocidad de perforación, las brocas supersónicas tuvieron un promedio de 29.04 metros por hora, mientras que la broca estándar tuvo un rendimiento de velocidad de 23.65 metros por hora; en el caso de los costos de perforación, la broca supersónica tuvo un menor costo con un costo promedio de \$ 11.29 \$/m, mientras que la broca de modelo estándar tuvo un mayor costo con \$11.38 \$/m; en el caso de la prueba 2 los resultados fueron similares ya que la broca supersónica tuvo un rendimiento de perforación promedio de 12 861.53 metros, una velocidad promedio de 40.82 metros por hora y un costo de \$12.20 dólares; la investigación concluye que existe una reducción del costo al usar la broca supersónica.

***Palabras clave:*** Brocas, rendimiento, costo.

## ABSTRACT

The problem lies in that one of the most relevant elements in the drilling process that influences total costs is the tricone bit, which is why several open-pit mining companies are seeking to reduce the total cost of rotary drilling equipment, thus, the present study focuses on investigating the results when using a new tricone bit in surface mining in southern Peru, and perform a comparative analysis between standard and supersonic bits. In this sense, the objective of the study is to demonstrate the reduction in the total cost of TDC drilling in surface mining by comparing standard and supersonic tricone bit models; the research is of an applied type, with a quantitative approach, and descriptive scope; the population was composed of the tricone bits used in the last semester by two companies located in southern Peru, the sampling was non-probabilistic and one bit of each model was used as a sample; The results indicate that in test one, the supersonic drill bits achieved a drilling efficiency of 1,235.90 meters per hour, while the standard drill bit achieved a drilling efficiency of 1,184.10 meters per hour. Regarding drilling speed, the supersonic drill bits averaged 29.04 meters per hour, while the standard drill bit achieved a drilling efficiency of 23.65 meters per hour. Regarding drilling costs, the supersonic drill bit cost less, averaging \$11.29/m, while the standard drill bit cost more, at \$11.38/m. In test 2, the results were similar, with the supersonic drill bit achieving an average drilling efficiency of 12,861.53 meters, achieving an average drilling efficiency of 40.82 meters per hour, and costing \$12.20. The study concludes that using the supersonic drill bit reduces costs.

**Keywords:** *Drill bits, performance, cost.*

## ÍNDICE

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I	
1. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN .....	3
1.1. Planteamiento del problema.....	3
1.2. Objetivos de investigación .....	4
1.2.1. Objetivo general.....	4
1.2.2. Objetivos específicos .....	5
1.3. Pregunta de investigación .....	5
1.3.1. Pregunta general .....	5
1.3.2. Preguntas específicas .....	5
1.4. Línea de investigación .....	6
1.5. Palabras clave .....	6
1.6. Aporte del desarrollo de la tesis.....	6
1.6.1. Justificación académica .....	7
1.6.2. Justificación económica.....	7
1.6.3. Justificación ambiental.....	7
1.6.4. Justificación social y de seguridad.....	7
CAPITULO II	
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	9
2.1. Marco teórico.....	9
2.1.1. Perforación en roca en minería superficial .....	9
2.1.2. Tipos de perforación .....	11
2.1.3. Parámetros de perforación .....	13
2.1.4. Brocas de perforación .....	14
2.1.5. Origen de la broca triconica.....	15
2.1.6. Clasificación de las brocas.....	16
2.1.7. Código IADC (International Association of Drilling Contractors).....	24

2.1.8.	Características geomecánicas que afectan la perforación .....	26
2.1.9.	Total Drilling Cost (TDC).....	28
2.2.	Antecedentes .....	28
2.3.	Hipótesis .....	32
2.4.	Variables .....	32
2.4.1.	Variable independiente.....	32
2.4.2.	Variable dependiente.....	33
<b>CAPITULO III</b>		
3.	MARCO METODOLÓGICO.....	35
3.1.	Alcances y limitaciones .....	35
3.2.	Tipo y diseño de la investigación.....	35
3.3.	Población y muestra.....	35
3.4.	Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	36
3.5.	Plan de análisis estadísticos de datos .....	36
<b>CAPITULO IV</b>		
4.	RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	38
4.1.	Resultado de las pruebas con el modelo de broca triconica estándar .....	38
4.1.1.	Ubicación de la prueba 1 .....	38
4.1.2.	Ubicación de la prueba 2 .....	48
4.1.3.	Datos del terreno de la prueba 2 .....	49
4.2.	Resultado de las pruebas con el modelo de broca triconica supersónica.....	51
4.3.	Costo total perforación TDC según el tipo de terreno en minería superficial usando el modelo de broca triconica estándar y supersónica.....	60
4.4.	Análisis comparativo del costo total perforación (TDC) total de las brocas triconicas de modelo estándar y super sónicas.....	62
CONCLUSIONES .....		65
RECOMENDACIONES.....		67
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		68
ANEXOS .....		71

## INDICE TABLAS

Tabla 1	Código IADC (International Association of Drilling Contractors).....	25
Tabla 2	Propuesta de análisis estadísticos de datos.....	33
Tabla 3	Cantidad de brocas triconicas con diámetro de 11” utilizadas por modelos .....	36
Tabla 4	Cantidad de brocas triconicas con diámetro de 10 5/8” utilizadas por modelos .....	36
Tabla 5	Resultados de la prueba a las brocas triconicas estándar.....	39
Tabla 6	Índice de fragmentación .....	49
Tabla 7	Resultados de la prueba a las brocas triconicas estándar prueba 2.....	50
Tabla 8	Resultados de la prueba a las brocas triconicas supersónica .....	52
Tabla 9	Resultados de la prueba a las brocas triconicas supersónica prueba 2.....	58
Tabla 10	Datos para hacer el cálculo del TDC prueba 1 .....	60
Tabla 11	Datos para hacer el cálculo del TDC prueba 2 .....	61

## INDICE FIGURAS

Figura 1	Mecanismo de rotura de roca.....	11
Figura 2	Avances históricos en el desarrollo de la tecnología de perforación .....	16
Figura 3	Broca excéntrica.....	17
Figura 4	Broca PDC .....	18
Figura 5	Broca de diamantes naturales y de insertos .....	19
Figura 6	Broca triconica.....	20
Figura 7	Broca triconica con dientes de acero.....	21
Figura 8	Insertos de carburo de tungsteno.....	22
Figura 9	Comparación de los dientes .....	22
Figura 10	Broca triconica super sónica.....	24
Figura 11	Ubicación de la prueba 1 .....	38
Figura 12	Broca triconica modelo estándar.....	39
Figura 13	Rendimientos promedio de metros perforados y velocidad de perforación de las brocas de modelo estándar por terreno (PO) mineral y (ER) encapado de roca.....	40
Figura 14	Broca estándar 601124 modelo TI6X-A.....	41
Figura 15	Broca estándar 601124 modelo TI6X-A.....	42
Figura 16	Broca estándar 601282 modelo TI6X-A.....	43
Figura 17	Broca estándar 601282 modelo TI6X-A.....	44
Figura 18	Broca estándar 601284 modelo TI6X-A.....	45
Figura 19	Broca estándar 601290 modelo TI6X-A.....	46
Figura 20	Broca estándar 601290 modelo TI6X-A.....	47
Figura 21	Ubicación de la prueba 2 .....	48
Figura 22	Rendimientos promedio metros perforados y velocidad de perforación con broca estándar según tipo de terreno.....	51
Figura 23	Brocas triconicas supersónica .....	52
Figura 24	Rendimientos de las brocas de modelo supersónica por terreno (PO) mineral y (ER) encapado de roca .....	53
Figura 25	Broca super sónica 603463 modelo TI6ZSS .....	54
Figura 26	Broca super sónica 603463 modelo TI6ZSS .....	55
Figura 27	Broca super sónica 603465 modelo TI6ZSS .....	56
Figura 28	Broca super sónica 603466 modelo TI6ZSS .....	57

Figura 29	Resumen de rendimientos promedio de metros perforados y velocidad de perforación con broca modelo super sónica según tipo de terreno .....	59
Figura 30	Costo total de perforación prueba 1 .....	60
Figura 31	Costo total de perforación prueba 2 .....	61
Figura 32	Comparativo de los metros de perforación prueba 1 .....	62
Figura 33	Comparativo de los metros de perforación prueba 2 .....	63



## INTRODUCCIÓN

El presente estudio plantea como objetivo general demostrar la reducción del costo total de perforación (TDC) en minería superficial comparando modelos de broca triconica estándar y supersónica, Perú 2024. Para ello se plantea una estructura basada en cuatro capítulos. En el capítulo uno se desarrolla el planteamiento del problema, siendo la comparación del rendimiento de dos modelos de broca triconica, una es la estándar y la segunda es la super sónica, así como la pregunta general, siendo la siguiente ¿Cómo demostrar la reducción del costo total de perforación TDC en minería superficial comparando modelos de broca triconica estándar y supersónica, Perú 2024?, y el objetivo general y específicos.

En el capítulo dos, se plantearon los fundamentos teóricos, basado en el estado del arte, el cual está compuesto por la descripción de lo que es la perforación en roca en minería superficial, los tipos de perforación, parámetros de perforación, descripción de las brocas de perforación, origen de la broca triconica, clasificación de las brocas, características geomecánicas que afectan la perforación; también se desarrollaron los antecedentes de investigación, la hipótesis y variables

En el capítulo tres, se desarrolló el marco metodológico, en el cual se describieron los alcances y limitaciones del estudio, el tipo y diseño de investigación, la población y tamaño de muestra, los métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos y el plan de análisis estadístico para los datos.

Finalmente, en el capítulo cuatro, se muestran los resultados de las pruebas con el modelo de broca triconica, las ubicaciones de las pruebas uno y dos, los datos del terreno, el resultado de las pruebas con el modelo de broca triconica supersónica, el costo total perforación (TDC) en minería superficial usando el modelo de broca triconica estándar, el costo total perforación (TDC) en minería superficial usando el modelo de broca triconica super sónica y finalmente el análisis comparativo del costo total perforación (TDC) de las brocas triconicas de modelo estándar y super sónicas.

# CAPÍTULO I



## 1. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

### 1.1. Planteamiento del problema

En la actualidad se puede observar que diversas mineras a cielo abierto están en busca de reducir el costo total de perforación en los equipos de perforación rotativa, los factores que puede influir en esto pueden ser, el costo horario del equipo de perforación, precio de la columna de perforación y las características geomecánicas de la roca.

Una de las partes más importantes en la columna de perforación que influye en el costo total de perforación es la broca triconica, ya que esta debe de estar un diseño en específico para la adecuada fracturación de la roca.

Es por ello que, la broca en si es una pieza importante o la más importante en la perforación, según Arribasplata y Alvarado (2020) la broca es la pieza principal que es utilizada durante la perforación, su función es romper y/o dividir la roca, diseñada de acuerdo a cada especificación o aplicación, en la industria minera las brocas triconicas son indispensables, siendo parte de un sistema de tres brocas cónicas, que trabajan de manera independiente, generando una mejor penetración de la roca, esto se suma lo descrito por López (citado por Arribasplata y Alvarado, 2020) que indica que la broca triconica es una herramienta ubicada en el extremo inferior de la sarta de perforación, encargada del corte a la roca, durante el proceso de perforación rotativa, por presión y rotación, conformado por tres conos rodantes con insertos de carburo y tungsteno.

Según Marroquín (2022) la perforación del macizo rocoso en el campo de la explotación de minas, es la primera operación que se realiza y tiene como finalidad realizar perforaciones o abrir huecos dentro del macizo rocoso, con una distribución geométrica adecuada, en donde se colocan las cargas de explosivos con sus respectivos accesorios iniciadores, con el objetivo de fragmentar el macizo rocoso, además el costo total de perforación, puede ser reducido de manera significativa, al incrementar la velocidad de penetración.

Es por ello que el presente estudio, se está enfocando a investigar los resultados al hacer uso de una nueva broca triconica en minería superficial en el Sur del Perú, para

explicar los datos se realizará un análisis comparativo de un mismo modelo de broca triconica, con la diferencia que una muestra será estándar y la otra muestra será con la nueva tecnología que se implementó llamada “Broca triconica súper sónica” para este análisis comparativo se harán pruebas en dos empresas mineras superficiales en el Sur del Perú.

Se explicará cómo es el funcionamiento de cada modelo de broca triconica y analizará la nueva tecnología implementada, para observar si hubo una mejora en el rendimiento, comparada con un modelo de broca estándar, siendo un aporte a diferentes empresas mineras, a tomar mejores decisiones al momento de seleccionar un modelo de broca triconica para un tipo de terreno específico, y disminuir costos.

El problema radica en que se tenía un costo total de perforación (TDC) mayor a los (TDC) que se tenía como meta, y esto hacía que la cantidad a compensar en los contratos sea elevada, generando un gasto para la empresa que distribuye las brocas triconicas. Por otro lado, el TDC a reducir era por cada terreno donde se perforaba con la broca triconica, ya que con ello también se puede ver en que terreno es más favorable para cada tipo de broca triconica y como es su rendimiento.

Para la prueba 1 se tiene un costo total de perforación (TDC) meta para cada tipo de terreno, en el caso que el (TDC) de la broca triconica utilizada sea mayor al (TDC) meta, la diferencia total en dólares de cada trimestre se compensará en brocas triconicas.

## **1.2. Objetivos de investigación**

### **1.2.1. Objetivo general**

Demostrar la reducción del costo total de perforación TDC en minería superficial comparando modelos de broca triconica estándar y supersónica, Perú 2024.

### 1.2.2. Objetivos específicos

- Realizar pruebas con modelo de broca triconica estándar para ver su rendimiento.
- Realizar pruebas con modelo de broca triconica supersónica para ver su rendimiento.
- Establecer un análisis comparativo de Costo total perforación TDC según el tipo de terreno en minería superficial usando el modelo de broca triconica estándar y supersónica.
- Realizar un análisis comparativo del costo total perforación (TDC) TOTAL de las brocas triconicas de modelo estándar y super sónicas.

### 1.3. Pregunta de investigación

#### 1.3.1. Pregunta general

¿Cómo demostrar la reducción del costo total de perforación TDC en minería superficial comparando modelos de broca triconica estándar y supersónica, Perú 2024?

#### 1.3.2. Preguntas específicas

- ¿De qué manera efectuar pruebas con modelo de broca triconica estándar para ver su rendimiento?
- ¿Cómo realizar pruebas con modelo de broca triconica supersónica para ver su rendimiento?
- ¿De qué manera establecer un análisis comparativo de Costo total perforación TDC según el tipo de terreno en minería superficial usando el modelo de broca triconica estándar y supersónica?
- ¿Cómo realizar un análisis comparativo del costo total perforación (TDC) TOTAL de las brocas triconicas de modelo estándar y super sónicas?

#### **1.4. Línea de investigación**

Optimización de procesos mineros: Tiene como objetivo el estudio de métodos, técnicas, procedimientos y herramientas necesarias para el desarrollo y optimización de la operación minera, cuyos resultados demostrarán la mejora en los procesos desde un aspecto operativo hasta el económico. Específicamente en el presente estudio se analizará la eficiencia en el rendimiento de la broca triconica supersónica versus la broca triconica estándar y así poder disminuir los costos operativos.

#### **1.5. Palabras clave**

Perforación, broca triconica, procesos mineros, súper sónica.

#### **1.6. Aporte del desarrollo de la tesis**

El presente estudio aportó nueva información en el desarrollo de nuevas tecnologías en la perforación minera superficial, contribuyendo a nuevas investigaciones en el futuro relacionados al tema, así como mostrar un nuevo producto para mejorar el proceso en diversas minas a cielo abierto.

Además, la presente investigación surge debido a una nueva propuesta tecnológica que se desea introducir en el mercado, dicha propuesta es un nuevo modelo de broca triconica, la cual se justifica su introducción en el mercado ya que mejorará los rendimientos operativos en el área de perforación en minería superficial.

La importancia del estudio radica en que, los resultados demostrarán que la broca triconica súper sónica tuvo mejor rendimiento que el modelo estándar, contribuyendo con el desarrollo de nuevos conocimientos y mejoras en los accesorios de perforación rotativa y se espera implementar en diversos diámetros de brocas triconicas.

Para ello, se estará utilizando datos de la empresa PDB Tools, obtenidos por una serie de pruebas que se realizaron en dos minas modelo ubicadas en el Sur de Perú, las

pruebas se desarrollaron con 2 diámetros y 2 modelos diferentes, además se utilizarán las fichas técnicas para describir las diferencias entre los dos modelos.

Al realizar el análisis comparativo de las pruebas realizadas con las brocas triconicas entre el modelo estándar y la súper sónica, se podrá verificar la mejora en la velocidad de perforación (ROP) y como consecuencia de ello una reducción de (TDC), esto podría ayudar a reducir costos.

#### **1.6.1. Justificación académica**

La presente investigación se justifica desde el punto de vista académico, porque el proceso de desarrollo y resultados servirán como un referente para otras investigaciones que aborden el mismo problema, pudiéndose aplicar en otras empresas mineras, quedando el presente estudio como un aporte al conocimiento académico ya que podrá ser utilizado como un antecedente para futuras investigaciones.

#### **1.6.2. Justificación económica**

Por otro lado, el estudio tiene una justificación económica, porque los resultados demostrarán que el uso de la broca triconica super sónica, tiene mejores resultados en el proceso, lo que se traduce como un ahorro de dinero o disminución de costos, es por ello que, los resultados del presente estudio servirán para que las empresas mineras tomen mejores decisiones.

#### **1.6.3. Justificación ambiental**

El estudio también tiene una justificación ambiental, esto debido a que, al demostrar que la broca triconica super sónica, es más eficiente al perforar una mayor velocidad de perforación en hacer los taladros, hará uso de menos combustible y como consecuencia menor emisión de CO<sup>2</sup>.

#### **1.6.4. Justificación social y de seguridad**

Al realizar un estudio de los procesos, para mejorar el rendimiento y aminorar costos, implica una revisión total del proceso, en donde se ven involucrados trabajadores, pudiendo encontrar algunas no conformidades en seguridad, dando la oportunidad de corregirlas aprovechando el presente estudio.



## 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### 2.1. Marco teórico

#### 2.1.1. Perforación en roca en minería superficial

Llaique y Sánchez (2015) indican que la perforación es la operación que da inicio al proceso de voladura, su propósito es de hacer en la roca huecos de forma cilíndrica en donde se alojaron los explosivos y accesorios iniciadores, denominados, taladros, barrenos, hoyos o blast holes, dicho trabajo es necesaria para lograr el confinamiento del explosivo, aprovechando de la mejor manera las fuerzas explosivas, existen dos formas de perforación, la perforación roto percutiva y la perforación rotativa.

A continuación, se mencionan los mecanismos de rotura de roca.

#### A. Abrasión

Como se puede observar en la figura 1, la primera fase en la cual se fractura la roca se le conoce como abrasión, siendo el mínimo peso aplicado a la broca triconica, los insertos están en contacto con la superficie de la roca con una baja presión, dando inicio a la aparición de pequeñas fisuras alrededor del inserto (Álvarez, 2022).

#### B. Fatiga

Álvarez (2022) indica que en este momento donde aumenta la presión sobre la broca, por lo que se reduce la RPM, esto conlleva a un aumento en la penetración de los insertos en el macizo rocoso, lo cual genera grietas notables, sin embargo estas no llegan a conectar entre los espacios entre insertos, en donde la roca no llega a romper, esta fase se llama fatiga.

### **C. Desprendimiento o Spalling**

Álvarez (2022) indica que en esta etapa la velocidad de rotación de toda la columna de la perforación no varía, y se aplica la presión necesaria sobre el macizo rocoso, generando una adecuada penetración del inserto, en esta etapa se obtienen las grietas y se cruzan entre las filas de cada inserto de cada cono.

### **D. Desprendimiento profundo**

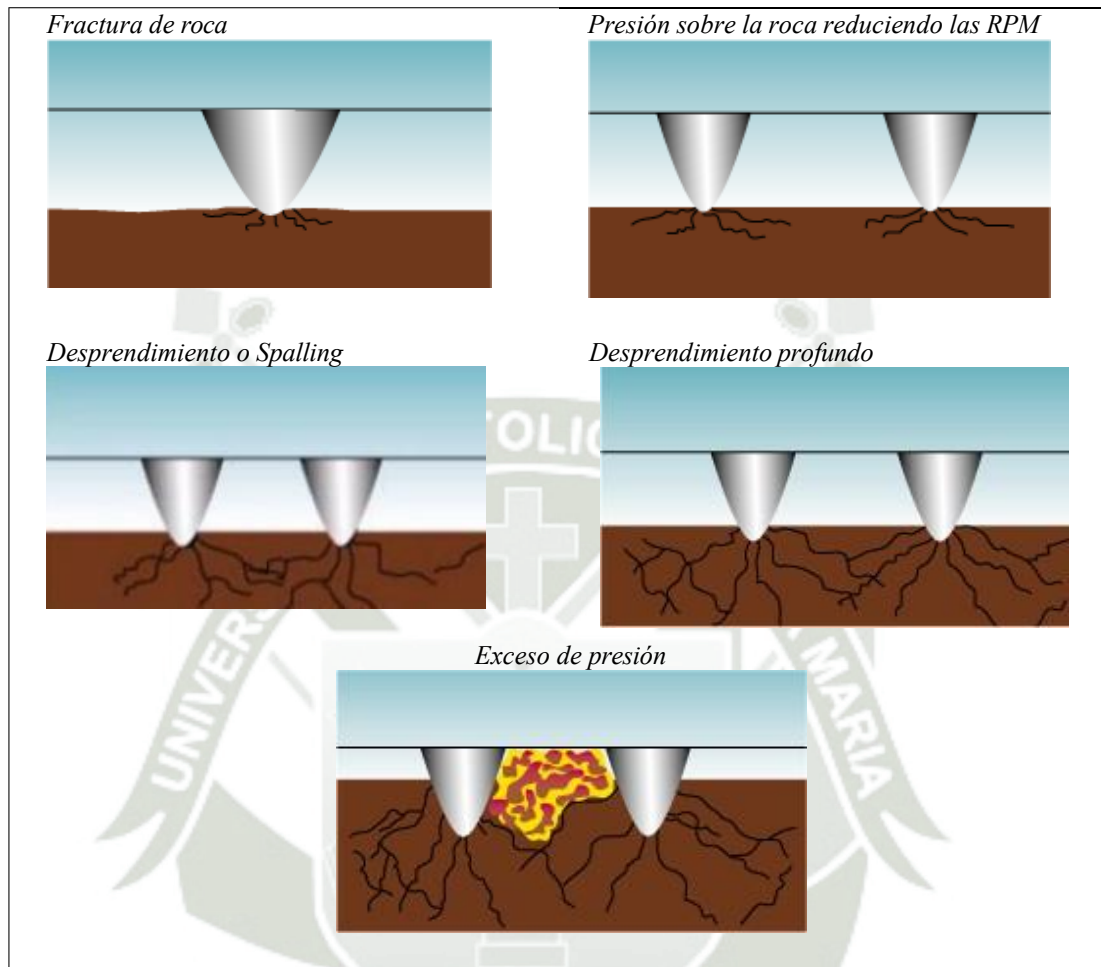
Álvarez (2022) indica que en esta fase, los insertos alcanzan una velocidad de rotación y presión en la broca triconica óptimos, originando la fractura en pequeños chips, con la ayuda de la circulación del aire, siendo expulsados fuera del taladro, en esta fase las fisuras generadas por la penetración de los insertos se cruzan entre los insertos y entre las filas.

### **E. Exceso de presión**

Álvarez (2022) cuando se llega a la fase Deep Spalling, y si se aplica peso adicional, se provoca una penetración ineficiente, este peso adicional causará la introducción de la totalidad de los insertos en la roca, reduciendo la velocidad de penetración y erosionando de manera anticipada la superficie de la broca triconica.

**Figura 1**

*Mecanismo de rotura de roca*



**Nota:** Figura elaborada con información de Álvarez (2022). Análisis y reducción del costo de perforación incrementando la velocidad de penetración en el tajo de la fase 1 de la Mina Toquepala.

### 2.1.2. Tipos de perforación

#### A. Perforación por percusión

Bellido (2004) indica que este tipo de perforación es una técnica muy antigua, su funcionamiento está basada en la caída de un pesado taladro que pulsa de manera continua y constante en el pozo, es un funcionamiento simple en el cual se ancla el barreno por

la superficie con una soga, y después pasarla por un trípode con el uso de poleas para permitir su elevación.

### **B. Perforación manual**

Seguridad Minera (2017) argumenta que este tipo de perforación se realiza con un sinfín helicoidal para la extracción y giro, al realizar esta perforación es necesario que lo desarrollen dos personas, la primera sostiene al barreno que el segundo lo golpee con una comba y luego hacerla girar en un ángulo establecido.

### **C. Perforación por rotopercusión o martillo**

Seguridad Minera (2017) indica que este método consiste en el golpeteo lineal y de manera constante de un pistón que golpea de manera directa la tierra, este impacto transporta la energía al fondo del pozo utilizando de una broca, siendo este un método moderno y complejo, el funcionamiento es a través de un equipo neumático; existen tres modos de perforadoras neumáticas:

- Jack Leg.
- Jack Hammer.
- Stoper.

### **D. Perforación hidráulica**

Seguridad Minera (2017) se trata de un equipo hidráulico altamente sofisticado que permite realizar perforaciones con un alto nivel de rendimiento, este tipo de equipo utiliza energía hidráulica para dar marcha al sistema de transmisión y control, esta operación se dirige desde un tablero de control computarizado en el que se grafica el trazo de perforación.

### **E. Perforación mecánica**

Bellido (2004) indica que para este tipo de perforación se hace uso de máquinas con sistemas mecánicos ligeros, tiene un motor de combustión interno, conectado a una caja reductora para transmitir potencia de giro a tuberías conectadas a las brocas y poder perforar el terreno, la ventaja de este tipo de sistema es que es fácil de construir, alcanzando hasta 70 metros de profundidad siendo muy económica, siendo una excelente opción para abastecer de agua a pequeñas comunidades.

### **F. Perforación por rotación**

Bellido (2004) indica que el proceso consiste en taladrar un agujero cilíndrico vertical de pequeño diámetro por medio de brocas cortantes, que ejercen un empuje giratorio de manera constante sobre la tierra, para este método utiliza la inyección constante de agua para mantener húmedo el terreno y refrigerar los barrenos o barras, para ello se utiliza brocas tipo triconos, excéntricas PDC y de arrastre.

Llaique y Sánchez (2015) también argumentan que la apertura de grandes explotaciones a cielo abierto, junto a la utilización de un explosivo barato y de gran eficiencia energética como el ANFO, esto incentiva a los fabricantes de perforadoras a diseñar equipos de mucha más capacidad, a su vez se comenzó a utilizar en forma generalizada los triconos o brocas triconicas, aire comprimido que ayuda a la expulsión de los detritus que se forma durante la perforación.

#### **2.1.3. Parámetros de perforación**

López (2003) describe que los factores externos que afectan el rendimiento de perforación, son las características de la formación rocosa, y eficiencia de la maquinaria, además de la maestría del operador, por otro lado,

las variables internas que intervienen en la perforación son:

#### **A. Peso sobre la roca (Pulldown)**

Es el sistema aplicado sobre la roca que debe ser lo necesario para vencer la resistencia a la compresión de la roca, pero se debe tener cuidado de que no sea excesivo, para evitar descartes anormales del tricono (López, 2003).

#### **B. Velocidad de rotación RPM**

Las velocidades de rotación varían desde 60 a 120 RPM para triconos con dientes de acero, y de 50 a 80 RPM para triconos de insertos de carburo de tungsteno, mencionar que esto depende del terreno y de IADC que tiene el tricono, también el límite de velocidad de rotación está determinado por el desgaste de los rodamientos, que depende del empuje, limpieza del taladro, temperatura y rotura de insertos (López, 2003).

#### **C. Presión de rotación**

Conocido también como torque, es un indicador de la presión ejercida a la roca, combinando con el Pulldown y la velocidad de rotación en el fondo del taladro (López, 2003).

#### **D. Caudal de aire**

El aire es un factor primordial en la operación ya que si la perforación se efectúa con menos aire, no permitirá limpiar con eficiencia el taladro, produciéndose disminución de velocidad en la penetración, aumento del empuje necesario para la perforación, incremento de averías en toda la columna de perforación. (López, 2003).

#### **2.1.4. Brocas de perforación**

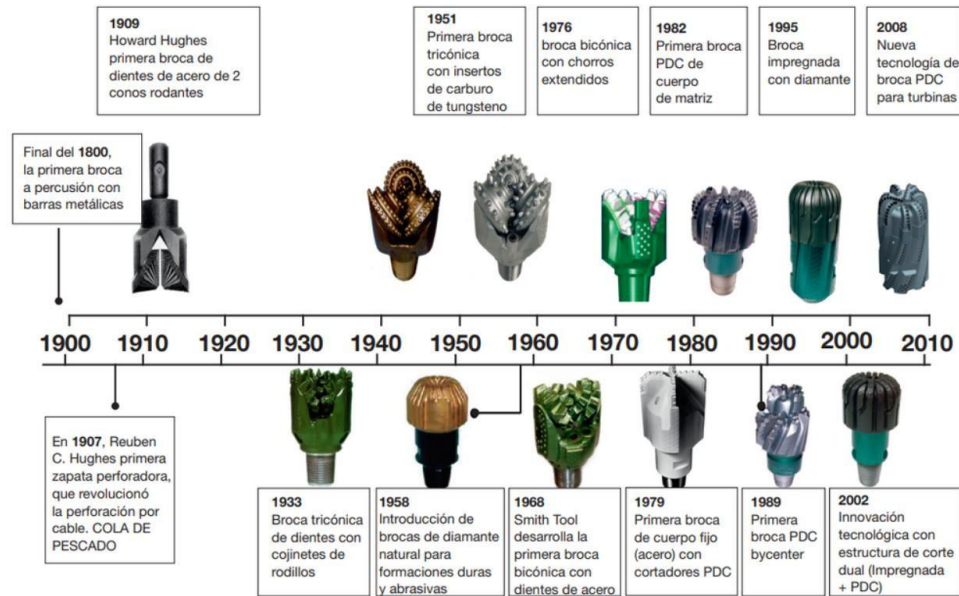
Quilca (2012) no menciona que las brocas de perforación son herramientas que permiten el corte de formaciones situadas en la roca, debido a su capacidad de corte y trituración por medio del proceso de rotación, las brocas están situadas en la parte inferior, juntamente con la tubería de perforación, que al recibir la potencia del sistema de transmisión logran perforar de manera ascendente formaciones rocosas venciendo la resistencia a la compresión. Existen diferentes tipos de brocas, caracterizándose por su mecanismo de corte o su sistema de rodamiento.

#### **2.1.5. Origen de la broca triconica**

La broca triconica es un invento de aproximadamente el año 1933, realizado por Howard R. Hughes, empresario estadounidense, el fue el fundador de Hughes Tool Company, especializada en la fabricación de brocas para la industria petrolera, anteriormente la broca más utilizada era la broca de rodillo de dos conos, con limitaciones para perforar formaciones de roca dura; es por ello que Hughes reconoció la necesidad de diseñar una herramienta de perforación eficiente, resistente a una gama más amplia de condiciones geológicas, siendo la solución a ese problema la broca triconica, la que presentaba tres conos giratorios en lugar de dos, permitiendo una distribución más uniforme del peso y una mejor acción de corte, facilitando la perforación, a continuación se muestra una figura con la evolución histórica del desarrollo de la tecnología de perforación

**Figura 2**

*Avances históricos en el desarrollo de la tecnología de perforación*



*Nota:* Obtenido de Barrenas de perforación <https://brocasdeperforacion.com/>

## 2.1.6. Clasificación de las brocas

### A. Brocas de cuerpo fijo o arrastre

Estas brocas tienen un cuerpo sólido de acero, con elementos constantes impregnados o soldados en la parte inferior, que sirve para perforar las formaciones en la tierra, existen tres tipos de brocas con dichas características, las cuales son:

- **Excéntricas**

Ramos (2011) según el autor estas brocas tienen una geometría única, que permite perforar y ensanchar de manera simultánea, su mecanismo de corte se da por cizallamiento, que permite perforar sin provocar impactos en la misma, pudiendo adquirir volúmenes de corte apreciables y con aumento en la tasa de penetración.

**Figura 3**

*Broca excéntrica*



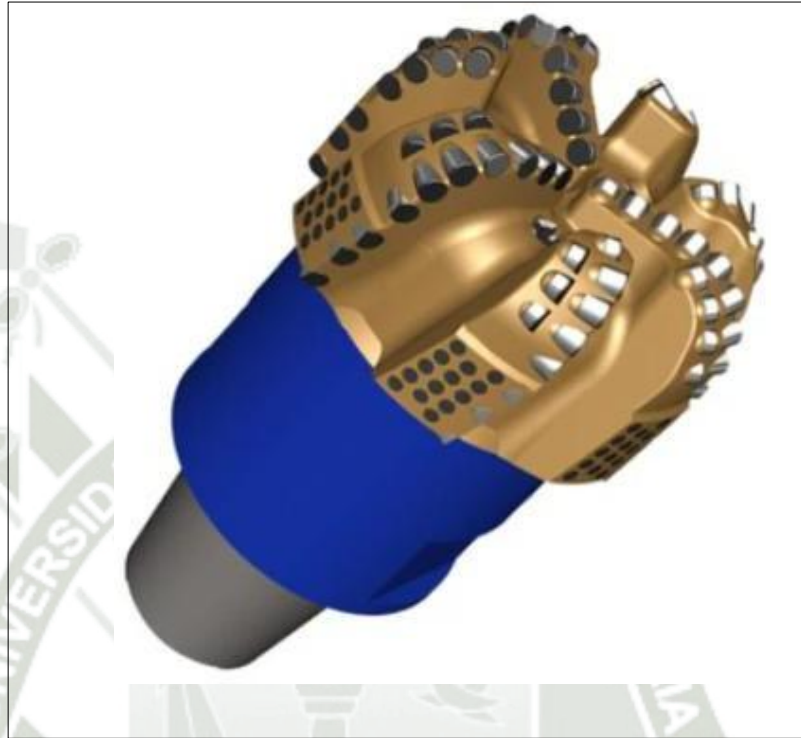
*Nota:* Figura obtenida de JINQUAN Rock Drilling Tools.

- **PDC**

PDC significa "compacto de diamante policristalino". Las brocas PDC son herramientas de perforación que tienen cortadores de diamante sintético en lugar de dientes de metal endurecido, la característica de estas brocas es que son compactas, siendo su principal estructura de corte las capas de diamante policristalino sintéticas o naturales, unidas a un sustrato de carburo de tungsteno en procesos que aplica alta presión y temperatura, estas brocas están diseñadas para superficies blandas consiguiendo elevadas velocidades de taladro, cabe aclarar que estas brocas no se pueden utilizar en estructuras duras en la roca porque están sujetas a un elevado desgaste mecánico durante la perforación.

**Figura 4**

*Broca PDC*



*Nota:* Figura obtenida de FENG SU  
<https://pdcdrill.com/es/blogs/blog/pdc-drill-bit>

- **Diamantes naturales y de insertos**

Ramos (2011) menciona que estas brocas están constituidas por diamantes colocados en una matriz de carburo de tungsteno, competente para formaciones rocosas de alta dureza y abrasividad, los puntos importantes en esta broca son los diamantes, el mecanismo de corte y el número de diamantes; dichos puntos son importantes ya que de ellos depende de una correcta perforación de forma vertical, estas brocas tienen el mismo mecanismo de corte que las brocas PDC y excéntricas.

**Figura 5**

*Broca de diamantes naturales y de insertos*



*Nota:* Figura obtenida de Cangzhou Lockheed Petroleum Machinery Co., Ltd. [https://www.made-in-china.com/sendInquiry/prod\\_oSsxBeIDHmYE\\_mbVJDqIrOcUk.html?plant=es&from=shrom&type=down&page=p\\_detail&pv\\_id=1ilos1uc5ee6&faw\\_id=1ilos3218ff3](https://www.made-in-china.com/sendInquiry/prod_oSsxBeIDHmYE_mbVJDqIrOcUk.html?plant=es&from=shrom&type=down&page=p_detail&pv_id=1ilos1uc5ee6&faw_id=1ilos3218ff3)

## **B. Brocas de conos o elementos rodantes**

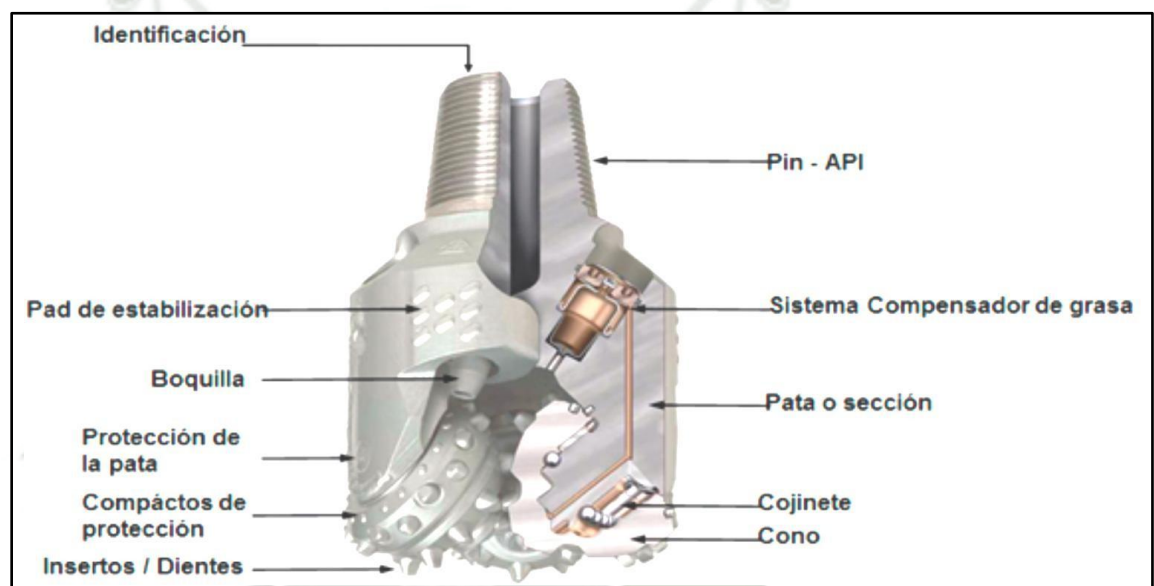
Salaz (2019) indican que son brocas utilizadas desde hace mucho tiempo, debido a que el diseño de sus dientes y cojinetes permiten la perforación en diferentes tipos de terrenos, su funcionamiento es por medio de conos que giran alrededor de su mismo eje a medida que se ejerce la presión.

- **Brocas triconicas**

Ramos (2011) menciona que la broca triconica tiene una gran variedad de diseño como son de dientes y tipos de cojinetes que permiten su uso en diferentes tipos de formaciones rocosas, como principal principio es el movimiento de los conos que giran alrededor de sus mismos ejes a medida que la broca lo hace sobre el fondo del taladro perforado, como se muestra en la siguiente figura.

**Figura 6**

*Broca triconica*



**Nota:** Información obtenida de Ramos (2011) de Orlando Gordon R: seminario de brocas de perforación. Nivel básico.

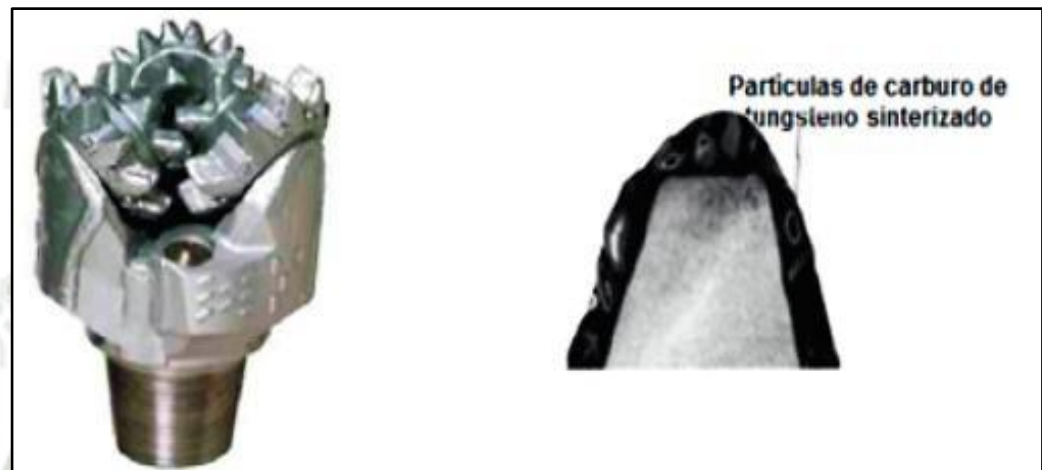
Algo importante en las brocas triconicas es el diseño de los dientes y el tamaño que tienen, se toma el principio de si es una formación de roca blanda los dientes son largos y descentralizados, por otro lado para formaciones de roca dura son dientes pequeños con menor descentralización; estos dientes vienen del siguiente tipo:

- **Dientes de Acero:** Ramos (2011) argumenta que están constituidos por dientes tallados en el cono de acero forjado, esta tiene una estructura de

corte más agresiva, para darle mayor resistencia los dientes son recubiertos con soldadura de partículas de carburo de tungsteno, como se aprecia en la siguiente figura.

### Figura 7

*Broca triconica con dientes de acero*



**Nota:** Información obtenida de Ramos (2011) de Orlando Gordon R: *seminario de brocas de perforación. Nivel básico.*

- **Dientes con insertos de carburo de tungsteno:** Ramos (2011) indica que estos tienen un diseño en forma de cincel para formaciones de roca blanca y en forma de semiesférica para formaciones dura; esto dientes constituidos por componentes de carburo de tungsteno insertados a presión en orificios calibrados en el cono forjado; generalmente se utiliza en formaciones duras a muy duras, tiene un mecanismo de corte que es mediante impacto y fractura de la formación, como se muestran en la siguiente figura.

**Figura 8**

*Insertos de carburo de tungsteno*

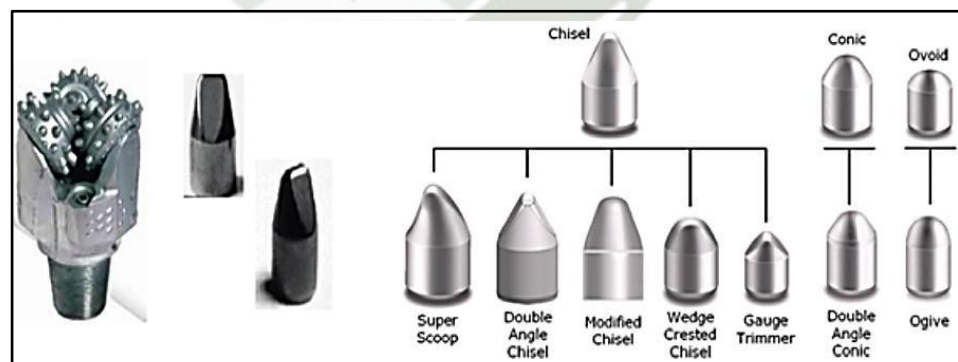


**Nota:** Información obtenida de Ramos (2011) de Orlando Gordon R: *seminario de brocas de perforación. Nivel básico.*

Hablando de la composición de los insertos, el tungsteno le da al inserto la dureza requerida y resistencia al desgaste; por otro lado el cobalto provee la resistencia al quiebre, el cual es obtenido por un proceso metalúrgico de sinterización.

**Figura 9**

*Comparación de los dientes*



**Nota:** Información obtenida de Ramos (2011) de Orlando Gordon R: *seminario de brocas de perforación. Nivel básico.*

Por otro lado Arribasplata y Alvarado (2020) indican que las brocas triconicas su característica es que cuentan con tres conos que van cortando y giran sobre su propio eje, y varían de acuerdo a su estructura de corte, pudiendo tener dientes de acero fresado o de insertos de carburo de tungsteno, el trabajo que realizan dichas brocas se basa en coordinación de dos acciones.

- **Indentación:** Los insertos de cada cono penetran en la roca debido al empuje sobre la roca, siendo este mecanismo equivalente a la trituración de la roca.
- **Corte:** Los fragmentos de la roca son formados debido al movimiento lateral de desgarre de los conos, cuando gira sobre el fondo del taladro.

### C. Broca triconica super sonica

Este invento de la empresa PDB TOOLS que es su broca triconica super sónica con sus siglas SS, donde estas siglas viene acompañando en el IADC de cada una de ellas para poder identificarlas, viene a dar un nuevo concepto de perforación al implementar un sistema de percusión asistida por aire en cada faldón del tricono, donde cada uno hará una serie de impactos que ayudará al proceso de fracturación y indentacion de la broca triconica con la roca.

**Figura 10** *Broca triconica super sónica*



**Nota:** *Presentación de la broca triconica super sónica PDB TOOLS..*

### **2.1.7. Código IADC (International Association of Drilling Contractors)**

Según lo mencionado en el manual de perforación y voladura, Pernia et al. (2003) indica que el IADC es un código que describe un sistema de designación de triconos donde se especifica el tipo de broca (dientes o insertos), y la formación rocosa para la que se está dirigiendo y algunos criterios de diseño de este, como se observa en la siguiente tabla.

**Tabla 1**

*Código IADC (International Association of Drilling Contractors)*

<b>PRIMER DIGITO</b>		
TRICONOS DE DIENTES	1-X-X	Formaciones blandas con baja resistencia a la compresión y alta perforabilidad.
	2-X-X	Formaciones de tipo medio y semiduras, con alta resistencia a la compresión.
	3-X-X	Formaciones semiduras abrasivas.
	4-X-X	(Reservado para usos futuros)
TRICONOS DE INSERTO	5-X-X	Formaciones blandas a medias con baja resistencia a la compresión.
	6-X-X	Formaciones semiduras con alta resistencia la compresión.
	7-X-X	Formaciones semiduras y abrasivas.
	8-X-X	Formaciones muy duras y abrasivas.
<b>SEGUNDO DIGITO</b>		
	X-1-X	Designa la clasificación de dureza de la roca de blanda a dura en cada clase de la serie.
	X-2-X	
	X-3-X	
	X-4-X	
<b>TERCER DIGITO</b>		
Establece distintas características en relación a rodamientos y diseño espacial de los insertos de la fila exterior de los conos.		
	X-X-1	Tricono estándar de rodamientos cilíndricos abiertos.
	X-X-2	Tricono estándar de rodamientos cilíndricos abiertos y barrido exclusivamente con aire.
	X-X-3	Tricono estándar de rodamientos cilíndricos abiertos, con insertos especiales de carburo de tungsteno en el tacón exterior de los conos.
	X-X-4	Tricono de rodamientos cilíndricos sellados.
	X-X-5	Tricono de rodamientos cilíndricos sellados con insertos especiales de carburo de tungsteno en el tacón exterior de los conos.
	X-X-6	Tricono de cojinetes de fricción sellados.
	X-X-7	Triconos de cojinetes de fricción sellados con insertos especiales de carburo de tungsteno en el tacón exterior de los conos.

**Nota:** Información obtenida de Pernia et al. (2003).

### 2.1.8. Características geomecánicas que afectan la perforación

Según Correa (2009) los elementos que afectan la perforación serán las características físicas y mecánicas de las rocas, la presencia de estratos resistentes y rasgos estructurales, además las propiedades físicas y mecánicas importantes de las rocas que afectan la perforación serían:

#### a) Densidad

Existen dos tipos de densidades, unas menos densas y otras más densas, las primeras se deforman y se rompen con facilidad, los que necesitan un factor de energía relativamente bajo, en las rocas con alta densidad necesitan una cantidad elevada de energía para lograr una fragmentación en la roca (Correa, 2009).

#### b) Resistencias estáticas

Son parámetros que indican la condición de la roca a la voladura, siendo la relación resistente a la compresión, resistencia a la tracción, estando relacionado a una mayor facilidad para fragmentar la roca (Correa, 2009)

#### c) Tenacidad

Muestra la capacidad de un material para poder absorber energía en el momento de la deformación plástica, esta energía se mide por debajo de la curva esfuerzo/deformación, el módulo de tenacidad, es el límite máximo de energía de deformación por unidad de volumen que el material puede absorber sin fracturarse (Correa, 2009).

#### d) Resiliencia

Es la capacidad de los materiales de absorber energía en el rango elástico, es el límite máximo de energía de deformación por unidad de volumen que el material puede absorber hasta el límite

elástico, en un alto unidad de resiliencia el material exhibe un alto esfuerzo en el límite elástico (Correa, 2009).

**e) Rigidez**

Es un factor de proporcionalidad entre el esfuerzo normal y la deformación relativa que sufre una muestra de roca, dependiendo contenido que tiene, como la composición mineralógica, porosidad, tipo de deformación y magnitud de la carga aplicada (Correa, 2009).

**f) Resistencias dinámicas**

Las resistencias de las rocas se incrementan con la velocidad de carga y pueden llegar en algunos casos alcanzar valores entre 5 y 13 veces superiores a las estáticas, siendo beneficioso determinar en laboratorio las resistencias al impacto, con el fin de elegir los explosivos que desarrollen esfuerzos inferiores o iguales a la resistencia de la compresión dinámica de la roca (Correa, 2009).

**g) Porosidad**

Es la porosidad intergranular primaria o de formación, su distribución en el macizo rocoso se puede considerar uniforme y que provoque efectos como la atenuación de la energía de la onda de choque, disminuyendo de la resistencia dinámica a la compresión y un incremento de la trituración (Correa, 2009).

**h) Dureza y penetración**

En este factor la eficiencia y economía del proceso de fracturación del macizo rocoso, se basa en gran parte por la aplicación exitosa de taladros perforadores, ya sean de percusión o rotación, se presentan casos en los que ciertos tipos de roca dura resultan más fáciles de perforar que rocas de menor dureza, por sus características de fragilidad y desmoronamiento (Correa, 2009).

### 2.1.9. Total Drilling Cost (TDC)

Para hacer el cálculo comparativo entre estos dos modelos de brocas triconicas, diversas unidades utilizan la fórmula matemática que es el Total Drilling Cost (TDC), esta fórmula está en unidades de dólares por metro perforado.

$$TDC = \frac{\text{Costo del Tricono (\$)}}{\text{Total de Metros}} + \frac{\text{Costo Horario del Eq. de Perf. (\$)} \left(\frac{h}{m}\right)}{\text{Velocidad de Penetracion} \left(\frac{m}{h}\right)}$$

### 2.2. Antecedentes

Rivera (2023) realizó un estudio titulado “Implementación de herramienta digital y taller de afilado para la optimización de brocas y sistema de perforación en la Unidad Minera Orcopampa 2022”, tuvo como objetivo evaluar la optimización del consumo de brocas y del sistema de perforación mediante la implementación de un taller de afilado y una herramienta digital. El estudio aplicó un método experimental con enfoque correlacional, utilizando como técnica la revisión documental de los registros diarios de accesorios y parámetros de perforación. Los resultados evidenciaron que la puesta en marcha del taller de afilado y la herramienta digital reduce el costo total del sistema de perforación, concluyéndose, a través del modelo de regresión, que su implementación mejora la eficiencia económica del proceso en la Unidad Minera Orcopampa.

Villalta (2022) abordó un estudio titulado “Modelo predictivo de rendimiento de triconos aplicado a la perforación rotativa en un yacimiento tipo pórfido cobre y molibdeno” tuvo como objetivo principal desarrollar un modelo predictivo que permita interpretar la eficiencia operativa de las brocas tricónicas en condiciones reales de perforación, además de estimar su rendimiento durante las operaciones en campo. El método de investigación adoptado fue de tipo aplicativo y nivel correlacional. La población estuvo constituida por los registros diarios obtenidos entre enero y marzo del año 2021 en cinco unidades geotécnicas básicas, mientras que la muestra consideró 109 brocas seleccionadas mediante un análisis probabilístico. Los resultados demostraron que la eficiencia operativa de las brocas tricónicas, expresada en metros perforados, depende

de tres variables fundamentales: empuje promedio, presión aplicada y velocidad de rotación de los conos. El análisis estadístico evidenció diferencias en el comportamiento entre las brocas utilizadas en material mineralizado y en desmante, determinándose un modelo de predicción basado en la velocidad promedio, el empuje adecuado y la correcta indentación.

Casafranca (2022) desarrolló un estudio titulado “Aplicación de un nuevo diseño de brocas para optimizar los parámetros de perforación del Tajo Toromocho – Minera Chinalco S.A.” tuvo como objetivo general alcanzar la optimización de los parámetros de perforación mediante la implementación de un nuevo diseño de brocas. La metodología aplicada en el desarrollo del estudio se basó en un razonamiento lógico, en el cual se realizaron procesos de análisis, deducción y síntesis, clasificándose además como una investigación de tipo aplicada y de nivel exploratorio. La población estuvo conformada por las brocas utilizadas en las distintas etapas de perforación del Tajo Toromocho de Minera Chinalco S.A., mientras que la muestra correspondió a las brocas empleadas durante la fase 1 de perforación. Las técnicas de recolección de datos incluyeron la revisión de registros históricos, la observación directa y la consulta bibliográfica especializada. Los resultados evidenciaron que las brocas tricónicas tipo SP45 presentaron baja velocidad de penetración y desgaste prematuro, lo que representó un rendimiento limitado; en cambio, con las brocas tipo SG45 se logró mayor velocidad y mejor desempeño operativo. Finalmente, se concluye que, aunque se registraron mejoras de rendimiento, no se alcanzó la optimización total de los parámetros de perforación requeridos.

Vallejos (2022) realizó una investigación titulada “Optimización del proceso de perforación DOWN THE HOLE PRECORTE a través de un estudio comparativo de brocas” tuvo como propósito principal reducir el costo total de la perforación de precorte mediante la evaluación comparativa del desempeño de distintas brocas. La investigación se desarrolló bajo un método de tipo aplicativo y enfoque experimental, concluyendo que fue posible disminuir el costo global de perforación a partir de una prueba de campo con diferentes modelos de brocas, determinándose que la marca Mincon registró el menor costo total de perforación, con un valor de 7.60 \$/m. Asimismo, se verificó que la broca

cóncava logró una reducción de 11.32 % y la broca convexa una disminución de 7.82 % en comparación con el costo total de perforación obtenido con la broca Drilco.

Por su parte, Álvarez (2022) desarrolló el estudio titulado “Análisis y reducción del costo de perforación incrementando la velocidad de penetración en el tajo de la fase 1 de la Mina Toquepala”, cuyo objetivo principal fue plantear una propuesta para mejorar el proceso de perforación incrementando la velocidad de penetración de las brocas tricónicas, lo que influye directamente en el costo total. Los resultados mostraron que, en las fases 4 y 5, un aumento de la velocidad de perforación de 24.98 m/h a 32.72 m/h representó un incremento del 30.95 % respecto al promedio, reduciendo el costo de 16.75 \$/m a 12.61 \$/m, mientras que en la fase 4, el aumento de 29.78 m/h a 44.11 m/h implicó una disminución del costo total de perforación de 15.57 \$/m a 11.66 \$/m.

Costos (2021) realizó una investigación titulada “Evaluación de brocas triconicas para mejorar los KPI’s de perforación en la unidad minera Toromocho año 2020” tuvo como finalidad analizar el comportamiento y desempeño de las brocas tricónicas durante y después de las operaciones de perforación realizadas en la Unidad Minera Toromocho en el año 2020. La justificación del estudio se basa en que, a través de la evaluación técnica de las brocas tricónicas, fue posible cumplir los objetivos operativos establecidos por la empresa minera, verificando además que los modelos de brocas utilizados fueron los adecuados para las condiciones del terreno. Se determinó que, conforme a la metodología aplicada, cualquier modelo de broca tricónica evaluado constituye una base de datos útil para la toma de decisiones futuras. Finalmente, se recomienda emplear el formato denominado “Análisis Dull Bits” como herramienta técnica para valorar y concluir sobre el rendimiento de los distintos modelos de brocas tricónicas.

Arribasplata y Alvarado (2020) realizaron un estudio cuyo título fue “Evaluación de las brocas triconicas WLS 50-60-70 y MT 60-70 en relación a la productividad y costos de perforación de una empresa minera, Cajamarca 2020” tuvo como objetivo principal analizar el desempeño de las brocas WLS 50-60-70 y MT 60-70 respecto a la productividad y los costos de perforación generados para la empresa minera. El estudio se desarrolló bajo un enfoque aplicado de tipo cuasi experimental, considerando como población a 100 brocas tricónicas empleadas durante las operaciones de perforación. La

muestra estuvo compuesta por 50 brocas del proveedor WLS y 50 del proveedor MAMMOTH, utilizadas entre los meses de agosto y diciembre. Las técnicas empleadas incluyeron la observación directa, el análisis documental, el trabajo de campo y la evaluación estadística. Los resultados comparativos mostraron que las brocas WLS 50-60-70 alcanzaron 222,090.18 metros perforados, mientras que las MT 60-70 lograron 178,608.71 metros, concluyéndose que las primeras presentaron mayor productividad con una diferencia de 43,481.47 metros adicionales de perforación.

Martel y Águila (2020) realizaron una investigación titulada “Reducción de costos de perforación mediante la optimización del rendimiento de brocas triconicas de 6 3/4 de pulgadas de diámetro y un aumento del porcentaje de utilización de las perforadoras en una mina a cielo abierto” tuvo como propósito disminuir los costos de perforación rotativa, mediante la optimización del rendimiento de las brocas triconicas de 6 3/4 pulgadas de diámetro y el incremento del porcentaje de aprovechamiento de las perforadoras en una operación minera a cielo abierto. El método aplicado fue comparativo de desempeño, y la investigación determinó que, al estandarizar una marca específica, se consiguió un incremento del 10% en los metros perforados, logrando una reducción de 0.25 dólares por metro perforado, con un ahorro anual aproximado de 87 mil dólares.

Montoya (2019) realizó una investigación titulada “Optimización de procesos en la perforación mediante un estudio comparativo de brocas triconicas en la unidad minera Toquepala - Southern Perú Cooper Corporation 2018” tiene como objetivo exponer la factibilidad de la reducción de los costos del ciclo de minado, aplicando para ello estándares mejorados de trabajo y control de las principales operaciones unitarias de minado que son la Perforación y Voladura. El trabajo consta de capítulos de los cuales el Segundo Capítulo, abarca el modelo teórico en el cual está basada la tesis, perforación rotativa, triconos y el Total Drilling Cost, además de las variables y el grafico del modelo.

Salas (2019) realizó una investigación titulada “Optimización en el proceso de perforación aplicando la Percusión asistida en el sistema rotativo (PARD) para Aumentar la productividad en operaciones a tajo abierto”, la investigación tuvo como finalidad

mejorar el proceso de perforación mediante la aplicación del sistema PARD, con el propósito de incrementar la productividad y disminuir los costos en operaciones mineras a cielo abierto ubicadas en el sur del país. El sistema PARD consiste en una perforación rotativa asistida por impactos de alta frecuencia y baja intensidad, generando energía adicional a través del empuje (pulldown) y la rotación, favoreciendo la fracturación de las formaciones rocosas; además, combina dos técnicas de perforación que permiten aumentar la velocidad de penetración, evidenciando resultados positivos en zonas de roca extremadamente dura.

Umasi (2013) realizó una investigación titulada “Estudio de comparación entre rendimientos en brocas de 12 ¼” en yacimientos skarn a tajo abierto para selección óptima” el propósito del estudio consiste en realizar un análisis comparativo entre distintas marcas de fabricantes de brocas, cuyos niveles de desempeño presentan variaciones, con el fin de evaluar las diferencias entre los rendimientos óptimos de brocas de 12 ¼” de diámetro pertenecientes a las marcas Atlas Copco, Sandvik, Varel y PDB, aplicadas en yacimientos skarn metamórficos de contacto a tajo abierto del sur medio, los cuales se desarrollan principalmente en cuatro tipos de formaciones rocosas distintas.

### **2.3. Hipótesis**

Al realizar las pruebas con el modelo de broca triconica supersónica, se podría demostrar una reducción del costo total de perforación TDC, en comparación con la broca triconica estándar.

### **2.4. Variables**

#### **2.4.1. Variable independiente**

Modelos de brocas triconicas utilizadas en las pruebas que se realizaron en dos operaciones mineras. Los modelos de brocas triconicas utilizados para las pruebas son dos, de los cuales uno de ellos es del modelo super sónico que está diseñado para mejorar el rendimiento que se tiene utilizando un modelo estándar de brocas triconicas (PDB Tools 2024).

## 2.4.2. Variable dependiente

Costo total de perforación TDC.

**Tabla 2**

*Propuesta de análisis estadísticos de datos*

TIPO DE VARIABLE	VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	DIMENSION	INDICADOR	INSTRUMENTO	
Variable independiente	Modelos de brocas triconicas utilizadas en las pruebas que se realizaron en dos operaciones mineras.	Los modelos de brocas triconicas utilizados para las pruebas son dos, de los cuales uno de ellos es del modelo super sónico que está diseñado para mejorar el rendimiento que se tiene utilizando un modelo estándar de brocas triconicas. (PDB Tools 2024)	Prueba con la broca	Diámetro de la broca triconica	Pulg	
			triconica estándar	Modelo de broca triconica	IADC	
				Diámetro de Nozzle	mm	
				Diámetro de la broca triconica	Pulg	
			Prueba con la broca triconica super sónica	Modelo de broca triconica	IADC	
				Diámetro de Nozzle	mm	
				El costo total de perforación de la broca triconicas estándar	Metros perforados	m
					Velocidad de perforacion	m/h
					Costo total de perforación TDC	\$/m
				El costo total de perforación es un concepto de valor que pone su énfasis en el costo de la productividad de perforación. (Valencia, 2018)	El costo total de perforación de la broca triconicas super sónica	Metros perforados
Variable dependiente	Costo total de perforación TDC			Velocidad de perforacion	m/h	
				Costo total de perforación TDC	\$/m	
				Velocidad de perforacion	m/h	
				Velocidad de perforacion	m/h	

---

Costo total de  
perforación TDC \$/m

---





### CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. Alcances y limitaciones

Lo que se realizó fue un análisis comparativo entre dos modelos de brocas triconicas que son la estándar y la super sónica; la manera en que se desarrolló la comparación, fue mediante pruebas de perforación en dos unidades mineras en el sur de Perú; con ello se obtuvieron los cálculos del costo total de perforación de cada modelo de broca triconica y así se determinó quien tuvo un mejor rendimiento.

Como limitaciones en la presente investigación no se tuvo ninguna, ya que la cantidad de brocas triconicas de cada modelo para realizar las pruebas son las indicadas para hacer una comparación de rendimientos y ver cual modelo fue el más óptimo para reducir el costo total de perforación TDC; además se obtuvieron los permisos respectivos, y la plena accesibilidad a la información, ya que el investigador actualmente trabaja directamente en este rubro.

#### 3.2. Tipo y diseño de la investigación

La presente investigación fue de tipo aplicada, ya que este tipo de investigaciones busca una modificación en la realidad, por medio de la aplicación o modificación de sistemas, aportando al conocimiento científico (CONCYTEC, 2018)., además el enfoque fue el cuantitativo, basado en modelos estadísticos para la comparación de resultados, (Hernández et al., 2014)., el alcance aplicado fue el descriptivo, porque se describió el rendimiento de las brocas triconicas en las dos empresas mineras, con dicha información se realizó el análisis comparativo.

#### 3.3. Población y muestra

La población estuvo compuesta por las brocas triconicas utilizadas en el último semestre de las dos empresas mineras ubicadas en el Sur del Perú que hacen un total de 41 brocas triconicas, el muestreo fue el no probabilístico, y como muestra en la siguiente tabla se utilizó una de cada modelo en cada mina, las que tuvieron mejor rendimiento.

**Tabla 3***Cantidad de brocas triconicas con diámetro de 11" utilizadas por modelos*

<b>Etiquetas de fila</b>	<b>Cuenta de broca</b>
Ti6X - A	6
TiP6ZSS	5
<b>TOTAL</b>	<b>11</b>

**Tabla 4***Cantidad de brocas triconicas con diámetro de 10 5/8" utilizadas por modelos*

<b>Modelo</b>	<b>Cuenta de serie</b>
10 5/8" Tip5ZSA6	7
10 5/8" TiP5ZSS SA6	15
10 5/8" TiP6ZSS SA6	8
<b>TOTAL</b>	<b>30</b>

### **3.4. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Como técnicas de recolección de datos se utilizó la revisión documental de las fichas de registro de datos diaria y sistemas de perforación, y como instrumentos se utilizó el programa de procesamientos de datos Excel y SPSS, y las fichas de registro diarias, la información será obtenida de la empresa PDB Tools.

### **3.5. Plan de análisis estadísticos de datos**

Se realizó un análisis por medio de técnicas estadísticas descriptivas como son promedio, valores máximos, tablas y gráficas.



## CAPÍTULO VI

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 4.1. Resultado de las pruebas con el modelo de broca triconica estándar

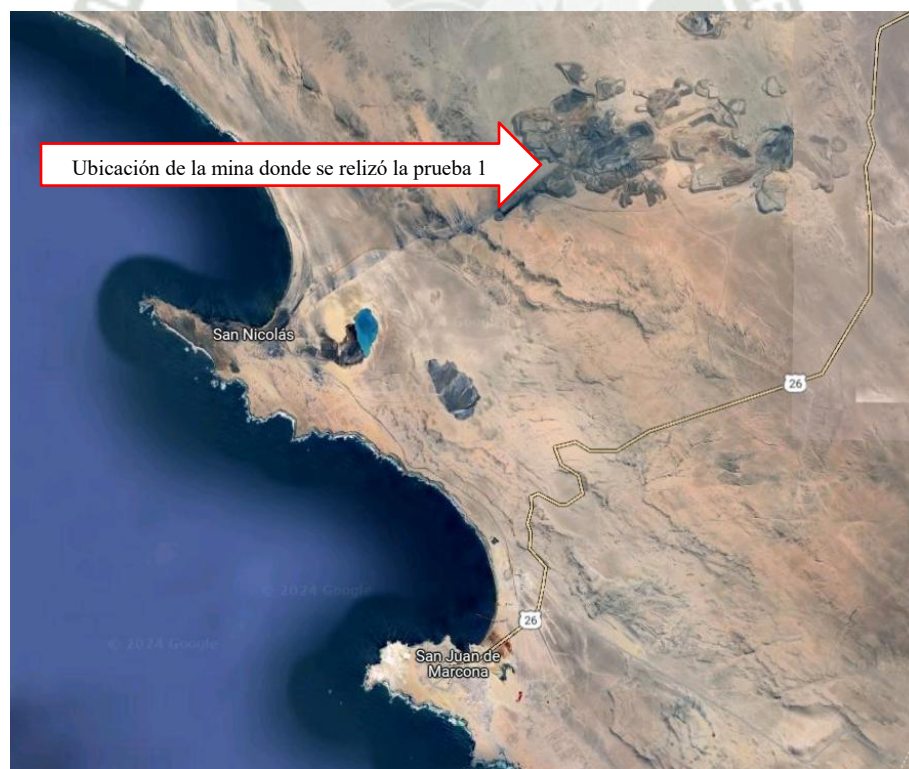
El presente punto está relacionado directamente con el objetivo específico número uno, cuyas pruebas fueron realizadas en el proyecto ubicado en el distrito de Marcona, provincia de Nazca, departamento de Ica, como se muestra en las siguientes figuras.

#### 4.1.1. Ubicación de la prueba 1

A continuación, se muestra donde se desarrolló la primera prueba de las brocas triconicas.

#### Figura 11

*Ubicación de la prueba 1*



**Nota:** Información obtenida de Google Maps (s.f.)

Como se puede observar, se pusieron a prueba un total de 6 unidades de brocas de modelo estándar con NOZZLES de 19 milímetros, donde las siglas de las brocas triconicas TI6X-A vienen a ser “TI = Titanium, IADC 600, X=3 de rodamientos sellados y A de fino API, los resultados se muestran a continuación.

**Tabla 5**

*Resultados de la prueba a las brocas triconicas estándar*

MODELO	BROCA	METROS TOTAL	ROP (m/h) TOTAL	PDC (\$/m) TOTAL
TI6X - A	601124	629.30	20.85	4.34
	601282	1 132.60	29.22	2.41
	601283	593.00	22.20	4.60
	601284	2 106.30	24.14	1.30
	601287	1 245.40	20.52	2.19
	601290	1 398.00	24.99	1.95

**Nota:** *Tabla de elaboración propia con información de PDB TOOLS INC.*

Como se puede observar en la tabla se plasma información sobre los metros (MTS) perforados, horas totales y la velocidad de perforación (ROP) metros por hora.

**Figura 12**

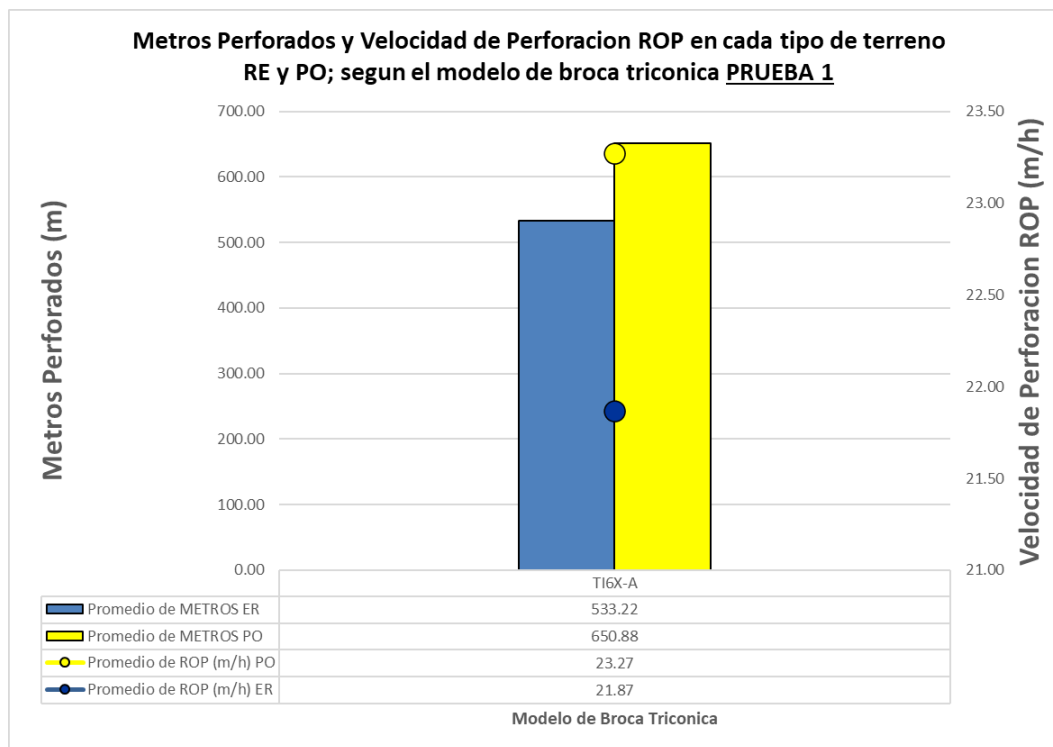
*Broca triconica modelo estándar*



**Nota:** *Imágenes obtenidas de PDB TOOLS INC.*

**Figura 13**

*Rendimientos promedio de metros perforados y velocidad de perforación de las brocas de modelo estándar por terreno (PO) mineral y (ER) encapado de roca*



**Nota:** *Elaboración propia con información de PDB TOOLS INC.*

Las brocas estándar tuvieron mejor rendimiento en terreno (PO) mineral con una perforación promedio de 650.88 metros, el rendimiento (ER) encapado en roca con un valor de 533.22 metros. En terreno (PO) mineral la velocidad promedio de perforación (ROP) metros por hora es de 23.27 m/h este resultado muestra una mejor velocidad que en encapado en roca (ER) en la cual se tuvo una velocidad de perforación promedio de 21.87 m/h metros por hora.

A continuación, se muestra el reporte de cada una de las 6 brocas estándar, que participaron en la perforación de la prueba 1, en el cual se evidencian las brocas descartadas.

**Figura 14**

*Broca estándar 601124 modelo TI6X-A*

<b>REPORTE DE BROCA DESCARTADA</b>					Fecha inicio	29/10/2023	
					Fecha descarte	11/11/2023	
N° Equipo	PER - D8	Mod. Equipo	DM75	Nozzle	19 mm	FASE	Mina 14
Marca	PDB TOOLS	Serie	601124	Diámetro	11"	Tipo/Modelo	TI6X-A
Pulldown	2500 - 3000	RPM	80 - 100	Presión de Aire	---	Agua	---
Metros Acum.	629.30 m	Horas Acum.	30.18 h	Velocidad	20.85 m/h	TDC	13.93 \$/m
Causa de Descarte	<b>Broca descartada prematuramente por rotura y marcas de calentamiento en insertos.</b>					NIVEL	530
						PROYECTO	1
						Tipo de roca	PO
Condiciones Del Tricono Descartado							
Foto: Serié, modelo, Número de Parte				Foto: Frontal			
Foto: Cono 1		Foto: Cono 2		Foto: Cono 3			
Condición de los Rodamientos				Condición de Insertos			
Cono 1	Rodamientos en buen estado.			Insert. Calibre	Marcas de calentamiento en insertos		
Cono 2	Rodamientos en buen estado.			Insert. Internos	Rotura y astillamiento de insertos		
Cono 3	Rodamientos en buen estado.			Insert. Nariz	Insertos en buen estado		
Condición de Faldones				Problemas Mecánicos			
Faldones en buen estado.							
Comentarios Generales				Misc./Otros			
Rotura, astillamiento y marca de calentamiento (piel de serpiente) en insertos.							
Supervisor de PDB Tools:		Ivan Domivanovich Valdivia Andia					

**Nota:** Información obtenida de PDB TOOLS INC.

**Figura 15**

*Broca estándar 601124 modelo TI6X-A*

PDB Tools, Inc. REPORTE DE BROCA DESCARTADA					Fecha inicio	29/10/2023	
N° Equipo	PER - 08	Mod. Equipo	DM75	Nozzle	19 mm	Fecha descarte	11/11/2023
Marca	PDB TOOLS	Serie	601124	Diámetro	11"	FASE	Mina 14
Pulldown	2500 - 3000	RPM	80 - 100	Presión de Aire	---	Tipo/Modelo	TI6X-A
Metros Acum.	629.30 m	Horas Acum.	30.18 h	Velocidad	20.85 m/h	Agua	---
Causa de Descarte	<b>Broca descartada prematuramente por rotura y marcas de calentamiento en insertos.</b>					TDC	13.93 \$/m
						NIVEL	530
	PROYECTO	1					
	Tipo de roca	PO					
Condiciones Del Tricorno Descartado							
Foto: Serie, modelo, Número de Parte				Foto: Frontal			
FOTO: Insertos							
Condición de los Rodamientos				Condición de Insertos			
Cono 1	Rodamientos en buen estado.			Insert. Calibre	Marcas de calentamiento en insertos		
Cono 2	Rodamientos en buen estado.			Insert. Internos	Rotura y astillamiento de insertos		
Cono 3	Rodamientos en buen estado.			Insert. Nariz	Insertos en buen estado		
Condición de Faldones				Problemas Mecánicos			
Faldones en buen estado.				-			
Comentarios Generales				Misc./Otros			
Rotura, astillamiento y marca de calentamiento (piel de serpiente) en insertos.				-			
Supervisor de PDB Tools:		Ivan Domivanovich Valdivia Andia					

**Nota:** Información obtenida de PDB TOOLS INC.

Se aprecia en la figura 12 y 13 el descarte de la broca por prematura rotura, marcas de calentamiento en insertos.

**Figura 16**

*Broca estándar 601282 modelo TI6X-A*

PDB Tools, Inc. REPORTE DE BROCA DESCARTADA					Fecha inicio	11/11/2023	
N° Equipo	PER - 10	Mod. Equipo	DR412I	Nozle	19 mm	Fecha descarte	14/11/2023
Marca	PDB TOOLS	Serie	601282	Diámetro	11"	FASE	Mina 14
Pulldown	1500 - 2800	RPM	90 - 110	Presión de Aire	---	Tipo/Modelo	TI6X-A
Metros Acum.	1132.60 m	Horas Acum.	38.77 h	Velocidad	29.22 m/h	Agua	---
Causa de Descarte	Broca descartada prematuramente por pérdida, astillamiento y marcas de calentamiento en insertos; conos descolgados.					TDC	9.26 \$/m
						NIVEL	605
						PROYECTO	73
						Tipo de roca	PO
Condiciones Del Tricono Descartado							
Foto: Serie, modelo, Número de Parte				Foto: Frontal			
FOTO: Insertos							
Condición de los Rodamientos				Condición de Insertos			
Cono 1	Rodamientos en mal estado.			Insert. Calibre	Astillamiento de insertos.		
Cono 2	Rodamientos en mal estado.			Insert. Internos	Rotura y astillamiento de insertos.		
Cono 3	Rodamientos en mal estado.			Insert. Nariz	Rotura de insertos.		
Condición de Faldones				Problemas Mecánicos			
Faldones con marca de erosión.							
Comentarios Generales				Misc./Otros			
Pérdida, astillamiento y marca de calentamiento (piel de serpiente) en insertos; conos descolgados.							
Supervisor de PDB Tools:		Ivan Domivanovich Valdivia Andía					

**Nota:** Información obtenida de PDB TOOLS INC.

Figura 17

Broca estándar 601282 modelo TI6X-A

PDB Tools, Inc. REPORTE DE BROCA DESCARTADA						Fecha inicio	11/11/2023
N° Equipo	PER - 10	Mod. Equipo	DR412i	Nozzle	19 mm	Fecha descarte	14/11/2023
Marca	PDB TOOLS	Serie	601282	Diámetro	11 "	FASE	Mina 14
Pulldown	1500 - 2800	RPM	90 - 110	Presión de Aire	---	Tipo/Modelo	TI6X-A
Metros Acum.	1132.60 m	Horas Acum.	38.77 h	Velocidad	29.22 m/h	Agua	---
Causa de Descarte	Broca descartada prematuramente por pérdida, astillamiento y marcas de calentamiento en insertos; conos descolgados.					TDC	9.26 \$/m
						NIVEL	605
						PROYECTO	73
						Tipo de roca	PO
Condiciones Del Tricono Descartado							
Foto: Serie, modelo, Número de Parte				Foto: Frontal			
Foto: Cono 1		Foto: Cono 2		Foto: Cono 3			
Condición de los Rodamientos				Condición de Insertos			
Cono 1	Rodamientos en mal estado.			Insert. Calibre	Astillamiento de insertos.		
Cono 2	Rodamientos en mal estado.			Insert. Internos	Rotura y astillamiento de insertos.		
Cono 3	Rodamientos en mal estado.			Insert. Nariz	Rotura de insertos.		
Condición de Faldones				Problemas Mecánicos			
Faldones con marca de erosión.							
Comentarios Generales				Misc./Otros			
Pérdida, astillamiento y marca de calentamiento (piel de serpiente) en insertos; conos descolgados.							
Supervisor de PDB Tools:		Ivan Domivanovich Valdivia Andía					

**Nota:** Información obtenida de PDB TOOLS INC.

Se aprecia en la figura 14 y 15 el descarte de la broca por pérdida, por astillamiento, marcas de calentamiento en insertos y conos descolgados.

**Figura 18**

*Broca estándar 601284 modelo TI6X-A*

PDB Tools, Inc.					REPORTE DE BROCA DESCARTADA					Fecha inicio	21/11/2023
N° Equipo	PER - 06	Mod. Equipo	D75KS	Nozzle	19 mm	FASE	Mina 14				
Marca	PDB TOOLS	Serie	601284	Diámetro	11 "	Tipo/Modelo	TI6X-A				
Pulldown	1200 - 2200	RPM	80 - 90	Presión de Aire	---	Agua	---				
Metros Acum.	2106.30 m	Horas Acum.	85.90 h	Velocidad	24.52 m/h	TDC	9.45 \$/m				
Causa de Descarte	<b>Broca descartada por erosión en conos y descolgamiento de conos.</b>					NIVEL	605				
						PROYECTO	84				
						Tipo de roca	PO				
Condiciones Del Tricorno Descartado											
Foto: Serie, modelo, Número de Parte						Foto: Frontal					
Foto: Cono 1				Foto: Cono 2				Foto: Cono 3			
Condición de los Rodamientos						Condición de Insertos					
Cono 1			Rodamientos desgastados.			Insert. Calibre			Desgaste normal de insertos		
Cono 2			Rodamientos desgastados.			Insert. Internos			Desgaste normal de insertos		
Cono 3			Rodamientos desgastados.			Insert. Nariz			Caída de inserto.		
Condición de Faldones						Problemas Mecánicos					
Presencia de erosión en los faldones.											
Comentarios Generales						Misc./Otros					
Erosión en faldones, desgaste en rodamientos de los conos.											
Supervisor de PDB Tools:						Ivan Domivanovich Valdivia Andía					

**Nota:** Información obtenida de PDB TOOLS INC.

El descarte de la broca fue por erosión de conos y conos descolgados.

**Figura 19**

*Broca estándar 601290 modelo TI6X-A*

PDB Tools, Inc. REPORTE DE BROCA DESCARTADA					Fecha inicio	12/11/2023	
N° Equipo	PER - 08	Mod. Equipo	DM75	Nozzle	19 mm	Fecha descarte	15/11/2023
Marca	PDB TOOLS	Serie	601290	Diámetro	11"	FASE	Mina 14
Pulldown	2000 - 3000	RPM	80 - 100	Presión de Aire	---	Tipo/Modelo	TI6X-A
Metros Acum.	1470.00 m	Horas Acum.	57.57 h	Velocidad	25.54 m/h	Agua	---
Causa de Descarte <b>Broca descartada prematuramente por pérdida, astillamiento y marcas de calentamiento en insertos; conos no giran.</b>						TDC	9.69 \$/m
						NIVEL	530
						PROYECTO	2
Condiciones Del Tricorno Descartado						Tipo de roca	PO
Foto: Serie, modelo, Número de Parte				Foto: Frontal			
Foto: Cono 1		Foto: Cono 2		Foto: Cono 3			
Condición de los Rodamientos				Condición de Insertos			
Cono 1	Rodamientos en mal estado.			Insert. Calibre	Astillamiento de insertos.		
Cono 2	Rodamientos en buen estado.			Insert. Internos	Rotura y astillamiento de insertos.		
Cono 3	Rodamientos en mal estado.			Insert. Nariz	Pérdida de insertos.		
Condición de Faldones				Problemas Mecánicos			
Faldones con marca de erosión y pérdida de insertos.				-			
Comentarios Generales				Misc./Otros			
Pérdida, astillamiento y marca de calentamiento (piel de serpiente) en insertos; conos 1 y 3 no giran.				-			
Supervisor de PDB Tools:		Ivan Domivanovich Valdivia Andia					

**Nota:** Información obtenida de PDB TOOLS INC.

**Figura 20**

*Broca estándar 601290 modelo TI6X-A*

<b>REPORTE DE BROCA DESCARTADA</b>						Fecha inicio	12/11/2023
						Fecha descarte	15/11/2023
N° Equipo	PER - 08	Mod. Equipo	DM75	Nozzle	19 mm	FASE	Mina 14
Marca	PDB TOOLS	Serie	601290	Diámetro	11 "	Tipo/Modelo	TI6X-A
Pulldown	2000 - 3000	RPM	80 - 100	Presión de Aire	---	Agua	---
Metros Acum.	1470.00 m	Horas Acum.	57.57 h	Velocidad	25.54 m/h	TDC	9.69 \$/m
Causa de Descarte	<b>Broca descartada prematuramente por pérdida, astillamiento y marcas de calentamiento en insertos; conos no giran.</b>					NIVEL	530
						PROYECTO	2
						Tipo de roca	PO
Condiciones Del Tricorno Descartado							
Foto: Serie, modelo, Número de Parte				Foto: Frontal			
FOTO: Insertos							
Condición de los Rodamientos				Condición de Insertos			
Cono 1	Rodamientos en mal estado.			Insert. Calibre	Astillamiento de insertos.		
Cono 2	Rodamientos en buen estado.			Insert. Internos	Rotura y astillamiento de insertos.		
Cono 3	Rodamientos en mal estado.			Insert. Nariz	Pérdida de insertos.		
Condición de Faldones				Problemas Mecánicos			
Faldones con marca de erosión y pérdida de insertos.				-			
Comentarios Generales				Misc./Otros			
Pérdida, astillamiento y marca de calentamiento (piel de serpiente) en insertos; conos 1 y 3 no giran.				-			
Supervisor de PDB Tools:				Ivan Domivanovich Valdivia Andía			

**Nota:** Información obtenida de PDB TOOLS INC.

El descarte de la broca estándar de la figura 17 y 18 fue por pérdida, astillamiento y marcas de calentamiento en insertos, conos no giran.

#### 4.1.2. Ubicación de la prueba 2

Se realizó una segunda prueba con el modelo de broca estándar, y habiendo hecho la recopilación y filtración de los datos se estimaron los metros perforados y la velocidad de perforación según el tipo de terreno. La ubicación de la segunda prueba fue en el distrito de Uchumayo, en la provincia de Arequipa, aproximadamente a 20 millas de la ciudad de Arequipa y a una altitud promedio de 2.600 metros sobre el nivel del mar.

**Figura 21**

*Ubicación de la prueba 2*



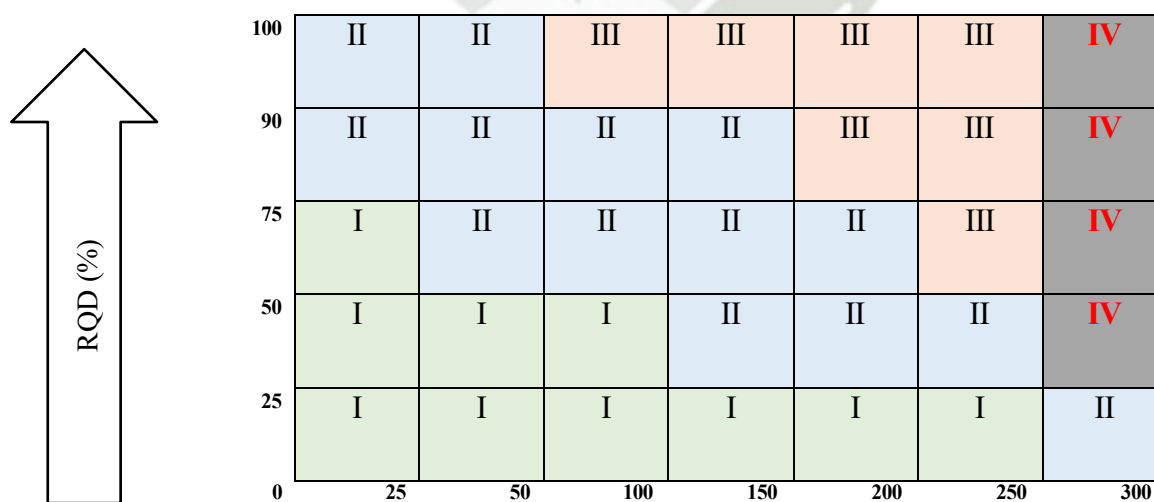
**Nota:** Información obtenida de [https://es.wikipedia.org/wiki/Sociedad\\_Minera\\_Cerro\\_Verde#:~:text=Sociedad%20Minera%20Cerro%20Verde%20S.A.A.,sobre%20los%20niveles%20del%20mar.](https://es.wikipedia.org/wiki/Sociedad_Minera_Cerro_Verde#:~:text=Sociedad%20Minera%20Cerro%20Verde%20S.A.A.,sobre%20los%20niveles%20del%20mar.)

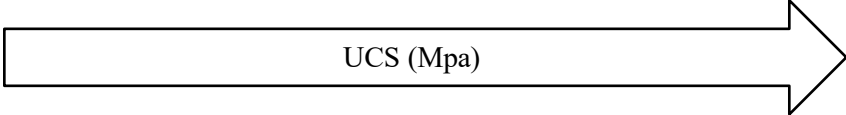
### 4.1.3. Datos del terreno de la prueba 2

De acuerdo a los parámetros de TDC (costo total por metro) que se asignaron para las pruebas que impuso la mina, esta es por el tipo de terreno que son duro, medio y suave, donde los triconos que perforan entre estos terrenos pero se tomara como terreno final al que tenga mayor porcentaje de perforación y con esto se calculara el TDC y se comparara con el TDC del terreno final que perforo massi este sale mejor es que cumplió con el objetivo.

En la siguiente tabla se muestra el índice de fragmentación, donde su eje horizontal está en unidades de UCS (Uniaxial Compressive Strength) en español Resistencia a la Compresión Uniaxial (Mpa) y en su eje vertical tiene el RQD (Rock Quality Designation) (%), estos dos ejes juntos está en 4 áreas donde cada broca va estar perforando y se distribuirá pendiente del área donde perforaron.

**Tabla 6**  
*Índice de fragmentación*





Aquí podemos ver que en la parte de Modelo Geológico, que porcentaje de Igraf's que perforo cada broca triconica y según a ellos se definirá si se perforo en terreno duro, medio o suave.

**Tabla 7**

*Resultados de la prueba a las brocas triconicas estándar prueba 2*

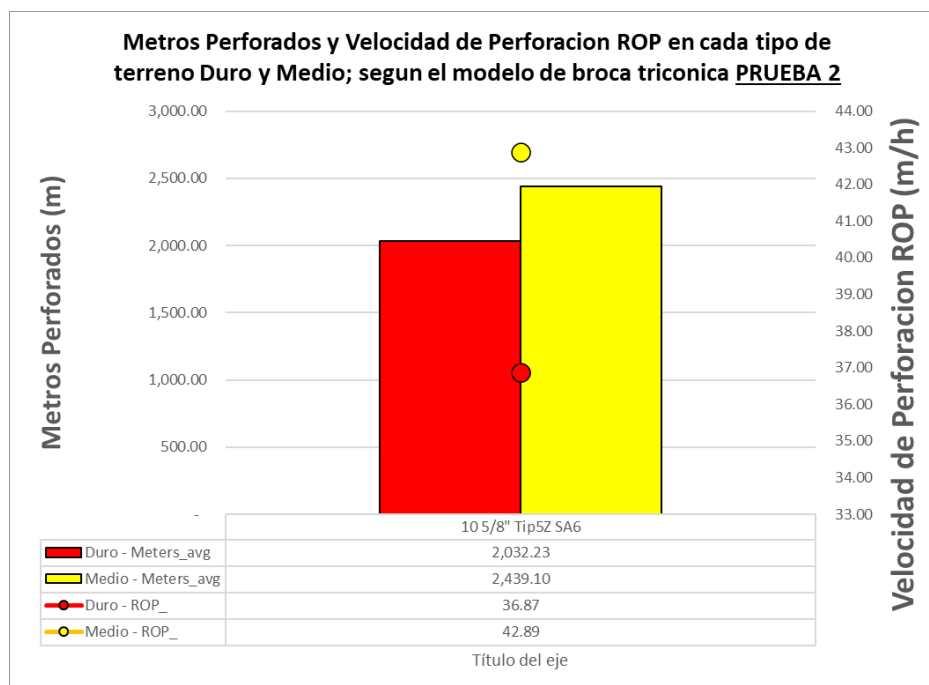
MODELO	SERIE	METROS PERFORADOS	HORAS PERFORADAS	VE. De PERF. (m/h)	PDC (\$/m)
10 5/8" Tip5Z SA6	603468	1 439.00	42.40	33.94	2.05
	603469	2 439.10	56.87	42.89	1.21
	603470	1 471.50	54.75	32.17	2.00
	603471	1 096.20	29.36	37.34	2.69
	603475	3 953.00	104.50	37.83	0.75
	603476	2 451.80	58.09	42.21	1.20
	603477	1 781.90	50.63	35.19	1.66

**Nota:** *Elaboración propia con información obtenida de PDB TOOLS INC.*

Como se puede observar en la tabla 7 se plasma información sobre los metros (MTS) perforados, horas totales y la velocidad de perforación (ROP) metros por hora. Las siglas de las brocas triconicas TiP5Z SA6 cuyo significado es "Titanum PRO; IADC de 500; Z=3 de rodamientos sellados; A de hilo API".

**Figura 22**

*Rendimientos promedio metros perforados y velocidad de perforación con broca estándar según tipo de terreno*



**Nota:** *Elaboración propia con información de PDB TOOLS INC.*

Como se observa en la figura 20, los metros perforados con la broca estándar en terreno duro fue de 2 032.23 metros. Por otro lado, los metros perforados con la broca estándar en terreno medio fue de 2 439.10 metros y la velocidad de perforación en terreno duro fue de 36.87 m/h, y en terreno medio fue de 42.89 m/h evidenciándose un mejor desempeño en terreno medio.

#### 4.2. Resultado de las pruebas con el modelo de broca triconica supersónica

El presente punto está relacionado directamente con el objetivo específico número dos, cuyas pruebas fueron realizadas en el proyecto ubicado en el distrito de Marcona, provincia de Nazca, departamento de Ica. Las siglas Ti6ZSS de la broca triconica cuyo significado es “Titanium, IADC 600, Z=3 de rodamientos sellados, SS= Super Sónica”.

**Tabla 8**

*Resultados de la prueba a las brocas triconicas supersónica*

MODELO	BROCA	METROS	ROP (m/h)	PDC (\$/m)
		TOTAL	TOTAL	TOTAL
TiP6ZSS	603463	457.10	26.32	6.08
	603464	785.00	23.82	3.54
	603465	2 327.10	33.69	1.19
	603466	259.80	20.70	10.69
	603467	1 374.40	32.31	2.02

**Nota:** *Tabla de elaboración propia con información de PDB TOOLS INC.*

**Figura 23**

*Brocas triconicas supersónica*

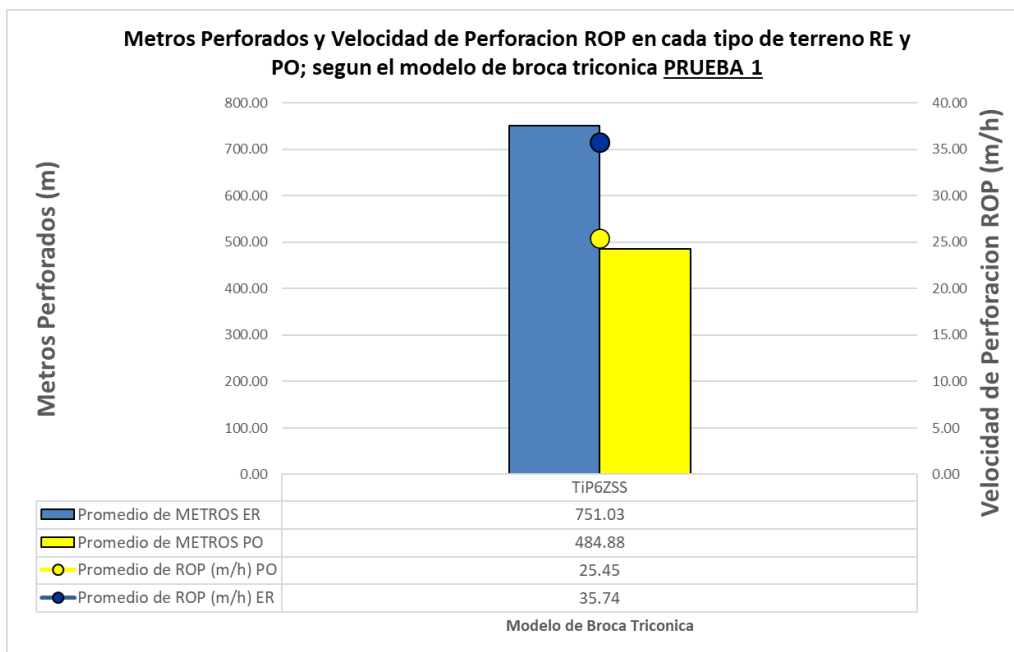


**Nota:** *Imágenes obtenidas de PDB TOOLS INC.*

En las pruebas se retiró la broca supersónica 603466, por descarte de primera barra de perforación, además se muestra los resultados en la prueba de las brocas supersónicas como la cantidad de brocas y de los (KPI) obtenidos que son metros perforados, velocidad de perforación (ROP) y (TDC) adicional la ficha técnica de las brocas.

**Figura 24**

Rendimientos de las brocas de modelo supersónica por terreno (PO) mineral y (ER) *encapado de roca*



**Nota:** *Elaboración propia con información de PDB TOOLS INC.*

Las brocas modelo supersónica tuvieron mejor rendimiento promedio en terreno (ER) encapado de roca con 751.03 metros, versus los metros perforados promedio en (PO) terreno mineral con 484.88 metros. Ahora en terreno (PO) mineral, la velocidad promedio de perforación (ROP) metros por hora fue de 25.45; por el contrario en encapado en roca (ER) se tuvo una mayor velocidad de perforación promedio de 35.74 metros por hora.

A continuación, se muestra el reporte de cada una de las 5 brocas super sónicas, que participaron en la perforación de la prueba 1, en el cual se evidencian las brocas descartadas.

Figura 25

Broca super sónica 603463 modelo TI6ZSS

<b>REPORTE DE BROCA DESCARTADA</b>					Fecha inicio	2/05/2024	
					Fecha descarte	3/05/2024	
N/S	603463	N° Equipo	PER - 03	Diámetro	11 "	Tipo/Modelo	TI6ZSS
Metros Acum.	559.20 m	Horas Acum.	21.88 h	Velocidad	25.55 m/h	TDC	13.97 \$/m
Marca	PDB TOOLS	Nozzle	19 mm	Turno	N	Operador	VICTOR ROSALES
Pulldown	1800 - 2200	RPM	60 - 110	Guardia	A	NIVEL	560
Causa de Descarte	<b>Broca descartada por rotura de insertos y erosión en CONOS.</b>					PROYECTO	38
					Tipo de roca	PO	
					Páginas	1 de 2	
Condiciones Del Tricono Descartado							
Foto: Serie, modelo, Número de Parte y Diámetro				Foto: Frontal			
Foto: Cono 1		Foto: Cono 2		Foto: Cono 3			
Condición de los Rodamientos				Condición de Insertos			
Cono 1	Rodamientos desgastados.		Insert. Calibre	Insertos desgastados.			
Cono 2	Rodamientos desgastados.		Insert. Internos	Insertos con marcas de calentamiento y astillamiento.			
Cono 3	Rodamientos desgastados.		Insert. Nariz	Rotura de insertos.			
Condición de Faldones				Problemas Mecánicos			
Faldones en buen estado.							
Comentarios Generales				Misc./Otros			
Erosión en conos; calentamientos y astillamiento de insertos.							
Tecnico Especialista de Producto de PDB Tools:				Ivan Domivanovich Valdivia Andia			

**Nota:** Información obtenida de PDB TOOLS INC.

**Figura 26**

*Broca super sónica 603463 modelo TI6ZSS*

<b>REPORTE DE BROCA DESCARTADA</b>					Fecha inicio	2/05/2024	
N/S	<b>603463</b>	N° Equipo	<b>PER - 03</b>	Diámetro	<b>11 "</b>	Fecha descarte	3/05/2024
Metros Acum.	559.20 m	Horas Acum.	21.88 h	Velocidad	25.55 m/h	Tipo/Modelo	<b>TIP6ZSS</b>
Marca	PDB TOOLS	Nozzle	19 mm	Turno	N	TDC	13.97 \$/m
Pulldown	1800 - 2200	RPM	60 - 110	Guardia	A	Operador	VICTOR ROSALES
Causa de Descarte	<b>Broca descartada por rotura de insertos y erosión en conos.</b>					NIVEL	560
						PROYECTO	38
						Tipo de roca	<b>PO</b>
						Páginas	2 de 2

Condiciones Del Tricorno Descartado			
Foto: Serie, modelo, Número de Parte y Diámetro	Foto: Frontal		
Foto Adicionales			
<b>Condición de los Rodamientos</b>	<b>Condición de Insertos</b>		
<b>Cono 1</b>	Rodamientos desgastados.	Insert. Calibre	Insertos desgastados.
<b>Cono 2</b>	Rodamientos desgastados.	Insert. Internos	Insertos con marcas de calentamiento y astillamiento.
<b>Cono 3</b>	Rodamientos desgastados.	Insert. Nariz	Rotura de insertos.
<b>Condición de Faldones</b>	<b>Problemas Mecánicos</b>		
Faldones en buen estado.			
<b>Comentarios Generales</b>	<b>Misc./Otros</b>		
Erosión en conos; calentamientos y astillamiento de insertos.			
Tecnico Especialista de Producto de PDB Tools:	Ivan Domivanovich Valdivia Andia		

**Nota:** Información obtenida de PDB TOOLS INC.

Se aprecia en la figura 28 y 29 la broca fue descarta por rotura de insertos y erosión en conos.

**Figura 27**

*Broca super sónica 603465 modelo TI6ZSS*

PDB Tools, Inc. REPORTE DE BROCA DESCARTADA					Fecha inicio	30/04/2024	
					Fecha descarte	29/05/2024	
N/S	<b>603465</b>	N° Equipo	<b>PER - 02</b>	Diámetro	<b>11 "</b>	Tipo/Modelo	<b>TIP6ZSS</b>
Metros Acum.	2326.60 m	Horas Acum.	69.07 h	Velocidad	33.69 m/h	TDC	8.02 \$/m
Marca	PDB TOOLS	Nozzle	19 mm	Turno	N	Operador	LORENZO CORREA
Pulldown	1500 - 2000	RPM	80 - 90	Guardia	C	NIVEL	680
Causa de Descarte	<b>Broca descartada por rotura y pérdida de insertos; erosión en faldones.</b>					PROYECTO	163
						Tipo de roca	<b>PO</b>
						Páginas	1 de 1
Condiciones Del Tricorno Descartado							
Foto: Serie, modelo, Número de Parte y Diámetro				Foto: Frontal			
Foto: Cono 1		Foto: Cono 2		Foto: Cono 3			
Condición de los Rodamientos				Condición de Insertos			
Cono 1	Rodamientos en buen estado.			Insert. Calibre	Pérdida de insertos.		
Cono 2	Rodamientos en buen estado.			Insert. Internos	Rotura de insertos.		
Cono 3	Rodamientos en buen estado.			Insert. Nariz	Desgaste de insertos.		
Condición de Faldones				Problemas Mecánicos			
Erosión en faldones y pérdida de insertos de protección.							
Comentarios Generales				Misc./Otros			
Erosión en faldones y pérdida de insertos de protección; rotura y pérdida de insertos.							
Técnico Especialista de Producto de PDB Tools:				Ivan Domivanovich Valdivia Andia			

**Nota:** Información obtenida de PDB TOOLS INC.

La broca fue descartada por rotura y pérdida de insertos, erosión de faldones.

**Figura 28**

*Broca super sónica 603466 modelo TI6ZSS*

<b>REPORTE DE BROCA DESCARTADA</b>						Fecha inicio	5/05/2024
						Fecha descarte	19/06/2024
N/S	<b>603466</b>	N° Equipo	PER - 05	Diámetro	11 "	Tipo/Modelo	<b>TI6ZSS</b>
Metros Acum.	385.30 m	Horas Acum.	19.65 h	Velocidad	19.61 m/h	TDC	17.41 S/m
Marca	PDB TOOLS	Nozzle	19 mm	Turno	D	Operador	GILSON RAMOS
Pulldown	500 - 2300	RPM	80 - 90	Guardia	B	NIVEL	620
<b>Causa de Descarte</b>	<b>Broca en bitsub.</b>					PROYECTO	120
						Tipo de roca	PA
						Páginas	1 de 1
Condiciones Del Tricono Descartado							
Foto: Serie, modelo, Número de Parte y Diámetro				Foto: Frontal			
Foto: Cono 1		Foto: Cono 2		Foto: Cono 3			
Condición de los Rodamientos				Condición de Insertos			
Cono 1	Rodamientos buen estado.			Insert. Calibre	Insertos en buen estado.		
Cono 2	Rodamientos buen estado.			Insert. Internos	Insertos en buen estado.		
Cono 3	Rodamientos buen estado.			Insert. Nariz	Insertos en buen estado.		
Condición de Faldones				Problemas Mecánicos			
En buen estado.							
Comentarios Generales				Misc./Otros			
En buen estado.							
Tecnico Especialista de Producto de PDB Tools:				Ivan Domivanovich Valdivia Andia			

**Nota:** Información obtenida de PDB TOOLS INC.

Esta broca que se utilizó no se estará considerando a los cálculos realizados, ya que no pudo ser utilizada de forma normal, porque se quedó en la columna de perforación y no pudo ser retirada de esta.

Habiendo hecho los recopilación y filtración de datos de cada broca de modelo super sónicas que perforaron, se estimaron los metros perforados y la velocidad de perforación por el tipo de terreno en las que corrieron. Las siglas TiP5Z SS SA6 y TiP6Z SS SA6 tienen como significado “Ti=Titanium PPO, IADC 500, Z=3 rodamientos sellados, SS= Super Sónica y SA= que son de rodamientos sellados y con el uso pasan a ser rodamientos abiertos”.

**Tabla 9**

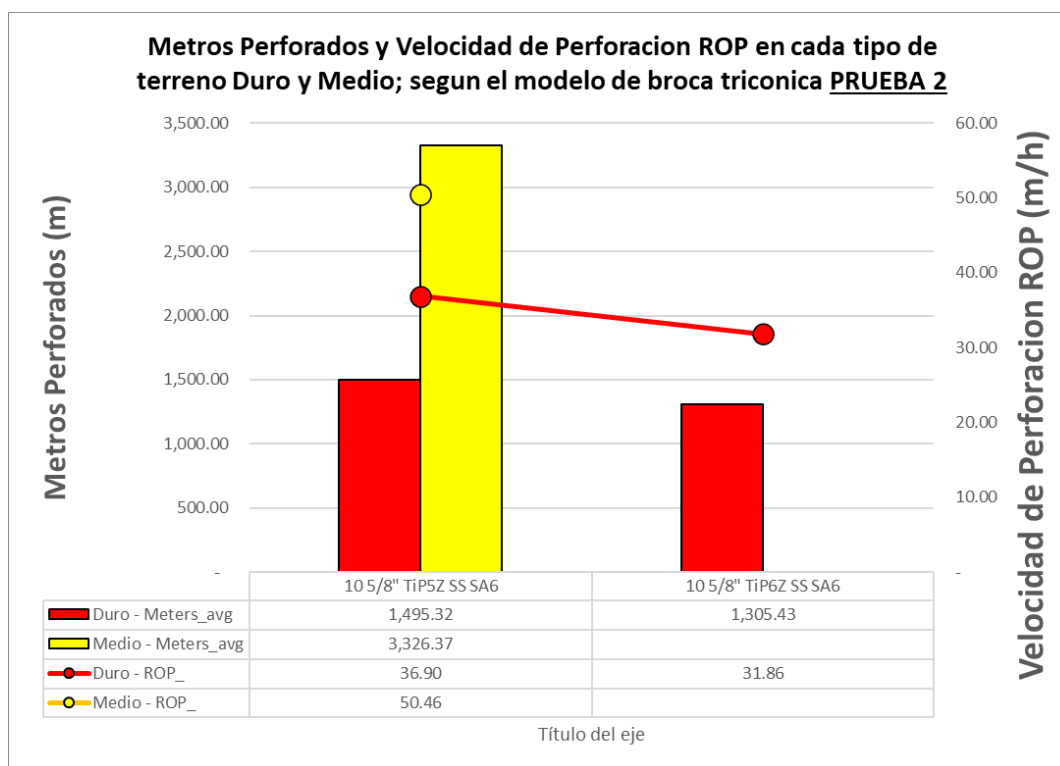
*Resultados de la prueba a las brocas triconicas supersónica prueba 2*

MODELO	BROCA	METROS TOTAL	ROP (m/h) TOTAL	PDC (\$/m) TOTAL
10 5/8” TiP5Z SS SA6	603443	2 412.60	53.55	45.06
	603444	975.70	27.24	35.82
	603445	1 557.20	32.46	47.97
	603446	3 678.50	64.81	56.76
	603447	1 593.20	40.88	38.97
	603448	3 589.00	73.73	48.68
	603449	1 258.90	36.01	34.96
	603452	1 486.20	45.77	32.47
	603967	1 627.50	47.45	34.30
	603968	1 527.70	47.65	32.06
	603973	1 711.60	59.22	45.79
	603983	1 528.80	46.54	32.85
	603991	884.20	21.59	40.96
	604018	1 745.90	47.89	36.46
	604028	1 345.90	39.27	34.27
10 5/8” TiP6Z SS SA6	603453	1 353.60	43.78	30.92
	603454	1 725.60	55.59	31.04
	603455	1 476.80	44.70	33.04
	603456	2 205.00	50.68	43.51
	603457	1 113.40	41.61	26.76
	603458	843.90	28.82	29.28
	603459	705.80	27.94	25.26
	603460	1 019.30	34.69	29.38

**Nota:** Información obtenida de PDB TOOLS INC.

**Figura 29**

*Resumen de rendimientos promedio de metros perforados y velocidad de perforación con broca modelo super sónica según tipo de terreno*



**Nota:** Información obtenida de PDB TOOLS INC.

Como se observa en la figura 26, los metros perforados con la broca super sónica en terreno duro fue de 1 495.32 m., por otro lado, los metros perforados con la broca super sónica en terreno medio fue de 3 326.37 m., evidenciándose un mejor desempeño en terreno medio. La velocidad de perforación con la broca super sónica en terreno duro fue de 36.90 metros por hora, por otro lado, la velocidad de perforación de la broca super sónica en terreno medio fue de 50.46 metros por hora, evidenciándose un mejor desempeño en terreno medio.

### 4.3. Costo total perforación TDC según el tipo de terreno en minería superficial usando el modelo de broca triconica estándar y supersónica

A continuación, se muestra el costo total de perforación TDC por tipo de terreno de brocas modelo estándar prueba 1 y 2. Para la prueba 1 se utilizaron los siguientes datos.

**Tabla 10**

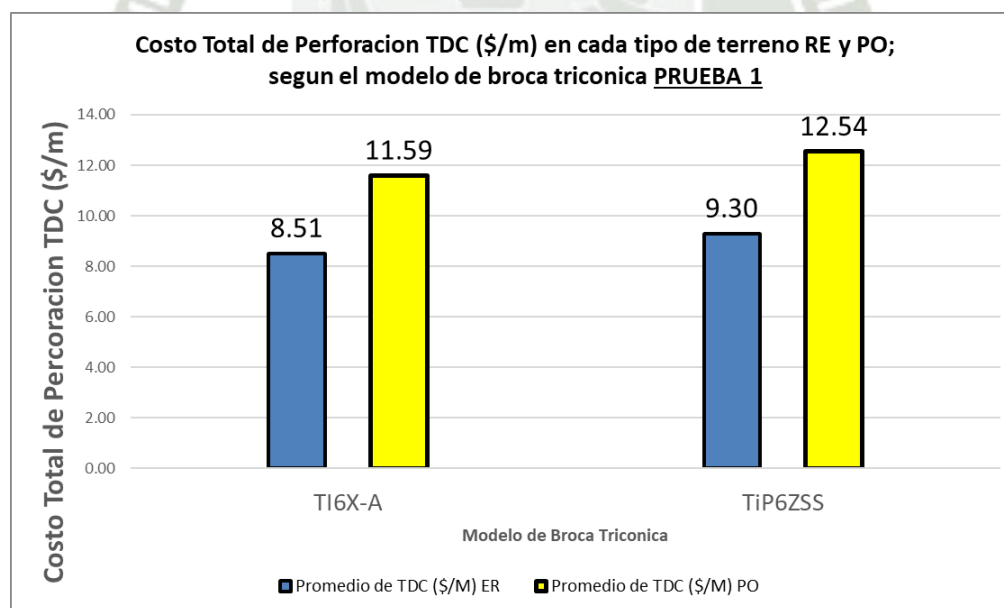
*Datos para hacer el cálculo del TDC prueba 1*

Modelo de broca triconica	Diámetro (pulgadas)	Precio en \$	Modelo de perforadora	Costo Horario de Equipo (\$/h)
TI6X – A	11”	2730	D75KS	200
TI6X – A	11”	2730	DM75	200
TIP6Z SS	11”	2730	DR412i	200

**Nota:** Información obtenida de PDB TOOLS INC.

**Figura 30**

*Costo total de perforación prueba 1*



**Nota:** Información obtenida de PDB TOOLS INC.

Como se puede apreciar en la figura 27, en terreno (PO) mineral, el costo por metro es de 11.59 \$/m; en encapado en roca (ER) se tuvo un costo por metro de 8.51 \$/m. Como se puede apreciar en la figura, en terreno (PO) mineral, el costo por metro es de 12.54 \$/m; en encapado en roca (ER) se tuvo un costo por metro de 9.30 \$/m.

A continuación, se muestra el costo total de perforación TDC por tipo de terreno de brocas modelo estándar prueba 2 en donde se utilizaron los siguientes datos.

**Tabla 11**

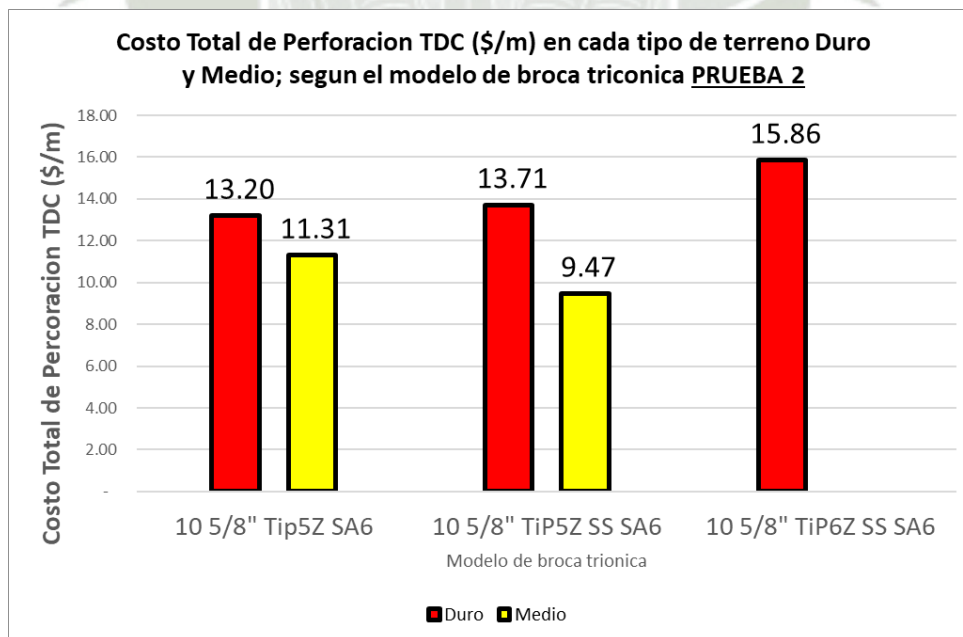
*Datos para hacer el cálculo del TDC prueba 2*

Modelo de broca triconica	Diámetro (pulgadas)	Precio en \$	Modelo de perforadora	Costo Horario de Equipo (\$/h)
TiP5Z SA6	10 5/8"	2950	PitViper 271	433.26
TiP5Z SS SA6	10 5/8"	2950	PitViper 271	433.26
TiP6Z SA6	10 5/8"	2950	PitViper 271	433.26

**Nota:** Información obtenida de PDB TOOLS INC.

**Figura 31**

*Costo total de perforación prueba 2*



**Nota:** Información obtenida de PDB TOOLS INC.

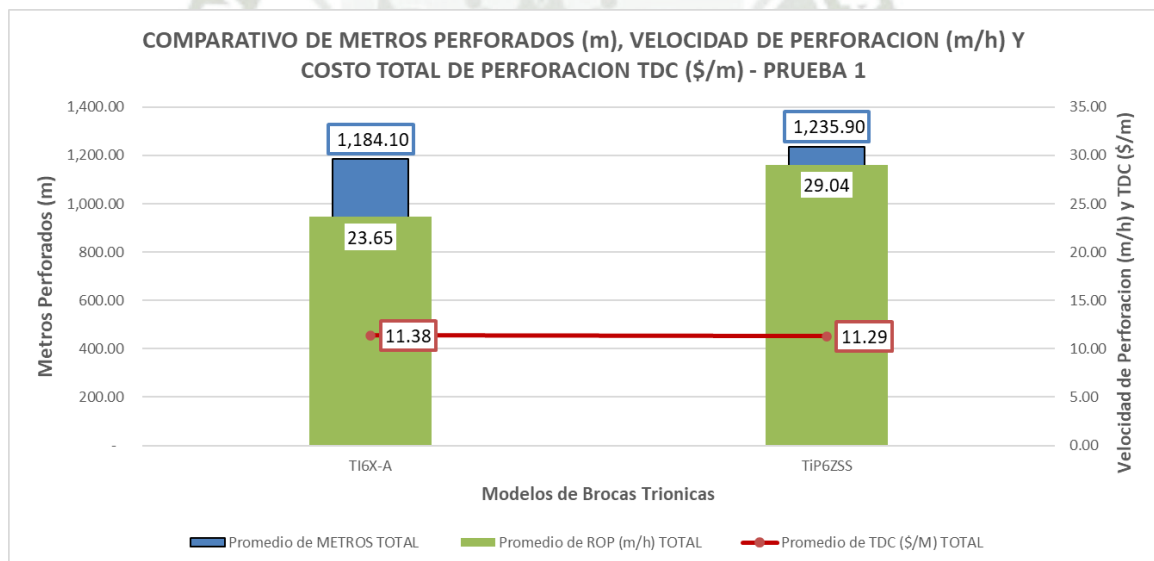
Se observa en la figura 28 que el costo de perforación en terreno duro fue de 13.20 \$/m, mientras que en terreno medio fue de 11.31 \$/m. Se observa en la figura que el costo de perforación en terreno duro fue de 13.71 \$/m, mientras que en terreno medio fue de 9.47 \$/m.

#### 4.4. Análisis comparativo del costo total perforación (TDC) total de las brocas triconicas de modelo estándar y super sónicas

Para desarrollar este punto se hizo un análisis comparativo de los metros perforados, velocidad de perforación y el costo total de perforación para la prueba 1 y 2.

**Figura 32**

*Comparativo de los metros de perforación prueba 1*



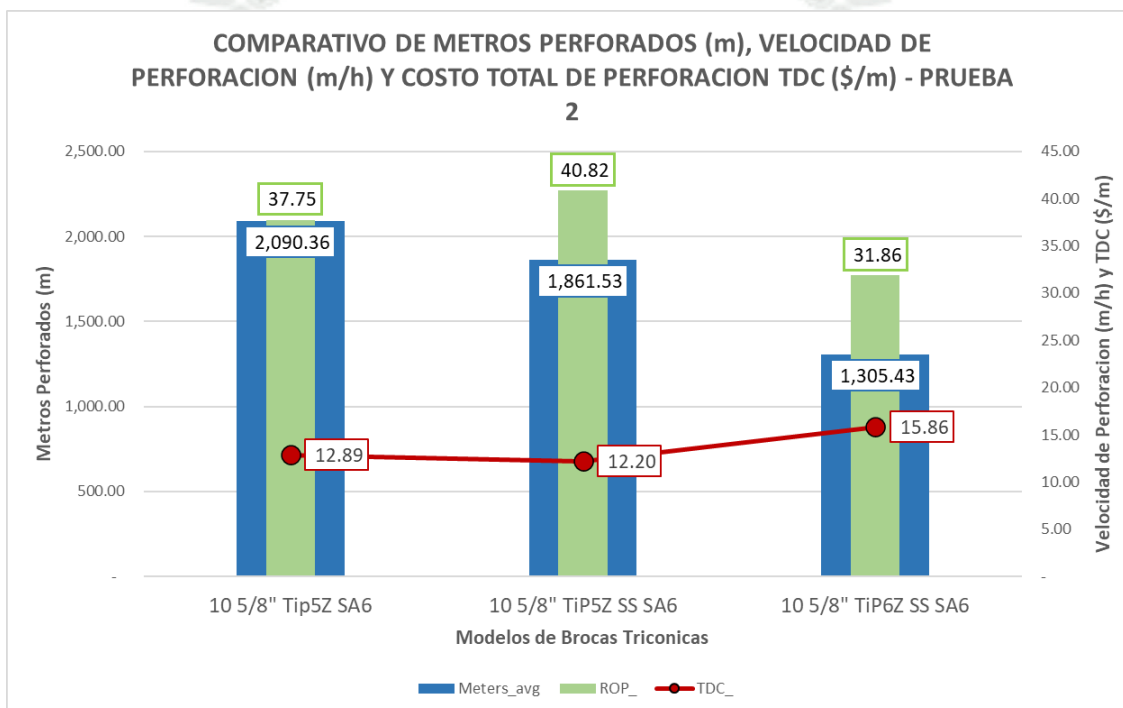
**Nota:** Información obtenida de PDB TOOLS INC.

En la figura 29 se aprecia que la broca supersónica tuvo un mejor rendimiento que las brocas del modelo estándar en los metros de perforación, ya que la primera tuvo una perforación promedio de 1 235.90 metros, mientras que la segunda tuvo 1 184.10 metros de perforación. También se aprecia que la broca supersónica tuvo un mejor

rendimiento que las brocas del modelo estándar en la velocidad de perforación, ya que la primera tuvo una velocidad promedio de 29.04 m/h, y de la segunda fue de 23.65 m/h., y en Costo Total de Perforación TDC, la broca supersónica tuvo un menor costo, con un costo promedio de 11.29 \$/m, mientras que la broca de modelo estándar tuvo un mayor costo con 11.38 \$/m.

**Figura 33**

*Comparativo de los metros de perforación prueba 2*



**Nota:** Información obtenida de PDB TOOLS INC.

En la figura 33 se aprecia que en los metros perforados el modelo de broca triconica estándar dio mejor valor con un promedio de 2090.36 m a comparación del modelo de broca triconica super sónica de serie 500 con un valor de 1861.53 m y serie 600 con un valor de 1305.43 m. Ahora, comparando con la velocidad de perforación, el modelo de broca triconica super sónica de serie 500 tuvo mejor rendimiento con un valor de 40.82 m/h., comparado con la serie 600 que tuvo 31.86 m/h y el modelo estándar con valor de 37.75 m/h. Finalmente en el Costo Total de Perforación TDC se tuvo un mejor rendimiento con el modelo de broca triconica super sónica de serie 500 con un valor de

12.20 \$/m. a comparación de la serie 600 con un valor de 15.86 \$/m y la broca triconica modelo estandar de serie 500 con 12.89 \$/m.

Para demostrar que hubo un buen rendimiento de cada modelo de broca que se utilizaron en ambas pruebas, se hizo un comparativo de costo total de perforación TDC ya que este indicador de gestión KPI es decisivo para hacer toma de decisiones de que marca de broca es la más rentable para sus operaciones, y se pudo observar que el modelo de brocas super sónica dio mejor resultado a comparación del modelo estándar.



## CONCLUSIONES

**PRIMERA:** En relación al objetivo general se evidencia una disminución en la primera prueba, con la broca triconica estándar el costo fue de 11.38 \$/m, y con la broca triconica sónica fue de 11.29 \$/m, y en la segunda prueba el costo con la broca triconica estándar fue de 15.86 \$/m, y con la broca triconica sónica fue de 12.20 \$/m.

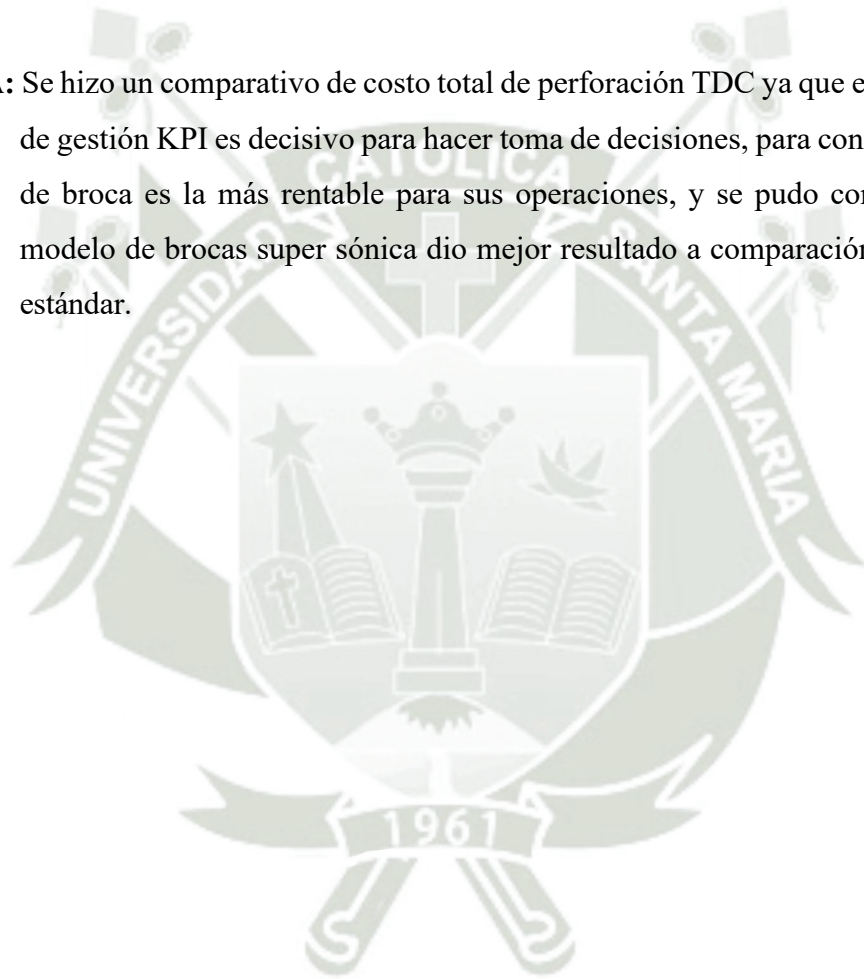
**SEGUNDA:** Se desarrollaron las pruebas con el modelo de broca triconica estándar en el proyecto ubicado en el distrito de Marcona, en la provincia de Nazca, departamento de Ica, en los cuales se utilizaron 6 brocas del modelo TI6X-A; la segunda prueba se desarrolló en el proyecto ubicado en el distrito de Uchumayo en la provincia de Arequipa, departamento de Arequipa, para lo cual se utilizaron 7 brocas del modelo 10 5/8" Tip5z SA6.

**TERCERA:** De igual manera se desarrollaron las pruebas con el modelo de broca triconica estándar en el proyecto ubicado en el distrito de Marcona, en la provincia de Nazca, departamento de Ica, en los cuales se utilizaron 5 brocas del modelo TI6ZSS; la segunda prueba se desarrolló en el proyecto ubicado en el distrito de Uchumayo en la provincia de Arequipa, departamento de Arequipa, para lo cual se utilizaron 15 brocas del modelo 10 5/8" TiP 5Z SS SA6 y 8 brocas de modelo 10 5/8" TiP 6Z SS SA6.

**CUARTA:** El costo total de perforación TDC en minería superficial usando el modelo de broca triconica estándar muestran que en la primera prueba en el terreno (PO) mineral el costo por metro es de 11.59 \$/m; en encapado en roca (ER) se tuvo un costo por metro de 8.51 \$/m. Por otro lado, en la segunda prueba el costo de perforación en terreno duro fue de 13.20 \$/m, mientras que en terreno medio fue de 11.31 \$/m.

**QUINTA:** El costo total de perforación TDC en minería superficial usando el modelo de broca triconica super sónica en terreno (PO) mineral es de 12.54 \$/m; en terreno encapado en roca (ER) se tuvo un costo por metro de 9.30 \$/m. En la segunda prueba que el costo de perforación en terreno duro fue de 13.71 \$/m, mientras que en terreno medio fue de 9.47 \$/m.

**SEXTA:** Se hizo un comparativo de costo total de perforación TDC ya que este indicador de gestión KPI es decisivo para hacer toma de decisiones, para conocer qué tipo de broca es la más rentable para sus operaciones, y se pudo concluir que el modelo de brocas super sónica dio mejor resultado a comparación del modelo estándar.



## RECOMENDACIONES

Al ver realizado las dos pruebas en esta mina se recomienda a cada mina optar por la broca triconica que tuvo mejor rendimiento que viene hacer el modelo Super Sonico para una mejor optimización de sus procesos y costos en la operación de perforación de taladros.

Se recomienda priorizar el uso del modelo de broca Super Sónica en futuras operaciones, debido a su superior rendimiento en términos de velocidad de perforación (ROP), durabilidad y reducción de tiempos de perforación; ya que esto se traducirá en una reducción del Costo Total de Perforación (TDC) que tanto se busca.

Sería conveniente que en futuras operaciones realice un análisis económico detallado para cuantificar el ahorro potencial que implica utilizar la broca triconica Super Sónica, considerando factores como el costo de adquisición, la vida útil y el tiempo de operación.

Aunque los resultados que se obtuvieron fueron positivos bajo ciertas condiciones geológicas, se recomienda realizar pruebas adicionales en otros tipos de formaciones para validar el rendimiento del modelo en contextos distintos, esto se debe a la geología que se puede presentar en diversas minas en el Perú.

Se recomienda capacitar al personal encargado de la operación de perforación sobre las ventajas y particularidades de la broca triconica Super Sónica, para asegurar su uso correcto y maximizar sus beneficios.

A partir de esta comparación realizada de cada modelo de broca triconica, sería útil desarrollar un protocolo estandarizado para la selección de brocas triconicas según tipo de formación, tipo de taladro perforación y condiciones operativas en la malla de perforación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arribasplata Horna, E. y Alvarado Gálvez, G. (2020). Evaluación de las brocas triconicas WLS 50-60-70 Y MT 60-70 en relación a la productividad y costos de perforación de una empresa minera, Cajamarca 2020. (Tesis de licenciatura). Universidad Privada del Norte. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/24992>
- Álvarez, F. (2022). Análisis y reducción del costo de perforación incrementando la velocidad de penetración en el tajo de la fase 1 de la Mina Toquepala. [Tesis de título profesional]. Universidad Alas Peruanas. [https://repositorio.uap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12990/13795/Tesis\\_an%C3%A1lisis\\_reducci%C3%B3n\\_costo\\_perforaci%C3%B3n\\_incrementado\\_velocidad\\_penetraci%C3%B3n\\_tajo\\_fase%201\\_mina\\_Toquepala.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.uap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12990/13795/Tesis_an%C3%A1lisis_reducci%C3%B3n_costo_perforaci%C3%B3n_incrementado_velocidad_penetraci%C3%B3n_tajo_fase%201_mina_Toquepala.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Bellido, A. (2004). Manual de perforación manual de pozos y equipamiento con bombas manuales, Lima, 2004.
- Casafranca Sulca, A. (2022). Aplicación de un nuevo diseño de brocas para optimizar los parámetros de perforación del Tajo Toromocho - Minera Chinalco S.A. [Tesis de título profesional]. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/3057>
- Correa Arroyave, Á. (2009). La geomecánica en la perforación y voladura de rocas. <https://es.scribd.com/doc/62235523/La-Geomecanica-El-La-Perforacion-y-Voladura-de-Rocas>

CONCYTEC (2018). Reglamento de calificación, clasificación y registro de los investigadores del sistema nacional de ciencia, tecnología e innovación tecnológica - reglamento RENACYT.

Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014), Metodología d la investigación. McGRAW-HILL / Interamericana Editores, S.A. de C.V. México. ISBN: 978-1-4562-

2396-0Lahuerta, B. (2021). Política en redes sociales. La polarización cede el terreno a la inteligencia colectiva. <https://openaccess.uoc.edu/bitstream/10609/128466/6/blahuertarTFM0121memoria.pdf>

López Jimeno, E. (2003). Manual de Perforación y Voladura de Rocas. España. Instituto Tecnológico Geo-minero.

Llaique Nuñonca, A. y Sánchez Guevara, W. (2015). Determinación del costo total de perforación para optimizar esta operación unitaria en mina modelo a tajo abierto, Cajamarca – Perú 2015. [Tesis de título profesional]. Universidad Privada del Norte.

Marroquín Egúsquiza, N. (2022). Reducción del costo total de perforación incrementando la velocidad de penetración en el Asentamiento Minero de Toquepala – Tacna. (tesis de licenciatura) Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Martel Gonzales, L. y Águila Núñez, C. (2020). Reducción de costos de perforación mediante la optimización del rendimiento de brocas triconicas de 6 <sup>3/4</sup> de pulgadas de diámetro y un aumento del porcentaje de utilización de las perforadoras en una mina a cielo abierto. [Tesis de título profesional]. Pontificia Universidad Católica del Perú. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/16079>

Pernia Llera, J., Ortiz de Urbina, F., López Jimeno, C., y López Jimeno, E. (2003). Manual de perforación y voladuras de roca. Instituto Geológico y Minero de España.

- Quilca, G. (2012). Elección de brocas de perforación en pozos petroleros de acuerdo a las características de las formaciones y al perfil del pozo. Universidad Tecnológica Equinoccial.
- Ramos Ramos, J. (2011). Estado del arte de brocas de perforación. Revista de investigación Universidad América. Volumen 4, No. 2.
- Seguridad Minera (2017). Perforación minera: tipos, clases de maquinaria y ubicación de taladros. <https://www.revistaseguridadminera.com/operaciones-mineras/perforacion-minera-tipos-clases-de-maquinaria-y-ubicacion-de-taladros/#:~:text=Perforaci%C3%B3n%20manual,con%20el%20proceso%20de%20perforaci%C3%B3n.>
- Salaz, K. (2029). Optimización en el proceso de perforación aplicando la percusión asistida en el sistema rotativo (PARD) para aumentar la productividad en operaciones a tajo abierto.
- Villalta Villena, J. (2022). Modelo predictivo de rendimiento de triconos aplicado a la perforación rotativa en un yacimiento tipo pórfido cobre y molibdeno. [Tesis de título profesional]. Universidad 196 Católica de Santamaría. <https://repositorio.ucsm.edu.pe/items/2355beb1-fa18-48af-8905-a469b8de3f0b>
- Vallejos Copacati, K. (2022). Optimización del proceso de perforación DOWN THE HOLE PRECORTE a través de un estudio comparativo de brocas. [Tesis de título profesional]. Universidad Nacional de Moquegua. <https://repositorio.unam.edu.pe/bitstreams/ef7e2098-2525-4870-b4bc-328ad76037b7/download>

Valencia, M. (2018). Costo Total de Perforación. SACRIBD.

<https://es.scribd.com/document/393690176/Costo-Total-de-Perforacion>

## ANEXOS

### En la prueba 1

Aquí se tiene información de las características del terreno en la prueba 1 de los cuales se sacaron muestras y se hicieron ensayos en Laboratorio de Mecánica de Rocas, este ensayo es llamado Ensayos de Tracción Indirecta (brasileño), donde este ensayo es particularmente útil porque los materiales frágiles suelen fallar más fácilmente bajo tensión que bajo compresión, y medir directamente la resistencia a la tracción puede ser complicado.





**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**  
**Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica**  
**Laboratorio de Mecánica de Rocas**

Lima, 07 de mayo del 2024

Informe N° 038/24/LMR/UNI

Señores  
**JOSE DIAZ VILLEGAS**  
Presente. -

De nuestra consideración:

En el presente se adjunta los resultados de los ensayos del Laboratorio de Mecánica de Rocas asociados al proyecto "SHOUGAN- MINA14" Ubicado en Marcona, Provincia Nasca, Departamento Ica.

Atentamente,

**MG. Elvis Wilmar Valencia Chávez**  
**ING. GEOTÉCNICO**  
**C.I.P. N° 49192**  
**JEFE DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS**

Av. Túpac Amaru N° 210, Lima 25, Perú  
Teléfono: 382-4557 / Central Telefónica: 481-1070 Anexos: 4221, 4219 y 4244  
Email: [lmrocas@uni.edu.pe](mailto:lmrocas@uni.edu.pe), [evalencia@uni.edu.pe](mailto:evalencia@uni.edu.pe), [achavez@uni.edu.pe](mailto:achavez@uni.edu.pe)

Escuelas Profesionales Ingeniería de Acreditadas por:





**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**  
**Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica**  
**Laboratorio de Mecánica de Rocas**

INFORME N° 038/24/LMR/UNI

ENSAYOS DE TRACCION INDIRECTA

Solicitado por:  
JOSE DIAZ VILLEGAS

Muestra: Bloques rocosos

Fecha: 07 de mayo 2024

Av. Túpac Amaru N° 210, Lima 25, Perú  
Teléfono: 382-4557 / Central Telefónica: 481-1070 Anexos: 4221, 4219 y 4244  
Email: [lmrocas@uni.edu.pe](mailto:lmrocas@uni.edu.pe), [evalencia@uni.edu.pe](mailto:evalencia@uni.edu.pe), [achavez@uni.edu.pe](mailto:achavez@uni.edu.pe)

Página 2 de 7  
Escuelas Profesionales Ingeniería de Acreditadas por:  




**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**  
**Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica**  
**Laboratorio de Mecánica de Rocas**

**Informe:** N° 038/24/LMR/UNI  
**Empresa:** JOSE DIAZ VILLEGAS  
**Proyecto:** "SHOUGAN- MINA14"  
**Fecha:** 07/05/2024

**ENSAYO DE TRACCION INDIRECTA (Brasilero)**

Los ensayos se realizaron según la norma ASTM D3967-95, dando los siguientes resultados:

Muestra	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Carga (kN)	Resist. a la tracción (kg/cm <sup>2</sup> )	Resist. a la tracción (MPa)
MBL-D2	5.38	3.17	23.4	89	8.7
	5.38	3.08	23.5	92	9.0
	5.38	3.06	20.9	82	8.1
			<b>Promedio</b>	<b>88</b>	<b>8.6</b>
AR-D2	5.38	2.97	26.7	109	10.6
	5.38	2.89	27.0	113	11.1
	5.38	2.90	25.1	104	10.2
			<b>Promedio</b>	<b>111</b>	<b>10.8</b>
M3-F	5.37	3.02	22.3	89	8.8
	5.37	3.16	21.6	83	8.1
	5.37	3.21	21.3	80	7.9
			<b>Promedio</b>	<b>84</b>	<b>8.2</b>
MAP-2F	5.39	3.01	19.6	78	7.7
	5.39	3.16	20.1	77	7.5
	5.39	3.21	20.0	75	7.4
			<b>Promedio</b>	<b>77</b>	<b>7.5</b>
AC-2F	5.39	3.18	27.7	105	10.3
	5.39	3.23	28.7	107	10.5
	5.39	3.09	27.8	108	10.6
			<b>Promedio</b>	<b>107</b>	<b>10.5</b>



Nota:

- > La empresa solicitante es responsable de la toma de muestra en campo.
- > La información correspondiente a las muestras fue proporcionada por el solicitante.

Av. Túpac Amaru N° 210, Lima 25, Perú  
Teléfono: 382-4557 / Central Telefónica: 481-1070 Anexos: 4221, 4219 y 4244  
Email: [lmrocas@uni.edu.pe](mailto:lmrocas@uni.edu.pe), [evalencia@uni.edu.pe](mailto:evalencia@uni.edu.pe), [achavez@uni.edu.pe](mailto:achavez@uni.edu.pe)

Página 3 de 7

Escuelas Profesionales Ingeniería de Acreditadas por:





**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**  
**Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica**  
**Laboratorio de Mecánica de Rocas**

## **FOTOGRAFIAS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS**

Av. Túpac Amaru N° 210, Lima 25, Perú  
Teléfono: 382-4557 / Central Telefónica: 481-1070 Anexos: 4221, 4219 y 4244  
Email: [lmrocas@uni.edu.pe](mailto:lmrocas@uni.edu.pe), [evalencia@uni.edu.pe](mailto:evalencia@uni.edu.pe), [achavez@uni.edu.pe](mailto:achavez@uni.edu.pe)

Página 4 de 7  
Escuelas Profesionales Ingeniería de Acreditadas por:  




# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica

Laboratorio de Mecánica de Rocas

## FOTOS: TRACCION INDIRECTA

Muestra: MBL - D2

Antes



Después

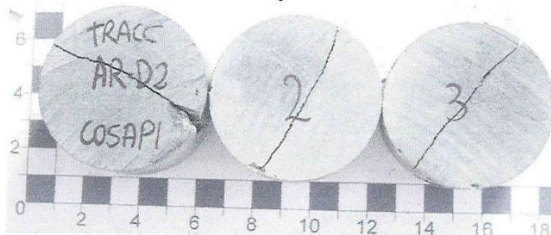


Muestra: AR - D2

Antes



Después





# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica

Laboratorio de Mecánica de Rocas

Muestra: M3 - F

Antes



Después



Muestra: MAP - 2F

Antes



Después



Av. Túpac Amaru N° 210, Lima 25, Perú  
Teléfono: 382-4557 / Central Telefónica: 481-1070 Anexos: 4221, 4219 y 4244  
Email: [lmrocas@uni.edu.pe](mailto:lmrocas@uni.edu.pe), [evalencia@uni.edu.pe](mailto:evalencia@uni.edu.pe), [achavez@uni.edu.pe](mailto:achavez@uni.edu.pe)

Página 6 de 7  
Escuelas Profesionales Ingeniería de Acreditadas por:



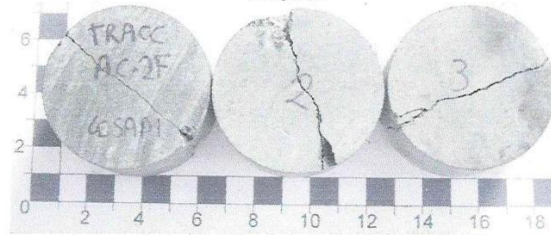


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**  
**Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica**  
**Laboratorio de Mecánica de Rocas**

**Muestra: AC - 2F**  
**Antes**



**Después**



En este informe se muestra que se tomaron 5 muestras donde se sometieron al este ensayo y dieron como resultado la Carga (kN), Resistencia a la tracción (kg/cm<sup>2</sup>) y en (MPa). Donde haciendo una conversión a resistencia a la compresión en PSI también se puede ver que según ficha técnica las brocas triconicas de modelos estándar y super sónica están dentro de los márgenes de resistencia a la compresión en PSI.

Diametro (cm)	Altura (cm)	Carga (kN)	Resist. A la traccion (kg/cm2)	Resist. A la traccion (Mpa)	Compresion (Mpa)	PSI
5.38	3.17	23.4	89	8.7	348	50,473.14
5.38	3.08	23.5	92	9	360	52,213.60
5.38	3.06	20.9	82	8.1	324	46,992.24
		PROMEDIO	88	8.6	344	49,892.99
5.38	2.97	26.7	109	10.6	424	61,496.01
5.38	2.89	27	113	11.1	444	64,396.77
5.38	2.9	25.1	104	10.2	408	59,175.41
		PROMEDIO	111	10.8	432	62,656.32
5.37	3.02	22.3	89	8.8	352	51,053.30
5.37	3.16	21.6	83	8.1	324	46,992.24
5.37	3.21	21.3	80	7.9	316	45,831.94
		PROMEDIO	84	8.2	328	47,572.39
5.39	3.01	19.6	78	7.7	308	44,671.63
5.39	3.16	20.1	77	7.5	300	43,511.33
5.39	3.21	20	75	7.4	296	42,931.18
		PROMEDIO	77	7.5	300	43,511.33
5.39	3.18	28.7	105	10.3	412	59,755.56
5.39	3.23	28.7	107	10.5	420	60,915.86
5.39	3.09	27.8	108	10.6	424	61,496.01
		PROMEDIO	107	10.5	420	60,915.86

## FICHA TECNICA DE BROCA TRICONICA ESTANDAR:



# 11" (279mm) GX642

N° de Ensamble: 970006

Código IADC: 6-4-2

### ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Tipo de Broca:	Tricónica
Rodamientos:	Circulación de Aire
Configuración:	Cilindro-Esfera-Cilindro
Estructura de Corte:	Carburo de Tungsteno
Insertos Externos:	Cónicos
Insertos Internos:	Balísticos
Insertos de Nariz:	Cónicos
Insertos de Contacto:	Redondeados
Tipo de Protección:	Blindaje Completo
Protección de Conos:	Standard
Tipo de Blindaje:	Redondeados (TCI)
Perfil del Cuerpo:	Aerodinámico
Rosca:	6 5/8" Reg. API
Refrigeración:	Injectores
Peso Total:	187 lbs / 85 kg



### PARAMETROS DE OPERACIÓN RECOMENDADOS

Velocidad de Rotación:	50 – 100 rpm
Peso Aplicado sobre la Broca:	30,000 – 80,000 lbs

### TIPO DE APLICACIÓN

PDB Tools Inc., provee herramientas avanzadas de perforación y soluciones para la minería, exploraciones, construcción, perforación de pozos de agua, gas y petróleo. La Broca Tricónica de 11" GX642 está diseñada para la perforación en **formaciones medias a duras**, con una resistencia a la compresión desde 25,000 a 50,000 psi; tales como esquisto, caliza, cuarcita, pizarra, y basalto. Las brocas tricónicas de PDB Tools Inc., son diseñadas y manufacturadas con tecnología de última generación.



Victoriano Castillo Velarde 125 – Oficina 101 •  
Urb. Los Jazmines - Miraflores • Perú  
Teléfonos: 51-1-6512232 / 51-1-6512233

[www.pdbtools.com](http://www.pdbtools.com)

*Innovación, Productividad y Valor Agregado*

FICHA TECNICA DE BROCA TRICONICA SUPER SONICA:



# 11" (279mm) TiP6ZSS

No. de Ensamble: Ti81196

Código IADC: 6-4-2

## ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Tipo de Broca:	Tricónica
Rodamientos:	Circulación de Aire
Configuración:	Cilindro-Esfera-Cilindro
Estructura de Corte:	Carburo de Tungsteno
Insertos Externos:	Cónicos
Insertos Internos:	Balísticos
Insertos de Nariz:	Cónicos
Insertos de Contacto:	Redondeados
Tipo de Protección:	Blindaje Completo
Protección de Conos:	Standard
Tipo de Blindaje:	Redondeados (TCI)
Perfil del Cuerpo:	Aerodinámico
Rosca:	6 5/8" Reg. API
Refrigeración:	Inyectores
Peso Total:	187 lbs / 85 kg

## PARAMETROS DE OPERACIÓN RECOMENDADOS

Velocidad de Rotación:	50 – 100 rpm
Peso Aplicado sobre la Broca:	30,000 – 80,000 lbs

## TIPO DE APLICACIÓN

PDB Tools Inc., provee herramientas avanzadas de perforación y soluciones para la minería, exploraciones, construcción, perforación de pozos de agua, gas y petróleo. La Broca Tricónica de 11" **Ti6XA** está diseñada para la perforación en **formaciones medias a duras**, con una resistencia a la compresión desde 25,000 a 50,000 psi; tales como esquisto, caliza, cuarcita, pizarra, y basalto. Las brocas tricónicas de PDB Tools Inc., son diseñadas y manufacturadas con tecnología de última generación.

*Innovación, Productividad y Valor Agregado*



Victoriano Castillo Velarde 125 – Oficina 101 •  
Urb. Los Jazmines - Miraflores • Perú  
Teléfonos: 51-1-6512232 / 51-1-6512233

[www.pdbtools.com](http://www.pdbtools.com)

# AUTORIZACION DE USO DE BASE DE DATOS DE LAS BROCA TRICONICAS UTILIZADAS EN LAS PRUEBAS:



## CARTA DE AUTORIZACION DE USO DE INFORMACION DE EMPRESA

Lima, 01 de Agosto del 2024

Señor:

**JORGE OMAR RIVERA PACHECO**

GERENTE DE OPERACIONES DE PDB TOOLS INC., SUCURSAL DEL PERÚ.

**Presente.-**

Yo JORGE OMAR RIVERA PACHECO, identificado con el DNI: 40081933, en mi calidad de GERENTE DE OPERACIONES, de la Empresa PDB TOOLS INC., SUCURSAL DEL PERÚ con RUC 20516854741, con Domicilio Legal en Calle Victoriano Castillo Velarde No 125 Of. 101 Urb. Los Jazmines – Miraflores - Lima – Perú.

### OTORGO LA AUTORIZACION,

Al señor(a) IVAN DOMIVANOVISH VALDIVIA ANDIA identificado con el DNI: 7382055, en calidad de ESPECIALISTA DE PRODUCTO, para que utilice la siguiente información de la empresa: BASE DE DATOS DE RENDIMIENTOS DE BROCAS TRICONICAS PDB TOOLS INC., ya sea en forma oral, visual, escrita, grabada en medios magnéticos o en cualquier otra forma tangible, con la finalidad de que pueda desarrollar su Tesis para optar al Título Profesional de Ingeniero de Minas.

**JORGE OMAR RIVERA PACHECO**  
DNI: 40081933  
JEFE DE OPERACIONES

**IVAN DOMIVANOVISH VALDIVIA ANDIA**  
DNI: 7382055  
ESPECIALISTA DE PRODUCTO

## FICHA TECNICA DE BROCA TRICONICA SUPER SONICA PRUEBA 2:



### Titanium Pro Bit 10 5/8" TiP5Z SS SA6 Ensamblaje Ti81194

ESTRUCTURA DE CORTE



PRODUCTO 3D



#### Especificaciones Técnicas

Tipo de Broca:	Tricono
Tipo de Rodamiento:	Sellado
Configuración:	Cilindro-Esfera-Cilindro
Boton de Presión:	Carbide – M2 Steel
Estructura de Corte:	Carburo de Tungsteno (TCI)
Insertos Externos:	Cónicos
Insertos Internos:	Cónicos
Protección del Calibre:	Insertos Planos
IADC:	5-4-5

#### Opciones y Características

Protección:	Blindaje Completo
Soldadura de Protección:	Tungsteno
Tipo de Blindaje:	Redondeado, TCI
Rosca:	6 5/8 Reg. API
Tipo de Circulación:	Inyectores
Peso:	174 lbs. / 79 kg.

#### Parámetros de Operación

Velocidad de Rotación (rpm):	50 – 100
Peso Aplicado Sobre la broca (lbs):	30,000 – 80,000
Parámetros de operación son sugeridos y pueden no brindar un óptimo rendimiento, Favor contactar a personal de PDB Tools, Inc. para asistencia.	

### Detalles de Ingeniería:

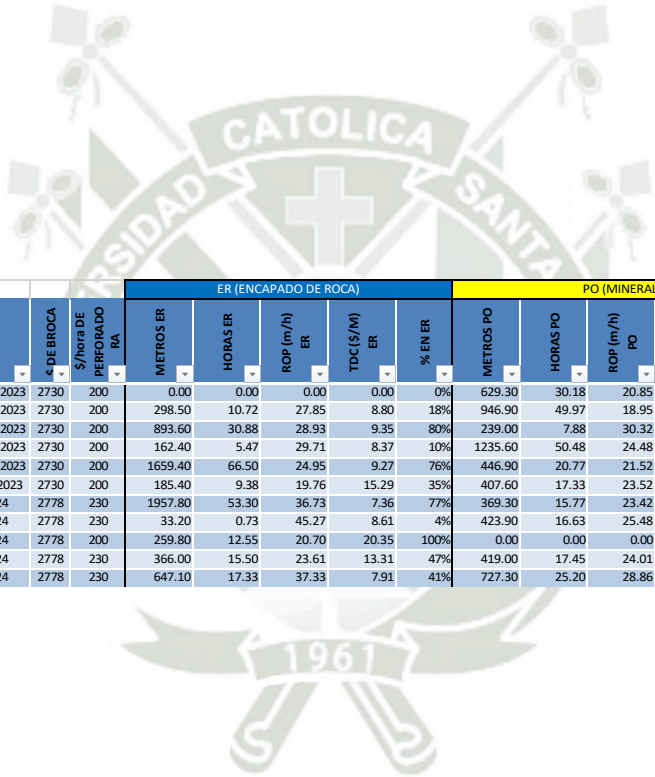
PDB Tools Inc. provee herramientas avanzadas de perforación y soluciones la minería, exploraciones, construcción, perforación de pozos de agua, gas y petróleo. La broca triconica de The 10 5/8" TiP5X está diseñada para perforar en formaciones rocas suaves a medias, con un rango de resistencia a la compresión de la roca de 15,000 a 35,000 psi. Tales como Pizarra, piedra caliza, cuarcita, arenisca y granito. La característica SS - SuperSonic con pistón neumático brinda un total of 15,000 impactos/minuto. Las brocas triconias de PDB Tools Inc., son diseñadas y manufacturadas con

PDB Tools, Inc.  
1732 Minters Chapel Road  
Suite 103  
Grapevine, Texas 76051 USA

*Innovación, Productividad, Valor Agregado*

Website: [www.pdbtools.com](http://www.pdbtools.com)  
Phone: +01 (214)295-6324  
Fax: +01 (214) 295-4493  
Email: [sales@pdbtools.com](mailto:sales@pdbtools.com)

BROCA	MODELO	DIAMETRO	MODELO EQUIPO	PERFORADORA	FECHA INICIO	FECHA FIN	MES	LARGO DE BROCA	\$/hora DE PERFORADO	ER (ENCAPADO DE ROCA)					PO (MINERAL)					TOTAL				
										METROS ER	HORAS ER	ROP (m/h) ER	TDC(\$/M) ER	% EN ER	METROS PO	HORAS PO	ROP (m/h) PO	TDC(\$/M) PO	% EN PO	METROS TOTAL	HORAS TOTAL	ROP (m/h) TOTAL	PDC(\$/M) TOTAL	TDC(\$/M) TOTAL
601124	TI6X-A	11"	DM75	PER - 08	29/10/2023	11/11/2023	NOVIEMBRE - 2023	2730	200	0.00	0.00	0.00	0.00	0%	629.30	30.18	20.85	13.93	100%	629.30	30.18	20.85	4.34	13.93
601287	TI6X-A	11"	D75KS	PER - 06	30/10/2023	3/11/2023	NOVIEMBRE - 2023	2730	200	298.50	10.72	27.85	8.80	18%	946.90	49.97	18.95	12.93	82%	1,245.40	60.68	20.52	2.19	11.94
601282	TI6X-A	11"	DR412i	PER - 10	11/11/2023	14/11/2023	NOVIEMBRE - 2023	2730	200	893.60	30.88	28.93	9.35	80%	239.00	7.88	30.32	8.92	20%	1,132.60	38.77	29.22	2.41	9.26
601290	TI6X-A	11"	DM75	PER - 08	12/11/2023	15/11/2023	NOVIEMBRE - 2023	2730	200	162.40	5.47	29.71	8.37	10%	1235.60	50.48	24.48	10.17	90%	1,398.00	55.95	24.99	1.95	9.96
601284	TI6X-A	11"	D75KS	PER - 06	21/11/2023	26/11/2023	NOVIEMBRE - 2023	2730	200	1659.40	66.50	24.95	9.27	76%	446.90	20.77	21.52	10.75	24%	2,106.30	87.27	24.14	1.30	9.58
601283	TI6X-A	11"	DM75	PER - 08	7/12/2023	8/12/2023	DICIEMBRE - 2023	2730	200	185.40	9.38	19.76	15.29	35%	407.60	17.33	23.52	12.85	65%	593.00	26.72	22.20	4.60	13.61
603465	TIP6ZSS	11"	1190E	PER - 02	30/04/2024	29/05/2024	MAYO - 2024	2778	230	1957.80	53.30	36.73	7.36	77%	369.30	15.77	23.42	11.54	23%	2,327.10	69.07	33.69	1.19	8.02
603463	TIP6ZSS	11"	1190E	PER - 03	2/05/2024	3/05/2024	MAYO - 2024	2778	230	33.20	0.73	45.27	8.61	4%	423.90	16.63	25.48	15.30	96%	457.10	17.37	26.32	6.08	14.82
603466	TIP6ZSS	11"	D75KS	PER - 05	5/05/2024	6/05/2024	MAYO - 2024	2778	200	259.80	12.55	20.70	20.35	100%	0.00	0.00	0.00	0.00	0%	259.80	12.55	20.70	10.69	20.35
603464	TIP6ZSS	11"	1190E	PER - 03	6/05/2024	8/05/2024	MAYO - 2024	2778	230	366.00	15.50	23.61	13.31	47%	419.00	17.45	24.01	13.09	53%	785.00	32.95	23.82	3.54	13.19
603467	TIP6ZSS	11"	1190E	PER - 04	7/05/2024	9/05/2024	MAYO - 2024	2778	230	647.10	17.33	37.33	7.91	41%	727.30	25.20	28.86	10.23	59%	1,374.40	42.53	32.31	2.02	9.14



BASE DE DATOS DE LA PRUEBA 2


													Modelo Geologico				0.70									
Period	Brand	Serie	Model	Diameter	Nozzles	Drill	% Soft	% Average	% Hard	% Ifrag I	% Ifrag II	% Ifrag III	% Ifrag IV	Meters	Suave hr	Medio hr	Duro hr	Hours	M/H	Price	TDC	Terrain by ROP	Terrain by Ifrag	Final Terrain	Cumplimiento	Valorización
2402	PDB	603443	10 5/8" TIPSZ SS SA6	10 5/8	34	PER40	15%	65%	20%	0%	1%	99%	1%	2413	6	33	15	54	45.1	2950	10.839	Medio	Duro	Duro	Si	2950
2402	PDB	603445	10 5/8" TIPSZ SS SA6	10 5/8	34	PER36	24%	61%	14%	0%	25%	74%	1%	1557	6	20	7	32	48.0	2950	10.926	Medio	Duro	Duro	Si	2950
2403	PDB	603446	10 5/8" TIPSZ SS SA6	10 5/8	34	PER16	59%	25%	16%	21%	52%	0%	0%	3679	27	19	19	65	56.8	2950	8.435	Medio	Medio	Duro	Si	2950
2402	PDB	603447	10 5/8" TIPSZ SS SA6	10 5/8	34	PER39	4%	51%	45%	0%	0%	82%	16%	1593	1	18	22	41	39.0	2950	12.969	Duro	Duro	Duro	Si	2950
2402	PDB	603448	10 5/8" TIPSZ SS SA6	10 5/8	34	PER28	47%	31%	22%	34%	5%	8%	0%	3589	23	24	27	74	48.7	2950	9.723	Medio	Medio	Duro	Si	2950
2402	PDB	603449	10 5/8" TIPSZ SS SA6	10 5/8	34	PER30	0%	39%	61%	0%	0%	100%	0%	1259	0	11	25	36	35.0	2950	14.736	Duro	Duro	Duro	Si	2950
2403	PDB	603452	10 5/8" TIPSZ SS SA6	10 5/8	34	PER39	0%	17%	83%	0%	0%	100%	0%	1486	0	6	40	46	32.5	2950	15.328	Duro	Duro	Duro	No	2349
2401	PDB	603453	10 5/8" TIPSZ SS SA6	10 5/8	34	PER12	1%	18%	81%	0%	0%	93%	7%	1354	0	5	38	44	30.9	2950	16.191	Duro	Duro	Duro	No	1234
2402	PDB	603454	10 5/8" TIPSZ SS SA6	10 5/8	34	PER16	0%	16%	84%	0%	0%	81%	19%	1726	0	7	49	56	31.0	2950	15.668	Duro	Duro	Duro	No	1666
2402	PDB	603455	10 5/8" TIPSZ SS SA6	10 5/8	34	PER39	4%	18%	77%	0%	0%	100%	0%	1477	1	6	38	45	33.0	2950	15.113	Duro	Duro	Duro	No	2672
2402	PDB	603456	10 5/8" TIPSZ SS SA6	10 5/8	34	PER14	36%	27%	36%	0%	19%	81%	0%	2205	12	13	26	51	43.5	2950	11.295	Medio	Duro	Duro	Si	2950
2402	PDB	603457	10 5/8" TIPSZ SS SA6	10 5/8	34	PER37	0%	1%	99%	0%	0%	100%	0%	1113	0	0	41	42	26.8	2950	18.839	Duro	Duro	Duro	No	0
2402	PDB	603458	10 5/8" TIPSZ SS SA6	10 5/8	34	PER30	0%	2%	98%	0%	0%	79%	21%	844	0	0	28	29	29.3	2950	18.292	Duro	Duro	Duro	No	108
2401	PDB	603459	10 5/8" TIPSZ SS SA6	10 5/8	34	PER37	0%	0%	100%	0%	0%	100%	0%	706	0	0	28	28	25.3	2950	21.333	Duro	Duro	Duro	No	0
2401	PDB	603460	10 5/8" TIPSZ SS SA6	10 5/8	34	PER39	0%	12%	88%	0%	0%	100%	0%	1019	0	3	32	35	29.4	2950	17.641	Duro	Duro	Duro	No	181
2403	PDB	603468	10 5/8" Tip5Z SA6	10 5/8	34	PER37	1%	29%	70%	0%	9%	77%	14%	1439	0	9	33	42	33.9	2950	14.816	Duro	Duro	Duro	Si	2950
2403	PDB	603469	10 5/8" Tip5Z SA6	10 5/8	34	PER36	25%	42%	33%	0%	29%	9%	0%	2439	9	22	26	57	42.9	2950	11.312	Medio	Duro	Duro	Si	2950
2403	PDB	603470	10 5/8" Tip5Z SA6	10 5/8	34	PER21	2%	23%	75%	0%	2%	98%	0%	1472	1	8	37	46	32.2	2950	15.474	Duro	Duro	Duro	No	2140
2402	PDB	603471	10 5/8" Tip5Z SA6	10 5/8	34	PER33	4%	42%	53%	0%	0%	100%	0%	1066	1	11	18	29	37.3	2950	14.293	Duro	Duro	Duro	Si	2950
2403	PDB	603475	10 5/8" Tip5Z SA6	10 5/8	34	PER40	3%	50%	47%	0%	1%	95%	4%	3953	2	44	58	104	37.8	2950	12.200	Duro	Duro	Duro	Si	2950
2402	PDB	603476	10 5/8" Tip5Z SA6	10 5/8	34	PER30	19%	49%	32%	6%	1%	86%	6%	2452	7	26	25	58	42.2	2950	11.469	Medio	Duro	Duro	Si	2950
2408	PDB	603967	10 5/8" TIPSZ SS SA6	10 5/8	34	PER14	2%	25%	73%	0%	2%	96%	0%	1628	1	9	38	47	34.3	2950	14.445	Duro	Duro	Duro	Si	2950
2408	PDB	603968	10 5/8" TIPSZ SS SA6	10 5/8	34	PER26	1%	21%	78%	0%	0%	89%	11%	1528	0	7	40	48	32.1	2950	15.443	Duro	Duro	Duro	No	2157
2408	PDB	603973	10 5/8" TIPSZ SS SA6	10 5/8	34	PER27	28%	47%	25%	14%	62%	12%	13%	2712	12	27	21	59	45.8	2950	10.550	Medio	Medio	Duro	No	1048
2408	PDB	603983	10 5/8" TIPSZ SS SA6	10 5/8	34	PER37	0%	19%	81%	0%	0%	100%	0%	1529	0	7	40	47	32.9	2950	15.119	Duro	Duro	Duro	No	2633
2408	PDB	603991	10 5/8" TIPSZ SS SA6	10 5/8	34	PER39	2%	70%	28%	0%	0%	100%	0%	884	0	14	8	22	41.0	2950	13.914	Medio	Duro	Duro	Si	2950
2408	PDB	604018	10 5/8" TIPSZ SS SA6	10 5/8	34	PER12	5%	32%	63%	0%	0%	77%	0%	1746	1	13	34	48	36.5	2950	13.574	Duro	Duro	Duro	Si	2950
2408	PDB	604028	10 5/8" TIPSZ SS SA6	10 5/8	34	PER12	0%	33%	67%	0%	0%	98%	2%	1346	0	10	29	39	34.3	2950	14.833	Duro	Duro	Duro	Si	2950
2403	PDB	603444	10 5/8" TIPSZ SS SA6	10 5/8	3/4	PER28/PER14	5%	28%	67%	0%	0%	62%	2%	976	1	6	21	27	35.8	2950	15.120	Duro	Duro	Duro	No	2759
2403	PDB	603477	10 5/8" Tip5Z SA6	10 5/8	3/4	PER28/PER12	7%	29%	69%	0%	12%	87%	0%	1792	2	10	39	51	35.2	2950	13.967	Duro	Duro	Duro	Si	2950

# PRESENTACION DE LA BROCA TRICONICA MODELO SUPER SONICA

**PDB**  
Tools, Inc.

## Super Sonic Introduction

May 29, 2024




**PDB**  
Tools, Inc.

### Super Sonic Concept

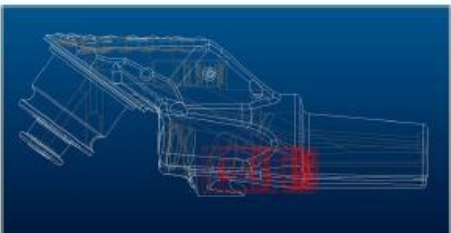
- ▶ Pneumatic
  - Air powered motors
  - Sonic of 3 motors
  - Low Impact / High frequency
- ▶ Compressed Air
  - Best at 90 psi
  - Operate at any range air volume/ psi
- ▶ Frequency
  - 5000 Blows per Minute per motor
  - 3 Motors = 15,000 BPM
- ▶ Vibration

CONFIDENTIAL




**PDB**  
Tools, Inc.

### Pneumatic Motor



CONFIDENTIAL



**PDB**  
Tools, Inc.

### Pneumatic Bit Cutout



CONFIDENTIAL



**PDB**  
Tools, Inc.



CONFIDENTIAL



**PDB**  
Tools, Inc.

### Conclusion

Questions?

Discussion?

CONFIDENTIAL

