

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y
CIVIL**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS:

Evaluación del desempeño y los costos de los aceros de perforación de la marca LHS ROCK TOOLS frente a otras marcas en las minas peruanas, 2025

Para optar el título profesional de:
INGENIERO DE MINAS

PRESENTADO POR:
Bach. Amilkar Marcelino VIDALON CARDENAS

ASESOR:
Msc. Ing. Kelvis BERROCAL ARGUMEDO

AYACUCHO - PERÚ

2025

DEDICATORIA

A mis padres, por su amor incondicional, por enseñarme con el ejemplo el valor del esfuerzo y la perseverancia, y por ser mi mayor fuente de apoyo en cada etapa de este camino. Esta tesis es tan mía como suya.

Amilkar Vidalon

AGRADECIMIENTO

A la Universidad UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA, por brindarme la oportunidad de formarme académica y profesionalmente en un entorno de excelencia, por proporcionarme las herramientas necesarias para crecer como persona y como profesional, y por ser el espacio donde descubrí mi vocación y consolidé mis metas.

Mi más profundo agradecimiento a todos los docentes, personal administrativo y compañeros que formaron parte de esta etapa inolvidable.

RESUMEN

En la minería peruana, los aceros de perforación cumplen un rol fundamental en la operación unitaria de perforación y voladura, por lo que la adecuada elección de barras y brocas es un factor crítico. El mercado nacional ofrece diversas marcas y proveedores con desempeños similares, pero con diferencias significativas en costo. En este contexto, la presente investigación evaluó la vida útil (expresada en pies perforados) y el costo de adquisición de las barras cónicas de 4 pies y brocas de 34 mm de la marca LHS Rock Tools en comparación con B&O, Boart Longyear, Mitsubishi y Sandvik, en cuatro operaciones mineras del Perú durante el 2025.

La metodología aplicada fue de tipo descriptivo-comparativa, considerando como variables la vida útil de los aceros de perforación y el costo de adquisición. Los datos se obtuvieron a partir de informes de campo elaborados por técnicos en las minas La Joya, Machacala, Anaconda Sur y Magistral de Huaraz, y se analizaron mediante MS Excel.

Los resultados muestran que, en el caso de las barras cónicas, LHS superó a Sandvik en 15.3 %, mientras que Boart mostró una ventaja de 8.6 % sobre LHS. Para las brocas cónicas, LHS superó a Boart y Sandvik con ventajas de 10.9 % y 8.2 % respectivamente, mientras que B&O y Mitsubishi obtuvieron un mejor desempeño con 5.2 % y 20.1 % de ventaja. No obstante, LHS presentó en todos los casos un costo de adquisición significativamente menor, consolidándose como una alternativa técnica y económicamente competitiva.

Palabras clave: Brocas de perforación; Barras cónicas; Costos de perforación; Aceros de perforación; LHS ROCK TOOLS.

ABSTRACT

In Peruvian mining, drilling steels play a fundamental role in the unit operation of drilling and blasting, making the proper selection of rods and bits a critical factor. The national market offers various brands and suppliers with similar performance, but with significant differences in cost. In this context, the present research evaluated the service life (expressed in drilled feet) and acquisition cost of 4-foot conical rods and 34 mm bits of the brand LHS Rock Tools, compared with B&O, Boart Longyear, Mitsubishi, and Sandvik, in four mining operations in Peru during 2025.

The applied methodology was descriptive-comparative, considering as variables the service life of drilling steels and their acquisition cost. Data were obtained from field reports prepared by technicians at the La Joya, Machacala, Anaconda Sur, and Magistral de Huaraz mines, and analyzed using MS Excel.

The results show that, in the case of conical rods, LHS outperformed Sandvik by 15.3%, while Boart showed an 8.6% advantage over LHS. For conical bits, LHS surpassed Boart and Sandvik with advantages of 10.9% and 8.2% respectively, while B&O and Mitsubishi achieved better performance with 5.2% and 20.1% advantages. Nevertheless, LHS consistently presented a significantly lower acquisition cost, consolidating itself as a technically and economically competitive alternative.

Keywords: Drilling bits; Conical rods; Drilling costs; Drilling steels; LHS Rock Tools.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
RESUMEN.....	iii
ABSTRACT.....	iv
ÍNDICE.....	v
LISTA DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE TABLAS.....	xiv
LISTA DE ANEXO.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	xvii
CAPÍTULO I.....	1
1.1 Descripción del problema.....	1
1.2 Formulación del problema.....	3
1.2.1 Formulación del problema general.....	3
1.2.2 Formulación del problema específico.....	3
1.3 Objetivos.....	4
1.3.1 Objetivo general.....	4
1.3.2 Objetivos específicos.....	4
1.4 Justificación.....	4
1.4.1 Justificación teórica.....	4
1.4.2 Justificación metodológica.....	5
1.4.3 Justificación práctica.....	5

1.5	Importancia	5
1.6	Alcances y limitaciones	6
1.6.1	Alcances	6
1.6.2	Limitaciones	6
1.7	Planteamiento de hipótesis.....	7
1.7.1	Formulación de hipótesis general.....	7
1.7.2	Formulación de hipótesis específicas	7
1.8	Variables e indicadores	7
1.8.1	Variable independiente:.....	7
1.8.2	Variable dependiente 1:.....	8
1.8.3	Variable dependiente 2:.....	8
1.9	Operacionalización de variables	9
1.10	Diseño de investigación	11
1.10.1	Tipo de investigación.....	11
1.10.2	Nivel de investigación	11
1.10.3	Diseño de investigación	11
1.11	Población y muestra	12
1.11.1	Población	12
1.11.2	Muestra	12
1.12	Técnicas e instrumentos de toma de datos	12
1.12.1	Técnica de recolección de datos	12
1.12.2	Instrumentos de recolección de datos	13

1.12.3	Procedimientos de recolección de datos	13
1.13	Técnicas de procesamiento y recolección de datos	13
1.13.1	Procesamiento de datos	13
1.13.2	Técnica de análisis de datos	14
CAPÍTULO II.....		15
II. MARCO TEÓRICO.....		15
2.1	Antecedentes de la investigación.....	15
2.1.1	Internacionales.....	15
2.1.2	Nacionales	16
2.2	Bases teóricas.....	18
2.2.1	Aceros de perforación.....	20
2.2.1.1	Brocas	20
2.2.1.1.1	Brocas rotopercutivos	20
2.2.1.1.2	Brocas rotativas	26
2.2.1.2	Barras	28
2.2.1.2.1	Barras de Perforación en Martillo de Cabeza (Top Hammer)	
	29	
2.2.1.2.2	Barras de Perforación en Martillo de Fondo (DTH).....	30
2.2.2	Desempeño	32
2.2.2.1	¿Qué es el desempeño de aceros de perforación en la minería?.	32
2.2.2.1.1	Vida útil del acero(L).....	32
2.2.2.1.2	Tasa de penetración (ROP).....	34

2.2.2.1.3	Eficiencia de desgaste (η)	34
2.2.2.1.4	Costo por metro (CPM)	34
2.2.2.1.5	Índice de desgaste abrasivo (IDA).....	35
2.2.2.1.6	Vida útil en horas (t)	35
2.2.2.1.7	Dureza residual (HRC)	35
2.2.2.1.8	Tasa de fallas (λ).....	35
2.2.2.1.9	Reducción de diámetro (Δd)	35
2.2.2.1.10	Velocidad de corrosión (V_c).....	35
2.2.3	Costos	36
2.2.3.1	Importancia de medir los costos de aceros de perforación	36
CAPÍTULO III		38
III. MATERIALES Y MÉTODOS		38
3.1	Generalidades.....	38
3.1.1	Mina La Joya	38
3.1.1.1	Ubicación.....	38
3.1.1.1	Contexto geológico y minero.....	39
3.1.1.2	Accesibilidad	39
3.1.2	Mina Machacala	39
3.1.2.1	Ubicación.....	39
3.1.2.2	Contexto geológico y minero.....	40
3.1.2.3	Accesibilidad	40
3.1.3	Mina Anaconda Sur.....	40

3.1.3.1	Ubicación.....	40
3.1.3.2	Contexto geológico y minero.....	41
3.1.4	Mina Magistral de Huaraz S. A. C.	43
3.1.4.1	Ubicación.....	43
3.1.4.2	Accesibilidad	44
3.2	Recopilación de estudio.....	45
3.2.1	Mina La Joya, LHS ROCK TOOLS vs B&O	45
3.2.1.1	Trabajos realizados en Mina la Joya.....	46
3.2.1.1.1	Capacitación:	46
3.2.1.1.2	Seguimiento de aceros cónicos:.....	46
3.2.1.2	Conclusiones.....	53
3.2.2	Mina Machacala, LHS ROCK TOOLS vs BOART LONGYEAR..	54
3.2.2.1	Trabajos realizados en Mina Machacala.....	54
3.2.2.2	Cálculo de diferencias y porcentajes	64
3.2.2.3	Recomendaciones	64
3.2.2.4	Conclusiones:.....	65
3.2.3	Mina Anaconda del Sur, LHS ROCK TOOLS vs MITSUBISHI....	66
3.2.3.1	Trabajos Realizados en la Mina Anaconda Sur	66
3.2.3.2	Conclusiones:.....	69
3.2.4	Mina Magistral de Huaraz S.A.C, LHS ROCK TOOLS vs SANDVIK	
	70	
3.2.4.1	Trabajos Realizados:.....	70

3.2.4.2	Recomendaciones:	80
3.2.4.3	Conclusiones.....	82
CAPÍTULO IV		85
IV. RESULTADO Y DISCUSIÓN.....		85
4.1	Resultado general.....	85
4.1.1	Resultado específico 01	87
4.1.2	Resultados específicos 02.....	93
CONCLUSIONES.....		94
RECOMENDACIONES		95
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA		96
ANEXOS.....		99

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Partes de la broca rotopercutiva.....	20
Figura 2 Mecanismo de fragmentación de broca de perforación	21
Figura 3 Equipo rotopercutivo con sus diferentes diámetros de brocas a botones 22	
Figura 4 Tipos de caras de brocas a botones	24
Figura 5 Broco de placas.....	25
Figura 6 Relación de la abrasividad y el tipo de broca	26
Figura 7 Brocas rotativas.....	27
Figura 8 Partes de la broca tricónica	27
Figura 9 Brocas rotativas para DDH	28
Figura 10 Tipos de hilos de barra en rosca.....	29
Figura 11 Barras hexagonales	30
Figura 12 Desviación anticipada del taladro para varios sistemas de perforación 31	
Figura 13 Tipos de desgaste de la broca	33
Figura 14 Brocas de carburo de Tungsteno desgastados.....	34
Figura 15 Vista general de la Mina La Joya.....	38
Figura 16 Vista general de la Mina Anaconda Sur	41
Figura 17 Vista satelital de la Mina Magistral	44
Figura 18 Capacitación en Mina la Joya	46
Figura 19 Descarte de barra cónica de 4 pies LHS ROCK TOOLS	48

Figura 20	Diámetro de la barra de 4 pies	49
Figura 21	Barra de acero hexagonal de 4 pies	49
Figura 22	Brocas LHS ROCK TOOLS y B & O	50
Figura 23	Rimadora 64mm LHS ROCK TOOLS	53
Figura 24	Capacitación de aceros de perforación cónicos Mina Machacala	55
Figura 25	Desgaste de barras de 4 pies	59
Figura 26	Rendimiento de barras de 4 pies	60
Figura 27	Desgaste de broca cónica 36 mm.....	61
Figura 28	Rendimiento de brocas cónicas 36mm	61
Figura 29	Muestras del LHS ROCK TOOLS y BOART LONGYEAR.....	62
Figura 30	Capacitación de aceros de perforación en la Mina Magistral	70
Figura 31	Descarte de brocas por diámetro.....	76
Figura 32	Rendimiento de barras cónicas pies perforados.....	77
Figura 33	Medida los diámetros de LHS ROCK TOOLS y SANDVIK.....	77
Figura 34	Descarte de brocas cónicas por diámetro.....	78
Figura 35	Rendimiento de brocas cónicas pies perforados	79
Figura 36	Medida de las muestras de brocas.....	79
Figura 37	Marcador de brocas.....	81
Figura 38	Vernier para medir desgaste de barras y brocas	82
Figura 39	Gráfico comparativo costo / beneficio de las brocas LHS ROCK TOOLS vs SANDVIK	83

Figura 40 Gráfico comparativo costo / beneficio LHS ROCK TOOLS vs SANDVIK.....	84
Figura 41 Comparativo de vida útil de barras cónicas de 4 pies.....	85
Figura 42 Comparativo de vida útil de brocas cónicas	86
Figura 43 Vida útil promedio de brocas LHS vs BOART	89
Figura 44 Vida útil promedio de barras LHS vs BOART.....	90
Figura 45 Comparación de vida útil brocas en pies perforados vs costo de perforación	91
Figura 46 Comparativo de brocas de 41 mm LHS Vs SANDVIK	92
Figura 47 Gráfico comparativo costo / beneficio de las barras LHS ROCK TOOLS vs SANDVIK	93

LISTA DE TABLAS

Tabla 1	Detalle de campañas de prueba	3
Tabla 2	Matriz de operacionalización de variables	9
Tabla 3	Tipos de botones.....	23
Tabla 4	Resumen de la ubicación y características de la Mina Machacala.....	40
Tabla 5	Ruta de acceso hacia la Unidad Minera Magistral	44
Tabla 6	Descripción de brocas cónicas LHS ROCK TOOLS.....	47
Tabla 7	Descripción de barras cónicas LHS ROCK TOOLS.....	47
Tabla 8	Registro de pies perforados LHS ROCK TOOLS.....	47
Tabla 9	Cuadro comparativo - Rampa - 381 - Sellada	51
Tabla 10	Cuadro comparativo - Subnivel 370 - CH 382.....	51
Tabla 11	Cuadro comparativo - Galería 413	52
Tabla 12	Comparativo costo/pies perf. (LHS vs B&O)	53
Tabla 13	Descripción de brocas cónicas	55
Tabla 14	Descripción de barras cónicas	55
Tabla 15	Registro de los pies acumulados (broca de 36mm + barra de 4 pies) ..	57
Tabla 16	Resumen de vida útil y desgaste de brocas cónicas de 36 mm	64
Tabla 17	Tabla comparativo en %	64
Tabla 18	Recomendación para cambiar tipo de roca.....	65
Tabla 19	Seguimiento de aceros de perforación LHS ROCK TOOLS - MITSUBISHI.....	68
Tabla 20	Cuadro de resumen.....	69

Tabla 21 Cuadro comparativo LHS vs MITSUBISHI	69
Tabla 22 Descripción de las brocas	71
Tabla 23 Descripción de barras cónicas	71
Tabla 24 Registro de los pies perforados acumulados (Broca 38mm + Barra 4 pies)	
72	
Tabla 25 Registro de los pies perforados acumulados (Broca 41mm + barra 4 pies)	
74	
Tabla 26 Tipo de broca según el terreno	80
Tabla 27 Descarte de brocas cónicas de acuerdo a su diámetro.....	81
Tabla 28 Cuadro comparativo de resultados de la visita técnica.....	82
Tabla 29 Gráfico comparativo costo / beneficio de brocas LHS ROCK TOOLS vs SANDVIK.....	83
Tabla 30 Gráfico comparativo costo / beneficio de las barras LHS ROCK TOOLS vs SANDVIK	84

LISTA DE ANEXO

Tabla 31 Matriz de consistencia	99
--	----

INTRODUCCIÓN

En la minería subterránea peruana, la operación de perforación y voladura constituye una de las etapas más críticas, ya que de su eficiencia depende la productividad global del ciclo minero. En este proceso, los aceros de perforación — particularmente las barras y brocas cónicas cumplen un rol determinante en la calidad del avance, el consumo de energía y los costos operativos. Por ello, la selección adecuada de estas herramientas es fundamental para garantizar la seguridad, eficiencia y sostenibilidad de las operaciones.

En el mercado nacional existen diversas marcas y proveedores de aceros de perforación que ofrecen productos con desempeños similares, pero con diferencias significativas en cuanto a vida útil y costo de adquisición. Esta situación plantea la necesidad de realizar estudios comparativos que permitan a las empresas mineras tomar decisiones fundamentadas en criterios técnicos y económicos.

En este contexto, la marca LHS Rock Tools, de origen chino, ha ingresado al mercado peruano con propuestas de menor costo en relación con proveedores tradicionales como B&O, Boart Longyear, Mitsubishi y Sandvik. Sin embargo, la aceptación de estas herramientas en las operaciones mineras depende de evidencias técnicas que respalden su desempeño en condiciones reales de trabajo.

El presente estudio tiene como objetivo evaluar la vida útil y el costo de adquisición de las barras cónicas de 4 pies y brocas de 34 mm de la marca LHS Rock Tools en comparación con las principales marcas competidoras. Para ello, se realizaron evaluaciones en cuatro operaciones mineras del Perú durante el año 2025: Mina La Joya, Mina Machacala, Mina Anaconda Sur y Mina Magistral de Huaraz.

La presente investigación se organiza en cinco capítulos. El Capítulo I desarrolla la descripción y formulación del problema, los objetivos, la justificación, la importancia,

el alcance y las limitaciones, así como la hipótesis, las variables con sus indicadores, la operacionalización, el diseño de investigación, la población y muestra, las técnicas e instrumentos de recolección de datos y los métodos de procesamiento. El Capítulo II aborda los antecedentes de la investigación y las bases teóricas que sustentan el estudio. El Capítulo III describe los materiales y métodos empleados, incluyendo las generalidades de las minas evaluadas y la metodología de recopilación de la información. El Capítulo IV presenta el desarrollo de la investigación, los resultados obtenidos y su discusión. Finalmente, el Capítulo V expone el análisis general, las conclusiones alcanzadas y las recomendaciones derivadas de la investigación.

Este trabajo se enmarca dentro de una investigación de tipo aplicada y descriptivo-comparativa, cuyo propósito es proporcionar información técnica confiable que oriente a las áreas de logística y operaciones en la optimización del costo/beneficio de los aceros de perforación.

CAPÍTULO I

1.1 Descripción del problema

A nivel global, la industria minera enfrenta el desafío constante de optimizar sus operaciones para mejorar la eficiencia y reducir costos. Uno de los aspectos críticos en esta optimización es la selección adecuada de aceros de perforación, ya que estos influyen directamente en la productividad y los costos operativos. Estudios han demostrado que la elección de aceros de perforación con mejor rendimiento puede generar ahorros significativos. Ugurlu & Kumral (2018) explica que en una mina en Canadá los resultados muestran que el enfoque propuesto puede utilizarse para determinar los parámetros óptimos de perforación y minimizar el costo.

En el contexto peruano, la minería es una de las principales actividades económicas, y la eficiencia en las operaciones es esencial para mantener la competitividad. La elección de aceros de perforación adecuados es fundamental para lograr este objetivo. Investigaciones en diversas unidades mineras del país han evidenciado que una gestión adecuada de los aceros de perforación puede reducir significativamente los costos operativos. Por ejemplo, Gómez (2024) en la Unidad Minera Yauliyacu, se implementó una gestión eficiente de los aceros de perforación, incluyendo la optimización del inventario, selección de aceros de alta calidad y capacitación del personal, lo que resultó en una disminución de costos operativos de 9% en aceros fronteros, 10% en aceros para taladros largos y 17% en aceros de sostenimiento.

Las principales causas que generan problemas en el desempeño y costos de los aceros de perforación incluyen la falta de evaluación técnica de las diferentes marcas disponibles en el mercado, decisiones de compra basadas únicamente en el precio sin considerar el rendimiento, y la ausencia de estrategias de mantenimiento preventivo y capacitación del personal. Estas deficiencias pueden llevar a una menor vida útil de

los aceros, incrementando los costos por metro perforado y afectando la productividad general de las operaciones mineras. Castro (2023) explica que en la mina Alpayana S.A., se observó que la optimización de los aceros de perforación permitió reducir los costos por metro lineal en los frentes de avance y taladros largos, pasando de 0.781 \$/m a 0.524 \$/m en Jumbos Frontoneros y de 1.921 \$/m a 1.43 \$/m en Jumbos Simbas, además Huamani (2021) explica que un adecuado control y supervisión de los aceros de perforación incrementa su vida útil y con ello reducir costos.

Las consecuencias de no abordar adecuadamente la selección y gestión de los aceros de perforación son múltiples. Entre ellas se encuentran el aumento de los costos operativos, disminución de la productividad, mayor tiempo de inactividad de los equipos y una menor competitividad en el mercado. Además, el uso de aceros de baja calidad puede generar fallas frecuentes, lo que implica mayores gastos en mantenimiento y reemplazo. Arcaya (2023) dice que, en la Unidad Minera San Rafael, se determinó que una gestión inadecuada de los aceros de perforación puede incrementar los costos operativos debido a una menor vida útil de los equipos. Esto evidencia la necesidad de investigaciones que proporcionen datos concretos sobre el desempeño y los costos asociados a diferentes marcas de aceros de perforación.

Esta investigación busca aportar al sector minero peruano una evaluación comparativa del desempeño y costos de adquisición de los aceros de perforación de la marca LHS ROCK TOOLS en relación con otras marcas disponibles en el mercado durante el año 2025(ver siguiente tabla). Al proporcionar datos técnicos y económicos sobre el rendimiento de estos aceros, se pretende ofrecer recomendaciones que permitan a las empresas mineras tomar decisiones informadas en la selección de sus herramientas de perforación, contribuyendo así a la eficiencia y sostenibilidad de sus

operaciones. La evaluación incluirá aspectos como metros perforados, velocidad de perforación y costos totales de adquisición, bajo condiciones de prueba equivalentes.

Tabla 1

Detalle de campañas de prueba

Detalles de las campañas de prueba		
Mina	Comparación	Fecha de evaluación
Mina La Joya	LHS ROCK TOOLS vs B&O	14 al 27 de febrero de 2025
Mina Machacada	LHS ROCK TOOLS vs Boart	08 al 14 de abril de 2025
Mina Anaconda del Sur	LHS ROCK TOOLS vs Mitsubishi	02 al 04 de abril de 2025
Mina Magistral de Huaraz S.A.C	LHS ROCK TOOLS vs Sandvik	05 al 10 de marzo de 2025

Nota. Elaboración propia.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Formulación del problema general

¿Cuál es el desempeño y el costo de adquisición de las barras de 4 pies y brocas de 38 mm cónicas de la marca LHS ROCK TOOLS en comparación con las marcas B&O, Boart, Mitsubishi y Sandvik en operaciones mineras del Perú durante el año 2025?

1.2.2 Formulación del problema específico

- ¿Cuál es la vida útil, medida en metros perforados, de las barras y brocas de la marca LHS en comparación con las marcas competidoras bajo condiciones operativas reales?
- ¿Cuál es el costo de adquisición de las barras de 4 pies y brocas de 38 mm de la marca LHS, y cómo se compara con el costo de productos equivalentes de las marcas B&O, Boart, Mitsubishi y Sandvik?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Evaluar la vida útil y el costo de adquisición de las barras de 4 pies y brocas de 38 mm cónicas de la marca LHS ROCK TOOLS en comparación con productos equivalentes de las marcas B&O, Boart, Mitsubishi y Sandvik, en cuatro operaciones mineras del Perú durante el año 2025.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar la vida útil, en metros perforados, de las barras y brocas LHS ROCK TOOLS frente a las marcas competidoras, bajo condiciones reales de operación en distintas minas.
- Comparar el costo de adquisición de las herramientas LHS ROCK TOOLS con el de las marcas B&O, Boart, Mitsubishi y Sandvik, empleadas en las mismas condiciones operativas.

1.4 Justificación

Este proyecto se justifica desde tres perspectivas esenciales: teórica, metodológica y práctica.

1.4.1 Justificación teórica

La justificación teórica de este proyecto se fundamenta en la necesidad de actualizar y ampliar el conocimiento existente sobre la eficiencia y los costos de las herramientas de perforación en la minería, con un enfoque particular en el mercado peruano para el año 2025. Aunque hay estudios previos sobre aceros de perforación, pocos se concentran en este contexto geográfico y temporal específico, considerando las condiciones operativas y económicas proyectadas. Al realizar una evaluación comparativa detallada que combine desempeño técnico y aspectos económicos, este proyecto llena un vacío en la literatura minera, ofreciendo una contribución de manera

significativa al entendimiento de cómo la elección de una marca de aceros de perforación impacta la productividad y rentabilidad en un proyecto minero.

1.4.2 Justificación metodológica

Metodológicamente, este proyecto se respalda en un diseño integral y sistemático que asegura la validez de sus resultados. La evaluación del desempeño de los aceros de perforación de LHS ROCK TOOLS y otras marcas se llevará a cabo mediante pruebas de campo bajo condiciones controladas y equivalentes, lo que permite una comparación justa y precisa de parámetros como metros perforados y velocidad de perforación. Este enfoque metodológico robusto garantiza que las conclusiones sean fiables y relevantes para las operaciones mineras en el Perú en 2025.

1.4.3 Justificación práctica

Desde un punto de vista práctico, este proyecto tiene el potencial de influir directamente en las operaciones mineras peruanas al ofrecer una comparación basada en datos del desempeño y los costos de los aceros de perforación de LHS ROCK TOOLS frente a sus competidores. Los resultados proporcionarán a las empresas mineras una herramienta clave para optimizar sus decisiones de compra, lo que podría derivar en ahorros significativos, mejoras en la eficiencia de perforación y un aumento en la rentabilidad. Asimismo, las recomendaciones específicas derivadas del estudio permitirán a las compañías adaptar sus estrategias operativas, fortaleciendo su posición en un mercado global altamente competitivo y respondiendo a las demandas de sostenibilidad y eficiencia en 2025.

1.5 Importancia

La importancia de este proyecto reside en su capacidad para revolucionar la eficiencia y la rentabilidad de las operaciones mineras en el Perú mediante la evaluación comparativa de los aceros de perforación de la marca LHS ROCK TOOLS

frente a otras marcas disponibles en el mercado peruano durante el año 2025. Este análisis proporciona una base sólida para que las empresas mineras tomen decisiones informadas sobre la selección de herramientas de perforación, un aspecto crítico en una industria donde la optimización de recursos y el aumento de la productividad son fundamentales para garantizar la competitividad y la sostenibilidad económica. Además, el estudio no solo tiene un impacto práctico inmediato, sino que también enriquece el conocimiento en el ámbito de la ingeniería de minas al ofrecer datos actualizados y específicos que podrían servir como referencia para futuras investigaciones y avances tecnológicos en el sector.

1.6 Alcances y limitaciones

1.6.1 Alcances

El alcance de este proyecto incluye la evaluación comparativa del desempeño y los costos de los aceros de perforación de la marca LHS ROCK TOOLS frente a otras marcas líderes en el mercado peruano durante el año 2025. Se medirán indicadores clave como metros perforados y velocidad de perforación bajo condiciones de prueba equivalentes, además de realizar un análisis exhaustivo de los costos de adquisición. El estudio se enfocará en aplicaciones típicas de perforación en minería subterránea y a cielo abierto en el Perú, considerando las características geológicas y operativas predominantes en el país. Finalmente, se elaborarán recomendaciones específicas para la adopción de estas herramientas, basadas en las ventajas identificadas en términos de costos y desempeño.

1.6.2 Limitaciones

A pesar de su enfoque detallado, este proyecto presenta algunas limitaciones que deben tenerse en cuenta. La evaluación está restringida al mercado peruano y a las condiciones proyectadas para 2025, lo que podría limitar la aplicabilidad de los

resultados a otros contextos geográficos o temporales. Aunque las pruebas se realizarán bajo condiciones equivalentes, las diferencias en las prácticas operativas y las particularidades de cada mina podrían afectar el desempeño real de los aceros de perforación. Además, el estudio se centra exclusivamente en los aceros como la barras y brocas cónicas no incluye otros elementos del sistema de perforación, como el shank o fluidos de lubricación, que también influyen en el rendimiento general. Por último, la precisión de los datos económicos proyectados para 2025 podría introducir cierta incertidumbre en el análisis de costos.

1.7 Planteamiento de hipótesis

1.7.1 Formulación de hipótesis general

Las barras de 4 pies y brocas de 38 mm cónicas de la marca LHS ROCK TOOLS presentan una vida útil competitiva y un menor costo de adquisición en comparación con las marcas B&O, Boart, Mitsubishi y Sandvik, en operaciones mineras del Perú durante el año 2025.

1.7.2 Formulación de hipótesis específicas

- La vida útil de las barras y brocas de la marca LHS, medida en metros perforados, es igual o superior a la de las marcas B&O, Boart, Mitsubishi y Sandvik, bajo condiciones operativas equivalentes.
- El costo de adquisición de las herramientas de perforación LHS es significativamente menor en comparación con el de las marcas competidoras analizadas.

1.8 Variables e indicadores

1.8.1 Variable independiente:

X: Tipo de aceros de perforación

Dimensiones

X1: Tipo de Broca

X2: Tipo de barras

X3: Marca del acero

1.8.2 Variable dependiente 1:

Y: Desempeño de los aceros de perforación

Dimensiones

Y1: Vida útil(m)

Y2: Tasa de desgaste(mm)

Y3: Tasa de penetración(m/h)

1.8.3 Variable dependiente 2:

Z: Costos

Dimensiones

Z1: Costo de adquisición (\$)

Z2: Costo por metro(\$/m)

1.9 Operacionalización de variables

Tabla 2

Matriz de operacionalización de variables

Matriz de operacionalización de variables				
Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores
VI Tipo de acero de perforación	El acero de perforación es el conjunto de elementos metálicos (brocas y barras) diseñados para realizar taladros en roca, cuya eficiencia depende de factores como el material, el diseño y la marca del fabricante.	Se medirá mediante la identificación del tipo de broca, tipo de barras y la marca del acero utilizado en la operación de perforación.	Tipo de broca	Brotón Cruz Cónica Hexagonal
			Tipo de barras	Redonda Integral LHS Rock tools
			Marca del acero	B &O Boart Mitsubishi Sankvik
VD1 Desempeño de los aceros de los aceros de perforación	Se entiende como el rendimiento que presenta el acero de perforación durante su uso, considerando su duración, desgaste y velocidad de avance en el proceso de perforación.	Se evaluará a través de pruebas de campo y registros de perforación, midiendo la vida útil en metros, la tasa de desgaste en milímetros y la tasa de penetración en metros por hora.	Vida útil	Vida útil(m)
			Tasa de desgaste	Tasa de desgaste(mm/h)
			Tasa de penetración	Velocidad (m/h)

VD2	Costos	Es el gasto económico asociado al uso de los aceros de perforación, tanto en su adquisición como en su utilización por metro perforado.	Se calculará considerando el costo unitario de compra del acero y el costo por metro perforado en la operación minera.	Costo de adquisición	Costo (\$)
				Costo por metro perforado	Costo por metro perforado(\$/m)

Nota. Elaboración propia

1.10 Diseño de investigación

1.10.1 Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo aplicada porque tiene como finalidad resolver un problema práctico en el contexto real de la minería peruana, evaluando el desempeño técnico (vida útil) y económico (costo de adquisición) del conjunto de perforación manual compuesto por barras cónicas de 4 pies y brocas cónicas de 38 mm de la marca LHS ROCK TOOLS, en comparación con otras marcas competidoras. El objetivo es proponer una alternativa más eficiente para la selección de insumos de perforación en campo.

1.10.2 Nivel de investigación

El nivel de investigación es descriptivo-comparativo. Es descriptivo porque se analizan variables cuantificables como la vida útil (expresada en metros perforados) y el costo de adquisición. Es comparativo porque se contrasta el desempeño del conjunto cónico LHS frente a las marcas B&O, Boart, Mitsubishi y Sandvik, en condiciones de operación reales y equivalentes.

1.10.3 Diseño de investigación

El diseño de la investigación es no experimental, transversal y comparativo.

Es no experimental porque las variables no son manipuladas intencionalmente, sino observadas en su entorno natural (minas en operación). Es transversal porque los datos se recolectan en un único periodo de tiempo (durante el año 2025). Y es comparativo porque se analizan las diferencias en desempeño y costos del conjunto de perforación entre varias marcas bajo condiciones similares.

1.11 Población y muestra

1.11.1 Población

Está conformada por todos los aceros de perforación del tipo brocas cónicas de 38 mm y barras cónicas de 4 pies utilizados en operaciones de minería subterránea en el mercado peruano durante el año 2025.

1.11.2 Muestra

Está compuesta por los aceros de perforación (brocas y barras cónicas) de la marca LHS ROCK TOOLS y de las marcas competidoras B&O, Boart, Mitsubishi y Sandvik, evaluados en cuatro minas donde se realizaron pruebas comparativas bajo condiciones operativas reales:

- Mina La Joya: LHS vs B&O (14–27 febrero 2025)
- Mina Machacada: LHS vs Boart (08–14 abril 2025)
- Mina Anaconda del Sur: LHS vs Mitsubishi (02–04 abril 2025)
- Mina Magistral de Huaraz S.A.C: LHS vs Sandvik (05–10 marzo 2025)

La selección fue de tipo intencional, considerando la disponibilidad de datos y el acceso a condiciones de prueba comparables.

1.12 Técnicas e instrumentos de toma de datos

1.12.1 Técnica de recolección de datos

Para la presente investigación se emplearán las siguientes técnicas e instrumentos de recolección de datos:

Técnicas:

- Observación directa: Se observará el comportamiento real del conjunto de perforación manual (barras cónicas de 4 pies y brocas cónicas de 38 mm) en campo, registrando indicadores como: metros perforados por

herramienta, frecuencia de cambio, y vida útil efectiva de cada marca evaluada.

- Análisis documental: Se recopilarán reportes operacionales, registros técnicos de las áreas de perforación y facturas de adquisición correspondientes a cada tipo de acero de perforación evaluado (LHS, B&O, Boart, Mitsubishi y Sandvik).

1.12.2 Instrumentos de recolección de datos

- Fichas de recolección de datos: Se diseñarán fichas específicas para registrar indicadores técnicos como: vida útil (en metros), frecuencia de cambio, y observaciones relevantes del operador.
- Formatos en Microsoft Excel: Se utilizarán hojas de cálculo estructuradas para organizar los datos técnicos y económicos, incluyendo costo unitario, costo por metro perforado y resumen comparativo de desempeño.

1.12.3 Procedimientos de recolección de datos

Los datos se tomaron el campo, con el apoyo del técnico de LHS ROCK TOOLS y el encargado de la mina visitada.

1.13 Técnicas de procesamiento y recolección de datos

1.13.1 Procesamiento de datos

Los datos obtenidos serán procesados y analizados mediante las siguientes técnicas:

- Análisis estadístico descriptivo: Se emplearán medidas como promedio para describir el comportamiento técnico de los aceros de perforación en función de su vida útil y costo por metro perforado.
- Análisis comparativo: Se evaluarán las diferencias de desempeño y costos entre la marca LHS ROCK TOOLS y las marcas

competidoras, considerando condiciones de prueba equivalentes en las distintas minas.

- Visualización de datos: Se presentarán los resultados mediante gráficos comparativos (barras, líneas y tablas) para mostrar de forma clara y ordenada las variaciones entre marcas en términos de rendimiento y costos.
- Herramienta informática: Para el procesamiento y análisis de datos se utilizará el software Microsoft Excel.

1.13.2 Técnica de análisis de datos

Para analizar los datos y procesarlos se utilizo plantillas Excel.

CAPÍTULO II

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 Internacionales

Prayitno & Syahrudin (2022) en su estudio titulada “PRODUCTIVITY AND COST ANALYSIS OF DRILLING FOR BLAST HOLES IN GRANITE MINING AT PT. HANSINDO MINERAL PERSADA”, este estudio realizado en 2022 en la empresa PT. Hansindo Mineral Persada, ubicada en Kalimantan Barat, Indonesia, tuvo como objetivo evaluar la productividad y los costos asociados a la perforación de barrenos en la minería de granito. Basado en un marco teórico centrado en la eficiencia operativa y la perforación rotativa-percutiva, se aplicó una metodología cuantitativa que analizó tasas de penetración neta y bruta, además de identificar obstáculos evitables y no evitables durante el proceso. Los resultados mostraron una mejora significativa en la productividad de las máquinas perforadoras, destacando que la máquina 001 incrementó su tasa de penetración neta de 71.39 m³/h a 95.24 m³/h, junto con una reducción en los obstáculos evitables. Aunque el estudio se limitó a una sola empresa y tipo de roca, lo que restringe la generalización de los hallazgos, sus aportaciones ofrecen datos empíricos valiosos para optimizar la productividad y reducir costos en operaciones similares de perforación en granito.

Kwon et al. (2014) en su estudio “Evaluation of drilling efficiency by percussion testing of a drill bit with new button arrangement”, en su estudio experimental realizado en Japón se centró en evaluar la eficiencia de perforación de brocas con un nuevo diseño de botones en comparación con configuraciones convencionales, utilizando muestras de roca granítica en condiciones de laboratorio. Basado en teorías de transferencia de energía en sistemas de percusión y diseño de herramientas de corte,

el trabajo empleó un sistema de caída de pistón para probar distintos diseños de brocas, midiendo los volúmenes de roca perforada y las energías percutivas aplicadas. Los resultados revelaron que el nuevo diseño de botones logró una mayor eficiencia de perforación, al remover un mayor volumen de roca por unidad de energía en comparación con los diseños tradicionales. Aunque limitado a pruebas en laboratorio y a un tipo específico de roca, este estudio aporta información relevante sobre cómo el diseño de herramientas influye en la eficiencia energética y operativa, sentando las bases para futuras mejoras en equipos de perforación.

Su et al. (2013) en su trabajo “Comparison of Drilling Performance of Chisel and Button Bits on the Electro Hydraulic Driller”, en Turquía comparó el rendimiento de brocas de cincel y de botón durante la perforación en formaciones de conglomerado y arenisca, utilizando perforadoras electrohidráulicas, con el objetivo de evaluar diferencias en la tasa de penetración, la energía específica y el desgaste. Basado en conceptos de perforabilidad de rocas y eficiencia energética, la investigación combinó estudios de campo y laboratorio, incluyendo pruebas de perforación y abrasividad, además de análisis estadísticos para medir el desempeño de ambos tipos de brocas. Los resultados demostraron que las brocas de botón ofrecieron una mayor tasa de penetración, menor consumo de energía específica y mayor vida útil, especialmente en formaciones de arenisca, sin importar el ángulo de inclinación. Aunque el estudio se enfocó en formaciones y herramientas específicas, lo que limita su aplicabilidad general, aporta evidencia empírica valiosa sobre la influencia del tipo de broca en la eficiencia de perforación, siendo clave para optimizar operaciones mineras.

2.1.2 Nacionales

Curasi & Quispe (2023) en su tesis titulado “Evaluación de aceros de perforación para propuesta de consumo mensual, labores de avance, unidad minera Sotrami S. A.,

2023”, ubicada en Huamachuco, Perú, tuvo como objetivo evaluar el rendimiento de los aceros de perforación para proponer un consumo mensual adecuado en las labores de avance dentro de la minería subterránea. Basado en principios de eficiencia operativa y gestión de insumos, se aplicó una investigación de tipo aplicada, con nivel descriptivo correlacional y diseño no experimental, en la que se analizaron labores específicas de avance, evaluando el rendimiento de brocas y barrenos. Los resultados indicaron un consumo mensual estimado de 800 brocas, 840 barrenos de 6 pies y 1,219 barrenos de 4 pies, destacando que las brocas de 36 mm tuvieron una vida útil promedio de 250 pies perforados en roca dura. Aunque el estudio se centró en una sola unidad minera y tipo de roca, lo que limita la extrapolación de los hallazgos, sus aportes ofrecen una metodología útil para establecer propuestas de consumo mensual de aceros de perforación, apoyando una gestión más eficiente de insumos en minería subterránea.

Aparco & Garcia (2019) en su tesis titulada “OPTIMIZACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DE LOS ACEROS DE PERFORACIÓN PARA LA REDUCCIÓN DE COSTOS EN MINA SAN VICENTE -CIA. SAN IGNACIO DE MOROCOCHA S.A.A. AÑO 2018”, tuvo como propósito determinar cómo la optimización de la vida útil de los aceros de perforación influye en la reducción de costos operativos. Basado en teorías de mantenimiento predictivo y eficiencia operativa, se desarrolló una investigación aplicada con enfoque cuantitativo, utilizando herramientas estadísticas como el coeficiente de correlación de Pearson para analizar la relación entre la duración de los aceros y los costos. Los resultados mostraron un incremento del 35% en la vida útil de las brocas de 45 mm y del 31% en las barras de 12 pies, generando un ahorro anual de \$17,220.48. A pesar de que el estudio se centró en una sola mina y tipos específicos de aceros, lo que puede limitar su generalización, aporta evidencia clara de que mejorar

la durabilidad de los aceros de perforación puede reducir significativamente los costos operativos en minería.

Gomez (2024) en su tesis titulada “Gestión de aceros de perforación para reducción de costos operativos – Unidad Minera Yauliyacu”, tuvo como objetivo determinar la influencia de la gestión de aceros de perforación en la reducción de costos operativos, basándose en principios de gestión de calidad y mantenimiento preventivo en operaciones mineras. Mediante una investigación aplicada y explicativa, se analizaron el rendimiento de los aceros y prácticas de gestión como el mantenimiento predictivo y la capacitación del personal. Los resultados demostraron que una gestión adecuada de los aceros mejoró significativamente el rendimiento: las brocas afiladas superaron en un 14.08% los valores recomendados, mientras que las barras y el shank mostraron mejoras del 9.95% y 7.44%, respectivamente. Aunque el estudio se limitó a una sola unidad minera, lo que restringe la generalización de sus conclusiones, aporta evidencia sólida de que una gestión eficiente de los aceros de perforación puede contribuir de manera importante a la reducción de costos operativos en minería.

2.2 Bases teóricas

La perforación en la minería es una operación unitaria importante. En minería se conoce a la perforación como el proceso de hacer agujeros en la roca que se conoce como taladros con un diámetro y longitud requerida con la finalidad de colocar explosivos para la voladura, obtener muestras de la roca e instalar sostenimiento (pernos de anclaje, cables, mallas, ect.).

Hambley & Rostami (2011) clasifica a la perforación en dos grupos:

Perforación percusiva

- Con tamaños de taladros más pequeños (diámetros de hasta 150 mm [6 in.]), el impacto y la rotación de la broca se transmite desde el maquina (top

hammer) a la broca a través de una varilla o una serie de varillas unidas entre sí (conocidas como sarta de perforación o drill string).

- Con tamaños de taladros más grandes (diámetros de 75 mm a 508 mm [3 a 20 in.]), el martillo se encuentra en el fondo del barreno (DTH – down-the-hole o ITH – in-the-hole) justo encima de la broca, y el impacto se transmite directamente a esta.

Perforación rotativa

- Se usan brocas tipo drag para taladros de 75 a 250 mm (3–10 in.) en rocas blandas.
- Se usan brocas tricónicas para taladros de 75 a 300 mm (3–12 in.) en rocas medias y duras.
- Se usan brocas de rodillos más grandes para agujeros mayores a 300 mm (12 in.) (p. 435).

FAMESA (2019) clasifica también a la perforación en dos grupos:

- **Métodos rotopercutivos.** Son los más utilizados en casi todos los tipos de roca, tanto si el martillo se sitúa en cabeza como en el fondo del barreno.
- **Métodos rotativos.** Se subdividen a su vez en dos grupos, dependiendo de si la penetración se realiza por trituración, empleando triconos, o por corte, utilizando trépanos o brocas especiales. El primer sistema se aplica en rocas de dureza media a alta, mientras que el segundo es usado en rocas blandas (p. 45).

Tanto Darling (2011) y FAMESA (2019) coinciden con la clasificación de los principales métodos de perforación en la minería. Debemos tener en cuenta que existen otros métodos de perforación como los TBM o los Rise Boring que también estarían

dentro de los rotativos, pero tienen una función y tratamiento distinto ya que son perforadoras de grandes diámetros.

En este contexto las perforadoras tanto rotopercutivos y rotativos hacen uso de las barras, brocas, shank, adaptadores, ect. que van a ser nuestro objeto de estudio en este trabajo.

2.2.1 Aceros de perforación

2.2.1.1 Brocas

2.2.1.1.1 Brocas rotopercutivos

Las brocas rotopercutivas se utilizan en sistemas de perforación que combinan rotación y percusión para fracturar rocas duras. Este tipo de brocas es común en equipos como martillos en cabeza (top hammer) o martillos de fondo (DTH, Down-The-Hole). Su diseño está optimizado para soportar altas fuerzas de impacto y desgaste, y suelen incluir insertos de materiales extremadamente duros como carburo de tungsteno. Hay dos grandes categorías: brocas de botones y brocas de placas, además de las especializadas como las brocas de escarpado.

Figura 1

Partes de la broca rotopercutiva

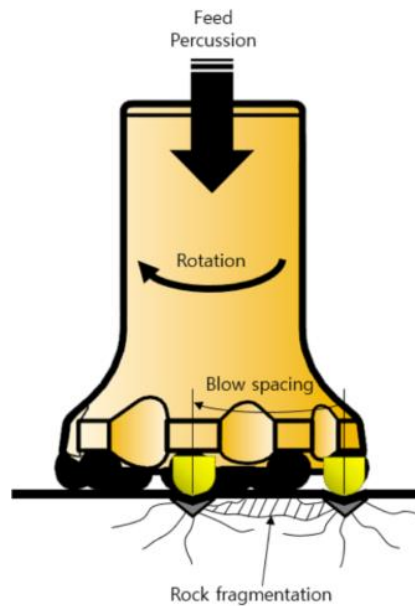


Nota. En esta imagen se puede apreciar las partes principales de broca rotopercutiva.

Tomado de *Herramientas de perforación de martillo superior* (p. 7), por Boart Longyear, 2018, Boart Longyear.

Figura 2

Mecanismo de fragmentación de broca de perforación



Nota. Tomada de Evaluation of Drilling Efficiency by Percussion Testing of a Drill

Bit with new Button Arrangement, por Kwon et al., 2014, Springer.

Brocas de botones

Las brocas de botones son herramientas para la perforación ampliamente usadas en rocas mixta, dura y muy dura. Este hecho de acero de alta calidad además tiene a aleaciones de carburo de Tungsteno (lo que otorga resistencia y durabilidad) en forma de botones en la cara de la broca donde va tener contacto directo con la roca. A este tipo de broca también se conoce como broca piña.

Figura 3





Equipo rotopercutivo con sus diferentes diámetros de brocas a botones



Nota. Tomada de Optimal button arrangement of a percussion drill bit and its operating condition for improving drilling efficiency, Kang et al., 2018, Optimal button arrangement of a percussion drill bit and its operating condition for improving drilling efficiency

Estas brocas tienen características particulares que se tienen que tener en cuenta para su elección entre ellos tenemos el tipo de botones, cantidad de botones y tipo de cara de la broca, adicionalmente el diámetro de la broca que está estrechamente relacionado con el tipo de equipo de perforación que se va a usar.

Tabla 3*Tipos de botones.*

Tipo de botones		
Botón hemisférico	Ideal para suelo duro	
	25,000 a 45,000 PSI (170 a 300 MPa)	
	Abrasivo a muy abrasivo	
Botón parabólico (semi balístico)	Penetración rápida	
	Ideal para suelo mediano	
	15,000 a 25,000 PSI (100 a 170 MPa)	
Botón cónico	Suelo ligeramente abrasivo	
	Intensidad de la aplicación: penetración rápida	
	Adecuado para todos los tipos de suelo no abrasivos	
	Área de contacto más pequeña	
Botón balístico	Ideal para brocas de menor diámetro	
	Penetración rápida	
	Adecuado para todos los tipos de suelo no abrasivos	
	Área de contacto más pequeña	
	Ideal para brocas de menor diámetro	

Nota. Tipos de botones de brocas a botones. Tomado de *Herramientas de perforación de martillo superior* (p. 9), por Boart Longyear, 2018, Boart Longyear.

Cantidad de botones

Los fabricantes de brocas rotopercutivas determinan la cantidad de botones basándose en un conjunto de criterios técnicos y operativos que aseguran un rendimiento óptimo en cada aplicación. El diámetro de la broca es clave: a mayor tamaño (32 mm con 6-9 botones a 152 mm con hasta 20), más botones se necesitan para cubrir el área de perforación y distribuir el impacto de manera uniforme. La dureza y abrasividad de la roca también influyen: rocas duras como el granito exigen más botones para resistir el desgaste, mientras que rocas blandas como la caliza priorizan velocidad con menos botones. Además, el tipo y profundidad de la perforación, el diseño de la cara (plana, cóncava o convexa) y la evacuación de detritus ajustan la cantidad para estabilizar el avance y limpiar el taladro eficientemente. No existe fórmula matemática para calcular el número de botones de la broca, los fabricantes lo determinan a ensayo y error.

Tipo de cara de la broca

La cara de la broca puede ser plana, cóncava o convexa y esto se determina con el análisis de tipo de roca, condiciones de perforación buscando optimizar la eficiencia, durabilidad y precisión. Para rocas duras y compactas como el granito, eligen una cara plana que asegura estabilidad y una transferencia de energía uniforme, priorizando rectitud sobre velocidad; en rocas fracturadas o sueltas como el esquisto, optan por una cara cóncava que estabiliza la broca y reduce desviaciones; y para rocas blandas o de dureza media como la arenisca, prefieren una cara convexa que maximiza la velocidad de penetración, aunque puede desgastarse más en materiales abrasivos. Además, consideran la evacuación de detritus(mejor en caras cóncavas y convexas) y realizan pruebas de campo y simulaciones para equilibrar estos factores según la aplicación específica, logrando un diseño potente y adaptado.

Figura 4

Tipos de caras de brocas a botones



Nota. Tomado de *Top Hammer Rock Drilling Tools*, por Sandvik, 2022.

Brocas de Placas

Las brocas de placas (o plaquitas) tienen insertos de carburo de tungsteno en forma de placas cortantes en lugar de botones. Los diseños de brocas de placa están limitados a configuraciones de cara de tipo cruzado y "X".

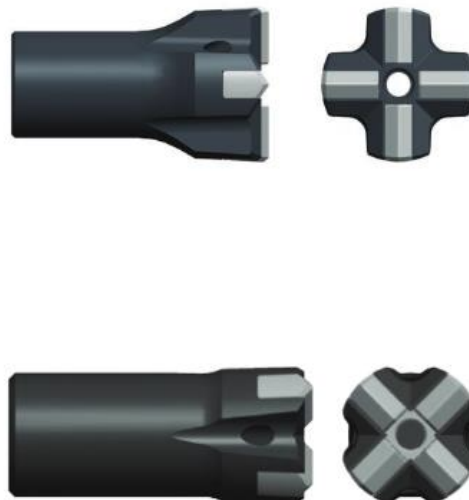
- 32 mm a 57 mm están restringidos a una configuración cruzada.
- Por lo general, 57 mm o más tienen una configuración 'X'.

En circunstancias especiales, se prefieren las brocas de placa

- Las brocas de placa tienden a resistir el desgaste del indicador mejor que las brocas de botón.
- Se requiere precisión del orificio y se encuentra con suelo muy duro y abrasivo.

Figura 5

Broco de placas.

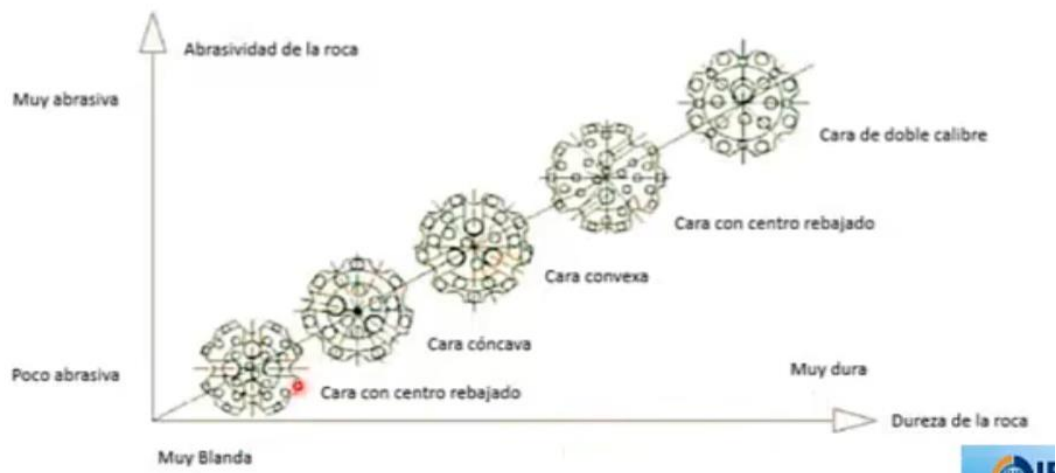


Nota. En esta imagen se puede apreciar broca de placa en forma de cruz y "X". Tomado de *Herramientas de perforación de martillo superior* (p. 7), por Boart Longyear, 2018, Boart Longyear.

Las brocas de botones son mucho mejores que las brocas de placas (o aspa) en muchos aspectos. Gracias a su diseño con botones de carburo de tungsteno (esféricos o balísticos), son más versátiles y se adaptan a todo tipo de rocas, desde blandas hasta extremadamente duras como el granito o la cuarcita. Ofrecen un mejor rendimiento en rocas duras, mayor velocidad de penetración y una durabilidad superior, especialmente en condiciones abrasivas. Además, su estructura, que incluye caras cóncavas, mejora la precisión direccional y facilita la evacuación de detritos, reduciendo costos operativos. Aunque las brocas de placas pueden ser útiles en rocas duras con fracturas, las de botones son generalmente más eficientes y preferidas en la mayoría de las aplicaciones de perforación rotopercutiva.

Figura 6

Relación de la abrasividad y el tipo de broca



2.2.1.1.2 *Brocas rotativas*

Las brocas rotativas en la minería son fundamentales, pueden perforar en todo tipo de condiciones geológicas. Su mecanismo de perforación es un movimiento de giro continuo de un cabezal de corte que ejerce una presión mientras gira triturando el material perforado. Se usa en minería subterránea y principalmente en la minería

superficial de gran diámetro. Están fabricados de acero endurecido y carburo de tungsteno que garantiza una larga durabilidad y resistencia al desgaste.

Figura 7

Brocas rotativas



Nota. Tomada de *Product catalogue - Tophammer equipment*, Epiroc, 2022.

Figura 8

Partes de la broca tricónica



Nota. Tomada de *Product catalogue - Tophammer equipment*, Epiroc, 2022.

Las principales brocas que se usan en la minería son los tricónicas y las de forma de tubo o barril que se usan en las perforaciones diamantinas de exploración conocido como los DDH(diamond drill hole).

Figura 9

Brocas rotativas para DDH



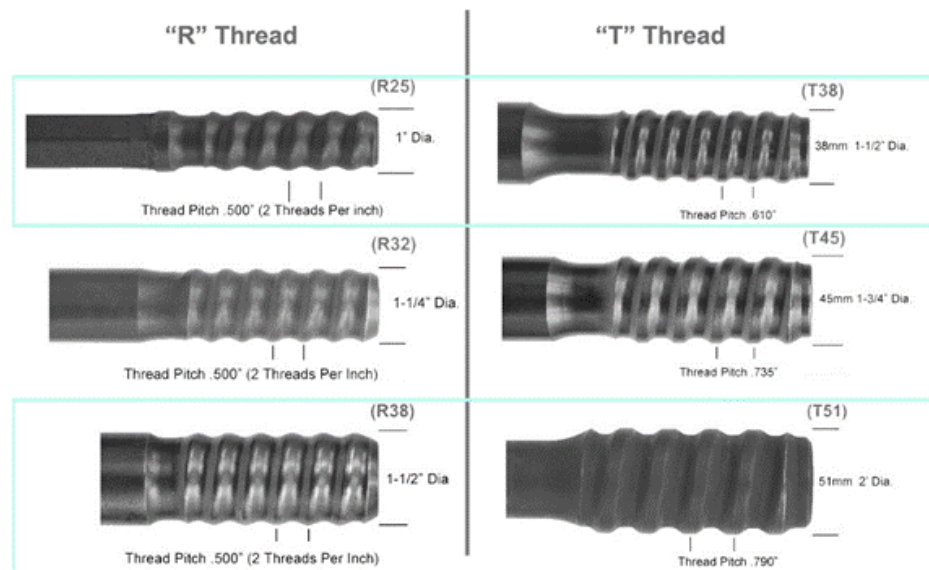
Nota. Brocas rotativas para perforación diamantina. Tomada de *Product catalogue - Tophammer equipment*, Epiroc, 2022.

2.2.1.2 Barras

Es el componente de perforación en forma tubular puede ser del sistema rotativo o rotopercutivo. Tiene como función transmitir la energía (torque, empuje e impacto) a la broca además permite la circulación de fluido como el aire y agua para controlar el polvo y hacer el barrido del taladro. Se fabrica de aceros muy resistentes a la fatiga, corrosión y abrasión (aleaciones de Cr-Mo). Su diseño varía según el sistema de perforación utilizado, puede ser de martillos de cabeza (Top Hammer) y martillos de fondo (Down-the-Hole, DTH).

Figura 10

Tipos de hilos de barra en rosca



Nota. Tipos de hilos de barra en forma de “T” y “R”. Tomada de *Product catalogue* - *Tophammer equipment*(p. 32), Epiroc, 2022.

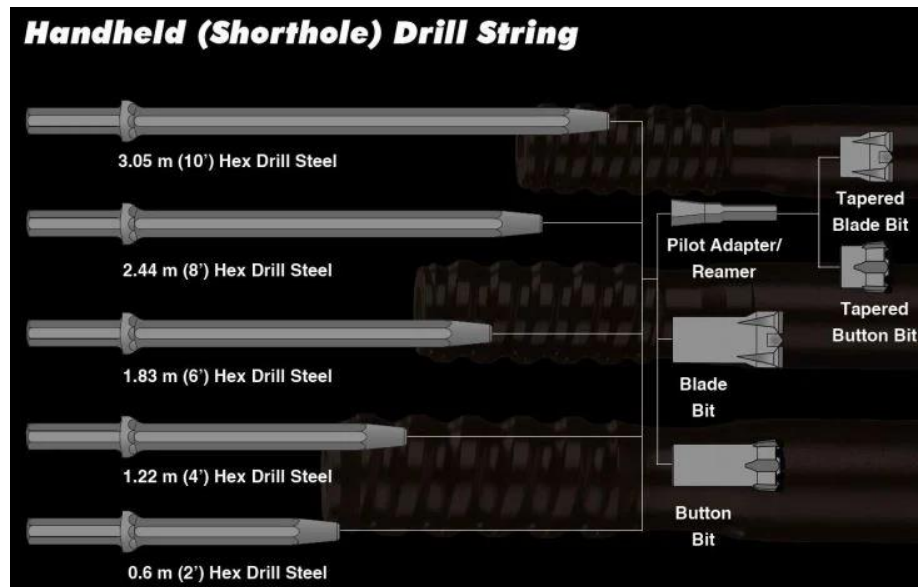
2.2.1.2.1 Barras de Perforación en Martillo de Cabeza (Top Hammer)

En el sistema de perforación Top Hammer el parillo que golpea la barra se encuentra en la parte superior de la columna de perforación, esto significa que la barra es el que transmite toda la energía de impacto a la broca perdiendo un porcentaje significativo en el transcurso.

Las características como la longitud y el diámetro varían según el fabricante y el tipo de equipo de perforación. Está fabricado de acero resistente a la torsión, flexión y el desgaste por el contacto entre la roca y la barra.

Figura 11

Barras hexagonales



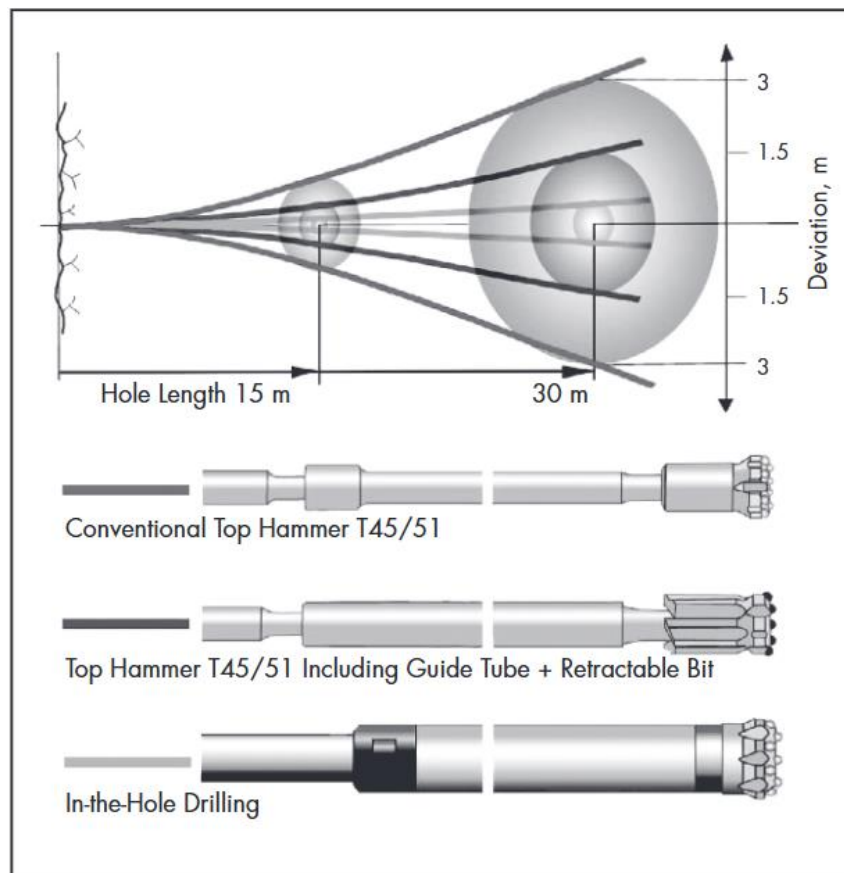
Nota. Barra hexagonal para brocas cónicas. Tomada de *Atlas Copco* (p. 120), 2023.

2.2.1.2.2 *Barras de Perforación en Martillo de Fondo (DTH)*

En este sistema el martillo está al fondo de la sarta de perforación justo antes de la broca, esto quiere decir que la broca recibe directamente toda la energía de impacto lo que se refleja en el menor desvío del taladro.

Figura 12

Desviación anticipada del taladro para varios sistemas de perforación



Nota. Desviación perforación con martillo de cabeza convencional y retráctil y martillo de fondo, se observa que la menor desviación tiene la perforación con cabeza de fondo. Tomado de *SME Underground Mining Handbook* (p. 424), por P. Darling, 2023, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration (SME)

En la minería el impacto de los aceros de perforación es de mucha importancia y directamente ligada con la eficiencia y productividad un control y elección adecuado puede mejorar el desempeño operativo de la mina. A medida que evolucionan las operaciones mineras, la selección adecuada de aceros de perforación se ha vuelto cada vez más importante para lograr una perforación precisa y eficiente en diversas condiciones geológicas.

2.2.2 Desempeño

La adecuada evaluación del desempeño de los aceros de perforación en la minería es un aspecto crítico en la gestión eficiente de todas las operaciones mineras. Los aceros de perforación es uno de los materiales que tiene un mayor impacto en costos de ahí viene la necesidad de la implementación de sistemas de medición del desempeño que permiten optimizar los principales indicadores, factores y metodologías empleadas en reducir los costos operativos.

2.2.2.1 ¿Qué es el desempeño de aceros de perforación en la minería?

Se define como la capacidad del material para operar en condiciones extremas de perforación de rocas que están ligadas a sus propiedades mecánicas. Estos aceros tienen una combinación óptima de propiedades mecánica como la alta dureza para resistir el desgaste abrasivo, tenacidad para soportar impactos y cargas cíclicas, altas presiones y temperaturas por último resistencia a la corrosión en ambientes húmedos o químicos. Su comportamiento depende de la microestructura, determinada por la composición química (con aleaciones como cromo o vanadio) y tratamientos térmicos (como temple y revenido), así como del diseño de herramientas y procesos de manufactura, impactando directamente la eficiencia, durabilidad y los costos de las operaciones mineras.

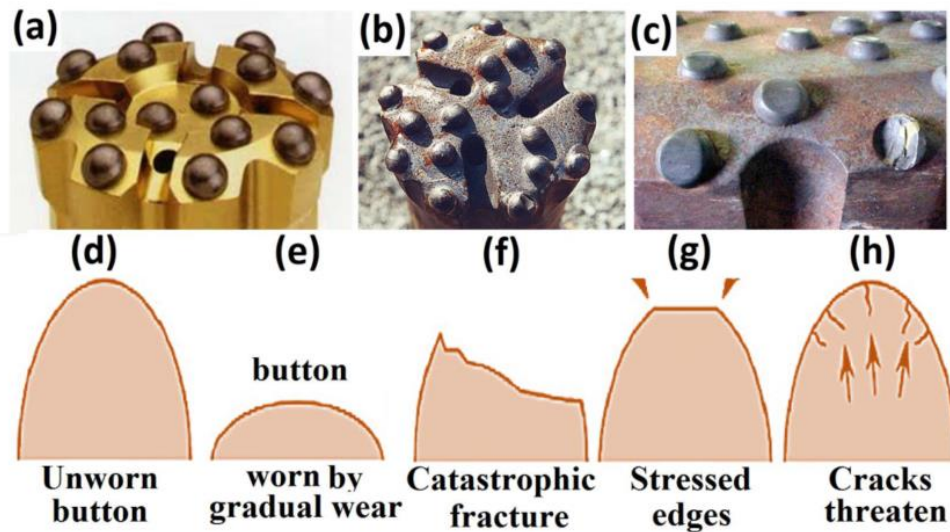
2.2.2.1.1 Vida útil del acero(L)

Distancia total perforada(m) hasta el remplazo.

$L = \sum$ de la longitud total perforada, se mide en metros(m).

Figura 13

Tipos de desgaste de la broca



Nota. (a) Broca de corona de carburo de tungsteno sin uso, (b) broca fallada por desgaste gradual, (c) fractura catastrófica y botones con desgaste gradual. Los botones periféricos parecen sufrir más desgaste por abrasión, lo que conduce a un desgaste más rápido que en los botones centrales. (d) Botón sin desgaste, (e) botón desgastado por desgaste gradual, (f) fractura catastrófica, (g) se requiere reafilado para evitar fracturas donde el desgaste gradual ha formado bordes de concentración de esfuerzos, (h) grietas en los botones, se requiere reafilado para evitar fracturas [10]. El rendimiento frente al desgaste de los botones de carburo de tungsteno depende principalmente de la deformación plástica, la aparición de grietas y la trituración de los granos individuales de WC. Sin embargo, mecanismos como la pérdida de cobalto y la penetración de material de roca también pueden afectar la vida útil del botón de perforación. Tomado de *A comprehensive review on synergy effect between corrosion and wear of cemented tungsten carbide tool bits: A mechanistic approach*, P. K. Katiyar, 2020, International Journal of Refractory Metals and Hard Materials

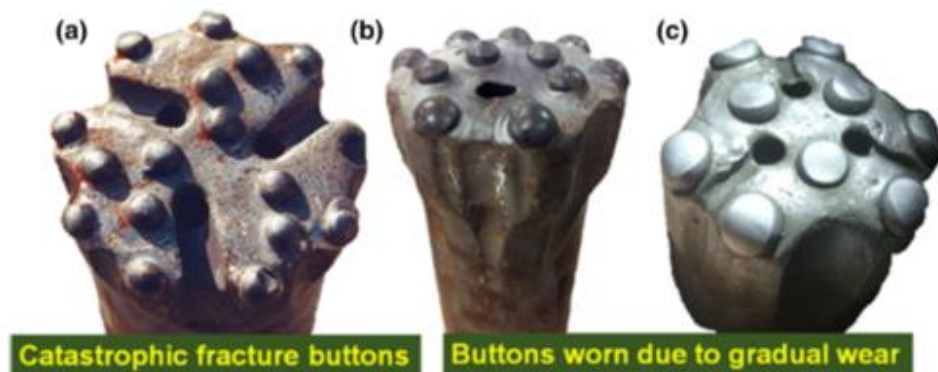
2.2.2.1.2 Tasa de penetración (ROP)

Velocidad de perforación en función del tiempo.

$$ROP = \frac{L}{t}, \text{ donde } t = \text{ tiempo activo de perforación (horas), se mide en m/h.}$$

Figura 14

Brocas de carburo de Tungsteno desgastados



Nota. Imágenes de diferentes tipos de brocas de carburo de tungsteno falladas, que evidencian el deterioro y desgaste de los botones después de perforar roca dura: (a) botones muy desgastados que provocaron fallas prematuras, (b) botón desgastado gradualmente debido a la presencia de roca menos dura, (c) botones severamente desgastados. La velocidad de rotación excesiva puede provocar un mayor desgaste en la circunferencia. Tomado de *Failure Behavior of Cemented Tungsten Carbide Materials: A Case Study of Mining Drill Bits*, Katiyar et al., 2021, Journal of Materials Engineering and Performance.

2.2.2.1.3 Eficiencia de desgaste (η)

Relación entre metros perforados y desgaste dimensional.

$$\eta = \frac{L}{\Delta d}, \text{ donde } \Delta d = \text{reducción de diámetro (mm) se mide en } \frac{m}{m} = m.$$

2.2.2.1.4 Costo por metro (CPM)

Costo total de la herramienta incluyendo mantenimiento, por metro perforado.

$$\text{CPM} = \frac{C_t + C_m}{L}, \text{ donde } C_t = \text{costo herramienta, } C_m$$

= mantenimiento, se mide en USD/m.

2.2.2.1.5 **Índice de desgaste abrasivo (IDA)**

Pérdida de masa del acero por metro perforado.

$$\text{IDA} = \frac{M_i - M_f}{L}, \text{ donde } M_i = \text{masa inicial, } M_f = \text{masa final, se mide en g/m.}$$

2.2.2.1.6 **Vida útil en horas (t)**

Tiempo total de operación antes de falla.

$$T = \sum t_{\text{operativo}} \text{ (excluyendo tiempos de inactividad), se mide en horas.}$$

2.2.2.1.7 **Dureza residual (HRC)**

Dureza Rockwell C remanente tras el desgaste.

$$HRC_{\text{final}} = HRC_{\text{initial}} - \Delta HRC, \text{ se mide en HRC.}$$

2.2.2.1.8 **Tasa de fallas (λ)**

Frecuencia de fallas prematuras por cada 1 000 metros.

$$\lambda = \frac{N_{\text{fallas}}}{L} \times 1000, \text{ donde } N_{\text{fallas}} = \text{número de fallas.}$$

2.2.2.1.9 **Reducción de diámetro (Δd)**

Pérdida de diámetro debido al desgaste abrasivo.

$$\Delta d = d_{\text{inicial}} - d_{\text{final}} \text{ (medido con micrómetro de precisión), se mide en mm.}$$

2.2.2.1.10 **Velocidad de corrosión (V_c)**

Pérdida de espesor del acero por año debido a corrosión.

$$V_c = \frac{\Delta e}{t}, \text{ donde } \Delta e = \text{pérdida de espesor (mm), } t$$

= tiempo (años), se mide en mm/año.

2.2.3 Costos

2.2.3.1 *Importancia de medir los costos de aceros de perforación*

La medición de los costos de los aceros de perforación es un aspecto crítico para la optimización de las operaciones mineras en Perú, donde la minería representa un pilar económico significativo, contribuyendo con aproximadamente el 60% de las exportaciones. La industria minera enfrenta desafíos como precios bajos de metales y altos costos de producción, lo que resalta la necesidad de gestionar eficientemente cada componente de los costos. Los aceros de perforación, que incluyen brocas, barras y shank son esenciales en el proceso de perforación. El control de costos es fundamental para las empresas perforadoras, dado el alto costo de insumos, y cualquier desviación puede impactar los resultados. Es tanto la importancia de los aceros de perforación que se considera un "commodity", lo que significa su importancia estratégica. Optimizar estos costos no solo reduce gastos operativos, sino que también mejora la productividad al maximizar el rendimiento de los equipos donde se destaca que mejorar la calidad de los aceros puede extender su vida útil y reducir la necesidad de mantenimiento generando ahorros significativos.

El costo de perforación se puede expresar por metro perforado usando la siguiente ecuación:

$$C_T = \frac{C_A + C_I + C_M + C_D + C_E + C_L}{VM} + C_B$$

Donde:

Costos indirectos:

C_A = Amortización (PTA/h)

C_I = Intereses y seguros (PTA/h)

Costos directos:

C_M = Mantenimiento y reparaciones (PTA/h)

$C_D =$ Mano de obra (PTA/h)

$C_E =$ Combustible o energía (PTA/h)

$C_L =$ Aceites, grasas y filtros (PTA/h)

$C_B =$ Bocas, varillas, manguitos y adaptadores (PTA/m)

$VM =$ Velocidad media de perforación (m/h)

CAPÍTULO III

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Generalidades

El presente trabajo de investigación se realizó en 4 minas, que se detalla a continuación.

3.1.1 Mina La Joya

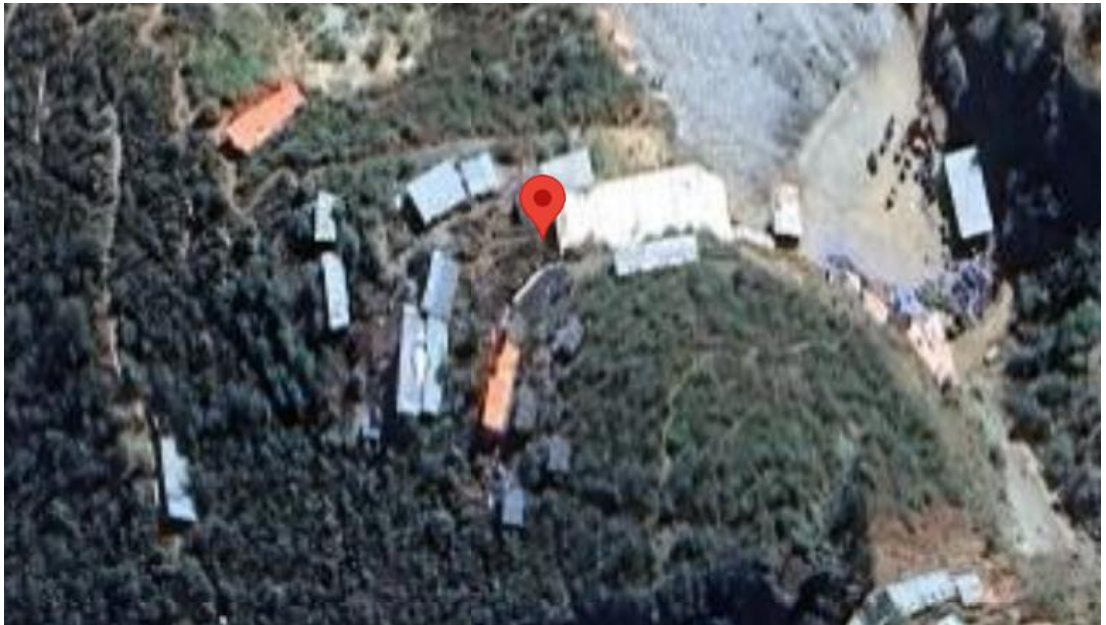
3.1.1.1 Ubicación

Mina la Joya esta ubicado en el distrito de Pataz , provincia Pataz, región La Libertad, Perú.

- Latitud: -7.768°
- Longitud: -77.593°
- Altitud: $\sim 3,100$ m s.n.m.

Figura 15

Vista general de la Mina La Joya



Nota. Tomada de Google Earth.

3.1.1.1 Contexto geológico y minero

El mapa metalogenético de Pataz muestra la distribución de las fajas mineralizadas y su relación con la geología regional. En la provincia de Pataz (La Libertad, Perú) se identifica una de las franjas auríferas más importantes del país, conocida como la Faja Aurífera de Pataz.

Características principales:

- Está asociada principalmente al Batolito de Pataz, un intrusivo granítico del Cretácico.
- Los yacimientos de oro se presentan en vetas de cuarzo auríferas de origen hidrotermal, controladas estructuralmente por fallas y fracturas.
- Las vetas tienen orientación predominante NW-SE y buzamiento alto, con leyes de oro que pueden ser muy altas.
- Además del oro, se reconocen asociaciones con minerales como pirita, galena, esfalerita y calcopirita en menor proporción.

3.1.1.2 Accesibilidad

La accesibilidad a la Mina La Joya es directamente por el distrito de Pataz.

De	A	Distancia(km)	Tiempo(hh:mm)	Medio
Lima	Trujillo	340	00:45	Avión
Trujillo	Pias	163	08:00	Bus
Pias	Retamas	44	00:42	Camioneta

3.1.2 Mina Machacala

3.1.2.1 Ubicación

La Mina Machacala se localiza en el Distrito de Carabamba, Provincia de Julcán, Departamento de La Libertad, en la sierra norte del Perú. Como referencia, se encuentra próxima a la ciudad de Otuzco, con coordenadas aproximadas de 8.1980° S y 78.6164° O.

3.1.2.2 Contexto geológico y minero

El yacimiento corresponde a vetas epitermales de oro y plata de baja sulfuración. La explotación histórica se realizó principalmente en las décadas de 1950 y posteriormente entre 1979 y 1991, cuando fue operada por Minera Santa Isabel S.A.

Las labores mineras se desarrollaron mediante operaciones a cielo abierto y subterráneas, alcanzando profundidades de hasta 200 m bajo superficie y una extensión longitudinal aproximada de 600 m.

3.1.2.3 Accesibilidad

El área se ubica en una zona montañosa, siendo Otuzco el punto de referencia más importante para el acceso regional.

Tabla 4

Resumen de la ubicación y características de la Mina Machacala

Elemento	Detalles
Región	La Libertad
Provincia	Julcán
Distrito	Carabamba
Punto de referencia	Ciudad de Otuzco
Coordenadas	~8.1980° S, 78.6164° O
Tipo de explotación	Cielo abierto y subterránea (hasta 200 m de profundidad, 600 m de longitud)

3.1.3 Mina Anaconda Sur

3.1.3.1 Ubicación

La Mina Anaconda Sur se encuentra al sur de Ayacucho, frontera con la región Arequipa.

- Región: Ayacucho
- Provincia: Parinacochas
- Distrito: Pullo

Coordenadas y altitud:

- Latitud: 15° 36' 52.3" S ($\sim -15.6145^\circ$)
- Longitud: 74° 03' 27.9" O ($\sim -74.0577^\circ$)
- Altitud: ~ 1252 m sobre el nivel del mar

Figura 16

Vista general de la Mina Anaconda Sur



Nota. Tomada de Google Earth.

3.1.3.2 Contexto geológico y minero

Mapa metalogenético:

- Tipo de distrito metalogenético: distrito aurífero de pequeña escala, dominado por minería aurífera de tipo aluvial/relave y vetiforme (vetas auríferas y trabajos recrecidos en relaves).
- Principales estilos de mineralización: re-seat (reconcentración de oro en depósitos aluviales/coluviales y relaves), y mineralización en vetas de

cuarzo asociadas a fracturación local. En la práctica local hay explotación de relaves y explotación artesanal de venas y placeres.

- Control estructural y espacial: la mineralización está fuertemente controlada por fallas y zonas de cizalla locales (estructuras que facilitaron la remobilización hidrotermal y luego la concentración superficial/relave). (interpretación regional y observaciones locales).

2) Geología (síntesis relevante para el mapa metalogenético)

- Unidades litológicas dominantes: la zona pertenece al dominio andino meridional con paquetes volcánico-sedimentarios y rocas clásticas/volcánicas terciarias-cuaternarias en la cuenca, sobre las cuales se emplazan afloramientos locales y depósitos aluviales. (Para cartografía detallada, usar cartas 1:100k/500k de INGEMMET).
- Rocas encajonantes y cuerpos intrusivos: en la región más amplia de Parinacochas hay sectores con volcanismo y cuerpos intrusivos que pueden asociarse a mineralizaciones epithermales en otras partes del sur andino; en Relave la expresión dominante es superficial (relaves y placeres).
- Procesos geológicos relevantes: meteorización, transporte fluvial/coluvial y actividades antrópicas (acumulación de relaves) han re-distribuido mineralización aurífera; por eso el mapa metalogenético local debe mostrar concentraciones en relaves, cauces y vetas locales.

3) Aspecto minero (estado y características)

- Tipo de explotación predominante: pequeña minería y minería artesanal (incluye re-procesamiento de relaves y explotación de vetas/placeres). Existen empresas y asociaciones locales (ej.: AURELSA y asociaciones de mineros artesanales).

- Formalización y regulación: ha habido procesos de formalización y expedientes ante la Dirección Regional de Energía y Minas (DREM) de Ayacucho; la actividad mezcla actores formalizados y actividades informales.
- Problemática ambiental y social: presencia de pasivos (relaves), conflictos sociales (medidas comunitarias recientes como el ultimátum a extranjeros en 2024) y riesgos por eventos climáticos que han afectado infraestructura (deslizamientos por lluvias). Estas realidades influyen en la gestión de los relaves y en la percepción de la minería.

3.1.4 Mina Magistral de Huaraz S. A. C.

3.1.4.1 Ubicación

La Unidad Minera Magistral, también conocida como Mina Tuco, es operada por la empresa SMRL Magistral de Huaraz S.A.C. y se encuentra en:

- Región: Áncash
- Provincia: Bolognesi
- Distrito: Aquia
- Altitud: 4,700 m.s.n.m.
- Coordenadas UTM (WGS84): Este 258,617 - Norte 8'897,967
- Carta IGN: 20-I, Zona 18, Banda L

Geográficamente, está situada en las estribaciones del flanco occidental de la Cordillera Blanca, aproximadamente a 20 km al noreste de Conococha.

Figura 17

Vista satelital de la Mina Magistral



Nota. Toma de Google earth

3.1.4.2 Accesibilidad

El acceso a la mina desde la ciudad de Lima se realiza por vía terrestre siguiendo el recorrido descrito en la siguiente tabla.

Tabla 5

Ruta de acceso hacia la Unidad Minera Magistral

Etapa	Trayecto	Distancia / Tiempo aproximado
Lima → Pativilca	Panamericana Norte (asfaltada)	213 km (~3 h 50 min)
Pativilca → Conococha	Carretera asfaltada	150 km (~2 h 40 min)

Conococha → Desvío	Vía asfaltada	15 km (~15 min)
Desvío → Mina	Camino de trocha	17 km (~45 min)

En resumen, la Unidad Minera Magistral cuenta con accesibilidad terrestre a través de la ruta Lima – Pativilca – Conococha, continuando por un desvío hasta la mina mediante camino de trocha.

LHS ROCK TOOLS fabricante de aceros de perforación cuenta con más de 40 años de experiencia internacional y en el mercado peruano.

LHS cuenta con una amplia gama de productos de aceros de perforación en la industria minera, tanto en Top Hammer, Down The Hole y Rotary drilling.

3.2 Recopilación de estudio

3.2.1 Mina La Joya, LHS ROCK TOOLS vs B&O

La información del rendimiento de los aceros de perforación de LHS ROCK TOOLS vs B&O se obtuvo de la visita técnica realizada a la mina La Joya de la empresa Inversiones Mineras Gheraldin EIRL en interior mina desde el 14 al 27 de febrero del 2025, el cual se encuentra en el informe técnico remitido por LHS ROCK TOOLS.

La visita técnica se coordinó con la superintendencia de la mina y con la empresa contratista ROGER y tuvo como objetivo:

- Capacitación al operador y ayudante en aceros de perforación.
- Control y supervisión de los aceros de perforación interior mina.
- Realizar pruebas de aceros de perforación para determinar el cálculo de vida útil.
- Realizar comparativo con su proveedor actual en función de costo/pies perforados.

En la visita técnica

3.2.1.1 Trabajos realizados en Mina la Joya

3.2.1.1.1 Capacitación:

Se realizó una capacitación a todo el personal de operación interior mina y al personal de la compañía "INVERSIONES MINERAS GHERALDIN EIRL", así como al personal de la contratista "ROGER". La capacitación cubrió los siguientes temas: tipos de perforaciones, descripción de los aceros de perforación, parámetros de perforación, criterios para descartar los aceros, con énfasis en perforación Manual Jack Leg. El objetivo final de la capacitación fue que el personal adquiriera conocimientos teóricos para un mejor desempeño en su campo.

Figura 18

Capacitación en Mina la Joya



3.2.1.1.2 Seguimiento de aceros cónicos:

Se coordinó con el encargado de costos para realizar las pruebas de rendimiento de brocas cónicas de 38 mm, barra de 4 pies, rimadora cónica de 64 mm (como se muestra en los siguientes cuadros). Esta prueba se realizó en las labores, rampa 381, chimenea 382, galería 413, rampa 381 (sellada), subnivel 370.

Tabla 6*Descripción de brocas cónicas LHS ROCK TOOLS*

Descripción de brocas cónicas LHS ROCK TOOLS						
Acero	Diámetro	Conocida	Tamaño de los insertos		Orificios de Barrido	
			Periféricos	Centrales	Periféricos	Centrales
Broca cónica W	36 mm	11°	5*(9mm)	2*(8mm)	2	1
Broca cónica W	37 mm	11°	5*(9mm)	2*(8mm)	2	1

Nota. Elaboración propia

Tabla 7*Descripción de barras cónicas LHS ROCK TOOLS*

Descripción de barras cónicas LHS ROCK TOOLS			
Acero	Longitud	Conocida	Diámetro (mm)
Barra cónica W	4 pies	11°	H22*108
Barra cónica W	6 pies	11°	H22*108

Nota. Elaboración propia

Barra cónica de 4 pies: La barra de 4 pies LHS #1 fue utilizada para las labores rampa 381, chimenea 382, galería 413, rampa 381 (sellada), subnivel 370. En el siguiente cuadro y gráfico se puede apreciar los pies perforados acumulados con sus respectivos diámetros de la barra, con 1625 pies acumulados y con un diámetro de 23.6mm.

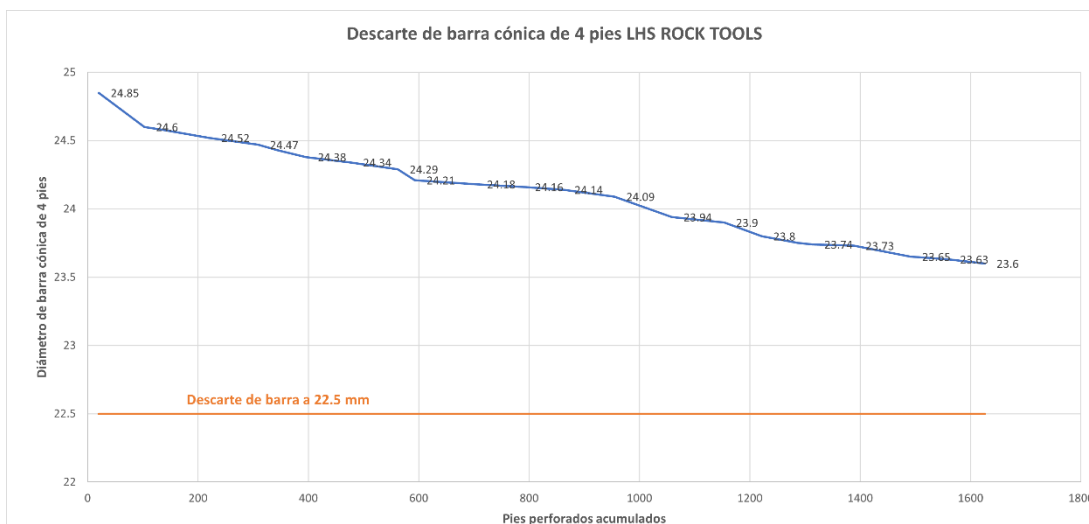
Tabla 8*Registro de pies perforados LHS ROCK TOOLS*

Registro de pies perforados LHS ROCK TOOLS					
Fecha	Labor	Pies perf/día	Pies acumulados	Ø (mm)	
14/02/2025	RP-381	20.3	20.3	24.85	
15/02/2025	SN-370	82.4	102.7	24.6	
16/02/2025	RP-381	32.6	135.3	24.58	

	CH-382	85.3	220.6	24.52
17/02/2025	RP-381	88.3	308.9	24.47
	CH-382	34.5	343.4	24.43
18/02/2025	RP-381	52.2	395.6	24.38
	CH-382	82	477.6	24.34
20/02/2025	RP-381	84.4	562	24.29
21/02/2025	RP-381	30.7	592.7	24.21
		109.4	702.1	24.18
22/02/2025	GL-413	86.8	788.9	24.16
	RP-381	71.8	860.7	24.14
23/02/2025	GL-413	93.9	954.6	24.09
	RP-381	103.8	1058.4	23.94
24/02/2025	GL-413	95.3	1153.7	23.9
	RP-381	67.6	1221.3	23.8
25/02/2025	RP-381	65.9	1287.2	23.74
	GL-413	26.2	1313.4	23.73
26/02/2025	RP-381	74.9	1388.3	23.65
	RP-381 (sellada)	102.3	1490.6	23.63
27/02/2025	RP-381	68.7	1559.3	23.6
	RP-381 (sellada)	66.6	1625.9	23.6

Figura 19

Descarte de barra cónica de 4 pies LHS ROCK TOOLS



Se llenó a diario en la Base de Datos el registro de los Pies Perforados acumulados de la barra cónica de 4 pies, según lo confirmado por el área de costos y planeamiento de la Mina La Joya.

En la Figura 15 y la Tabla 2 adjunto se muestra el desgaste medido de vértice a vértice de la barra cónica de 4 pies vs los pies perforados acumulados. Se recomienda hacer un cambio cuando el barrenado haya disminuido 2.5 mm, lo que equivale a una medida de vértice a vértice de 22.5 mm. Esta medida se toma desde la punta del cono a un pie de la barra.

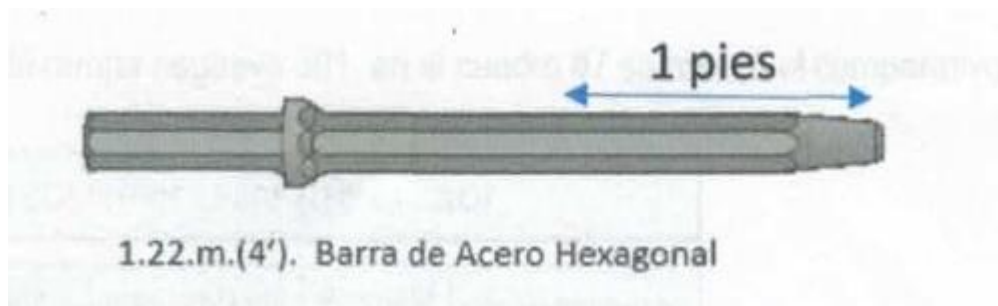
Figura 20

Diámetro de la barra de 4 pies



Figura 21

Barra de acero hexagonal de 4 pies



Brocas cónicas 38 mm: Se realizó un comparativo de las brocas 38 mm LHS ROCK TOOLS con su proveedor actual B&O, en las labores rampa 381, chimenea 382, galería 413, rampa 381 (sellada), subnivel 370. Este comparativo se realizó con el objetivo de obtener vida útil por labores, ya que en un frente se perforan con dos máquinas jackleg, se le asigna una broca de 38 mm tanto de LHS como B&O para que así tengan las mismas condiciones de terreno.

Figura 22

Brocas LHS ROCK TOOLS y B & O



Tabla 9

Cuadro comparativo - Rampa - 381 - Sellada

Cuadro comparativo - Rampa - 381 - Sellada																				
Aceros	Fecha														Pies perf.	Condi ción				
	14/02 /2025	15/02 /2025	16/02 /2025	17/02 /2025	18/02 /2025	19/02 /2025	20/02 /2025	21/02 /2025	22/02 /2025	23/02 /2025	24/02 /2025	25/02 /2025	26/02/2025	27/02/2025						
Broca 38mm LHS#1	20.3	0	55.5	88.3	52.2		84.4	30.7	71.8	62						465.2	Desc artada			
Broca 38mm B&O #2	0	0	85.3	49.9	89.6		34.7	88.6	48.6	41.8	67.6					506.1	Desc artada			
Broca 38mm LHS#4											47.9	51.2	5	2	5	6	3	334.2	Desc artada	
Broca 38mm B&O#4												65.9	4.	7	2	7	4	4	336.6	Desc artada
													9	5	3	7	8			

Tabla 10

Cuadro comparativo - Subnivel 370 - CH 382

Cuadro comparativo - Subnivel 370 - CH 382	
Aceros	Fecha

	14/02/2025	15/02/2025	16/02/2025	17/02/2025	18/02/2025	Pies Perf.	Condición
Broca 38mm LHS#2	0	82.4	32.6	82.7	36.9	234.6	USO
Broca 38mm B&O #1	0	34.2	76.8	34.5	82	227.5	USO

Tabla 11

Cuadro comparativo - Galería 413

Cuadro comparativo - Galería 413								
	Fecha							
Acero	20/02/2025	21/02/2025	22/02/2025	23/02/2025	24/02/2025	25/02/2025	Pies Perf.	Condición
Broca 38mm LHS#3	91.7		86.8		95.3	55.9	329.7	USO
Broca 38mm B&O #3		109.4		93.9		26.2	229.5	USO

Tabla 12

Comparativo costo/pies perf. (LHS vs B&O)

Comparativo costo/pies perf. (LHS vs B&O)				
Acero	Vida útil	Prom. vida útil	Precio (\$)	Costo/Pies Perf.
Broca 38mm LHS#1	465.2	399	15	0.03759
Broca 38mm LHS#4	334.2			
Broca 38mm B&O #2	506.1	421	18.5	0.04394
Broca 38mm B&O #4	336.6			

Rimadora cónica 64 mm: Se realizó la prueba de rimadora 64 mm en la rampa negativa 381 (sellada), ya que este es de mayor dureza

Figura 23

Rimadora 64mm LHS ROCK TOOLS



3.2.1.2 Conclusiones

- Del seguimiento de barras se concluye que la barra cónica de 4 pies posee 1625.4 pies con un diámetro de 23.6 medido de vértice a vértice, este metraje acumulado es debido al uso de sacabrocas que optimiza su vida útil, barra aun en buen estado.

- El uso de rimadoras cónicas de 64 mm LHS ROCK TOOLS 64mm LHS ROCK TOOLS es más eficiente ya que no utiliza otro accesorio adicional como el adaptador de piloto que por poseer más uniones debilitan el cono.
- En el comparativo de brocas de 38 mm LHS ROCK TOOLS vs B&O concluimos que la vida útil es similar ofreciendo LHS ROCK TOOLS un costo beneficio más competitivo al de B&O en un 15%.

3.2.2 Mina Machacala, LHS ROCK TOOLS vs BOART LONGYEAR

La información del rendimiento de aceros cónicos en la Mina Machacala se obtuvo en la visita técnica realizada el 14 de abril 2025, donde se comparó la LHS ROCK TOOLS vs BOAR LONGYEAR.

La visita técnica se realizó previa coordinación con compañía y tuvo como objetivo:

- Control y supervisión de los aceros de perforación interior mina.
- Capacitación al operador y ayudante en aceros de perforación.
- Realizar pruebas a las barras cónicas y brocas cónicas.

3.2.2.1 Trabajos realizados en Mina Machacala

- Se coordinó con el residente Mina Machacala y se realizó pruebas de acero de perforación entre LHS Rock Tools y Boart Longyear con el equipo de perforación Jack Leg en interior mina.

Figura 24

Capacitación de aceros de perforación cónicos Mina Machacala



- Para la iniciación de las pruebas se solicitó al área de almacén de Mina Machacala 06 unidades de brocas cónicas de 36 mm y 02 unidades de barras cónicas de 4 Pies de las distintas empresas especializadas LHS Rock Tools y Boart Longyear. Así mismo detallo la descripción de todos los aceros de perforación solicitados:

Tabla 13

Descripción de brocas cónicas

Descripción de brocas cónicas								
Empresa	Cantidad	Aceros	Diámetro	Conocidad	Tamaño de insertos		Orificios de barrido	
					Periféricos	Centrales	Periféricos	Centrales
LHS Rock Tools	3	Broca cónica (w) marrón	36 mm	11°	5*(9 mm)	5*(8 mm)	1	1
LHS Rock Tools	3	Broca cónica negra	36mm	11°	5*(9 mm)	5*(8 mm)	1	2

Tabla 14

Descripción de barras cónicas

Descripción de barras cónicas					
Empresa	Cantidad	Acero	Longitud	Conocidad	Diámetro (mm)

LHS ROCK TOOLS	1	Barra cónica	4 pies	11°	H22 * 108
BOART LONGYEAR	2	Barra cónica	5 pies	11°	H22 * 109

Se lleno a diario la Base de Datos para el registro de pies perforados acumulados de las brocas cónicas de 36mm y las barras de 4 pies en interior mina.

Tabla 15*Registro de los pies acumulados (broca de 36mm + barra de 4 pies)*

Registro de los pies acumulados (broca de 36mm + barra de 4 pies)												
Mes	Fecha		Turno	Marca	Operador	Nivel	Labor	Terreno	N° de taladros	Pies	Total pies	Barra marca
Abril	3/04/2025	Muestra 1	Dia	LHS	David Yano	NV - 7	Pique SN	Regular	27	3.85	142.45	Barra LHS
Abril	3/04/2025		Noche		Nilver Plablo	NV - 7	Pique SN	Regular	30	3.85	115.50	Borra BOART
Abril	4/04/2025	Muestra 1	Dia	BOART	David Yano	NV - 7	Pique SN	Regular	29	3.85	111.65	Borra BOART
Abril	4/04/2025		Noche		Nilver Plablo	NV - 7	Pique SN	Regular	40	3.85	154.00	Borra BOART
Abril	5/04/2025	Muestra 2	Dia	LHS	David Yano	NV - 7	Pique SN	Regular	12	3.85	46.20	Borra BOART
Abril	5/04/2025	Muestra 1	Dia	BOART	David Yano	NV - 7	Pique SN	Regular	13	3.85	50.05	Borra BOART
Abril	5/04/2025		Noche		Nilver Plablo	NV - 7	Pique SN	Regular	41	3.85	157.80	Borra BOART
Abril	6/04/2025		Dia		David Yano	NV - 7	Pique SN	Regular	30	3.85	115.50	Borra BOART
Abril	7/04/2025		Dia		David Yano	NV - 7	Pique SN	Regular	30	3.85	115.50	Borra BOART
Abril	7/04/2025		Noche		Nilver Plablo	NV - 7	Pique SN	Regular	33	3.85	127.05	Borra BOART
Abril	8/04/2025		Noche		wanner flores	NV - 7	Pique SN	Regular	14	3.85	53.90	Borra BOART
Abril	9/04/2025		Dia		Nilver Plablo	NV - 7	Pique SN	Regular	40	3.85	154.00	Borra BOART
Abril	9/04/2025		Noche		Wanner flores	NV - 7	Pique SN	Regular	27	3.85	103.95	Borra BOART
Abril	10/04/2025		Noche		Wanner flores	NV - 7	Pique SN	Regular	10	3.85	38.50	Borra BOART
Abril	11/04/2025		Noche		Wanner flores	NV - 7	Pique SN	Regular	33	3.85	121.05	Borra BOART
Abril	12/04/2025		Noche		Wanner flores	NV - 7	Pique SN	Regular	35	3.85	134.75	Borra BOART
Abril	3/04/2025	Muestra 2	Dia	BOART	Yonder Rodrigues	NV - 7	SN - 140	Regular	35	3.85	134.75	Barra LHS
Abril	4/04/2025	Muestra 2	Dia	LHS	Yonder Rodrigues	NV - 7	SN - 140	Regular	40	3.85	154.00	Barra LHS
Abril	5/04/2025	Muestra 2	Dia	BOART	Yonder Rodrigues	NV - 7	SN - 140	Regular	17	3.85	65.45	Barra LHS
Abril	5/04/2025	Muestra 2	Dia	LHS	Yonder Rodrigues	NV - 7	SN - 140	Regular	20	3.85	77.00	Barra LHS
Abril	6/04/2025		Dia		Yonder Rodrigues	NV - 7	SN - 140	Regular	38	3.85	145.30	Barra LHS
Abril	7/04/2025		Dia		Yonder Rodrigues	NV - 7	SN - 140	Regular	37	3.85	142.45	Barra LHS

Abril	8/04/2025		Noche		Jeyson Llaro	NV - 7	SN - 140	Regular	40	3.85	188.65	Barra LHS
Abril	9/04/2025		Noche		Jeyson Llaro	NV - 7	SN - 140	Regular	30	3.85	150.15	Barra LHS
Abril	10/04/2025		Dia		Nilver Plablo	NV - 7	SN - 140	Regular	26	3.85	100.10	Barra LHS
Abril	10/04/2025		Noche		Jeyson Llaro	NV - 7	SN - 140	Regular	42	3.85	161.70	Barra LHS
Abril	11/04/2025		Noche		Jeyson Llaro	NV - 7	SN - 140	Regular	39	3.85	150.15	Barra LHS
Abril	12/04/2025		Noche		Jeyson Llaro	NV - 7	SN - 140	Regular	34	3.85	130.90	Barra LHS
Abril	7/04/2025	Muestra 3	Dia	BOART	Isaac Quiroz	NV - 7	CH - PIRA	Duro	25	3.85	96.25	
Abril	8/04/2025	Muestra 3	Dia	LHS	Isaac Quiroz	NV - 7	CH - PIRA	Duro	10	3.85	38.50	
Abril	8/04/2025	Muestra 3	Dia	BOART	Isaac Quiroz	NV - 7	CH - PIRA	Duro	15	3.85	57.75	
Abril	9/04/2025	Muestra 3	Dia	LHS	Isaac Quiroz	NV - 7	CH - PIRA	Duro	33	3.85	121.05	
Abril	10/04/2025	Muestra 3	Dia	LHS	Isaac Quiroz	NV - 7	CH - PIRA	Duro	0	3.85	0.00	

Se adjuntan las muestras de la vida útil alcanzada por cada acero de perforación de la línea LHS Rock Tools y Boart Longyear. Los pies perforados han sido registrados por día y han sido utilizados en el NV-07 en las distintas labores en interior mina: SN-140, PIQUE SN y CHIMENEA-PIRA. Para esta prueba de rendimiento las brocas cónicas de 36 mm fueron colocadas en las barras cónicas de 4 pies, obteniendo los siguientes resultados en cuanto al desgaste por diámetro y vida útil alcanzada en pies perforados.

Figura 25

Desgaste de barras de 4 pies

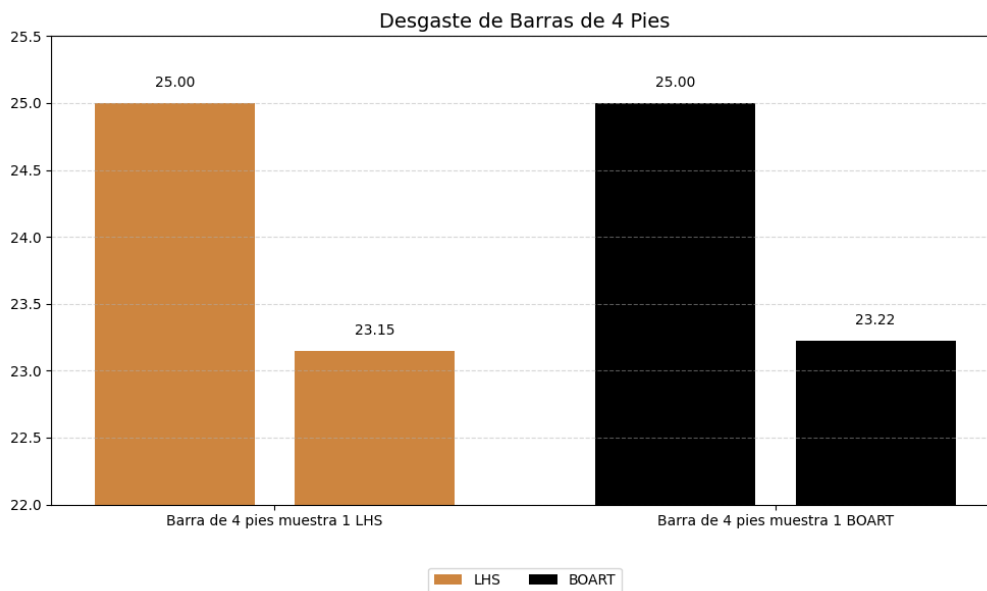
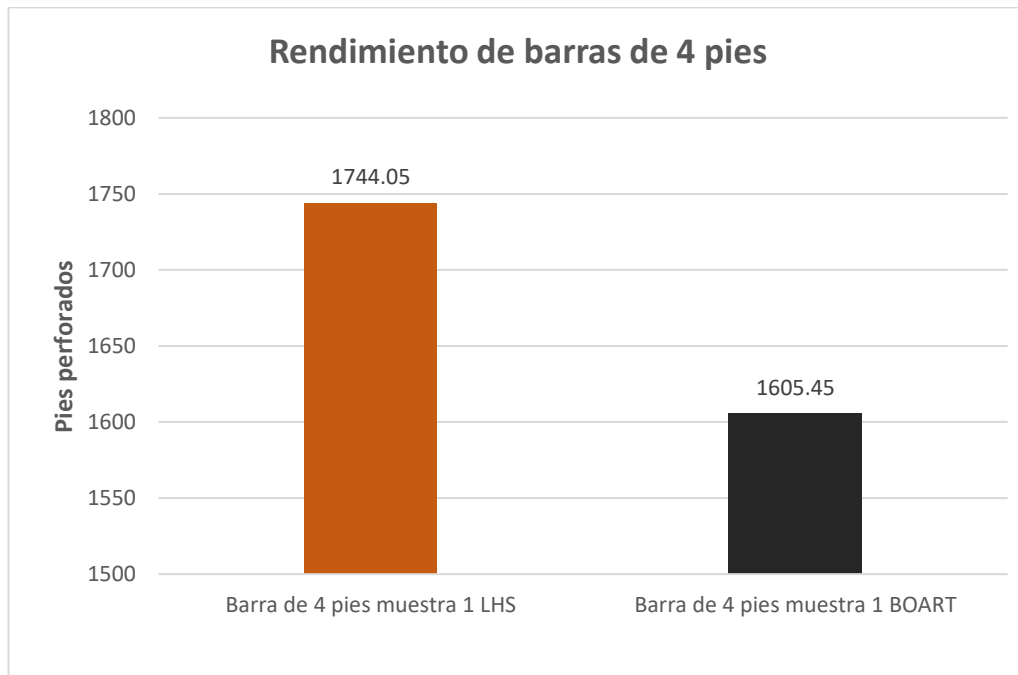


Figura 26

Rendimiento de barras de 4 pies



Muestras Barra Cónica 4 PIES (#01 LHS Rock Tools): Se puede apreciar que la barra cónica de 4 pies tiene una vida útil de 1744.05 pies perforados.

Muestras Barra Cónica 4 PIES (#01 Boart Longyear): Se puede apreciar que la barra cónica de 4 pies tiene una vida útil de 1605.45 pies perforados.

Se trabajó de la mano con los operadores para el buen desarrollo de las operaciones demostrando en campo la calidad de las brocas cónicas de (36 mm) de las distintas empresas especializadas LHS Rock Tools y Boart Longyear obteniendo los siguientes resultados.

Figura 27

Desgaste de broca cónica 36 mm

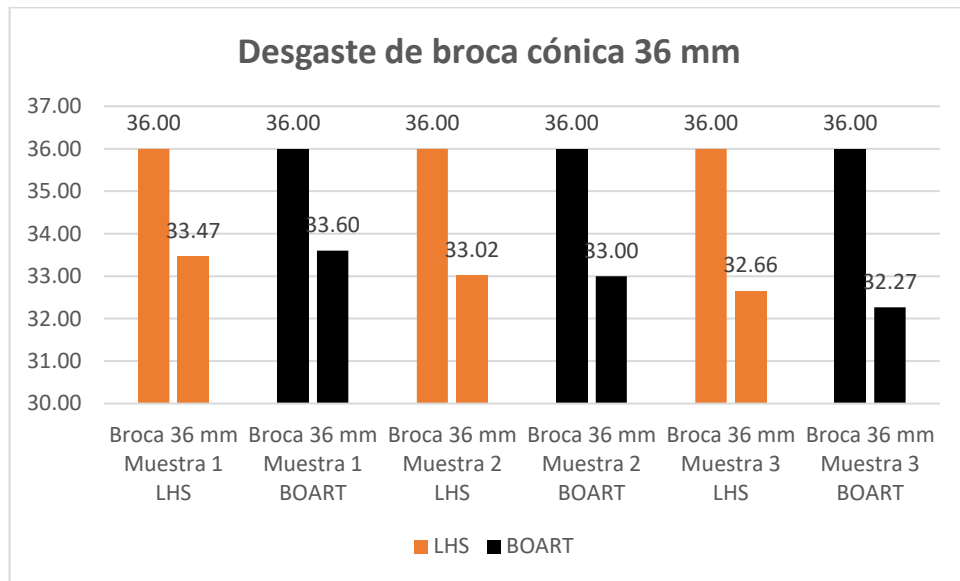


Figura 28

Rendimiento de brocas cónicas 36mm

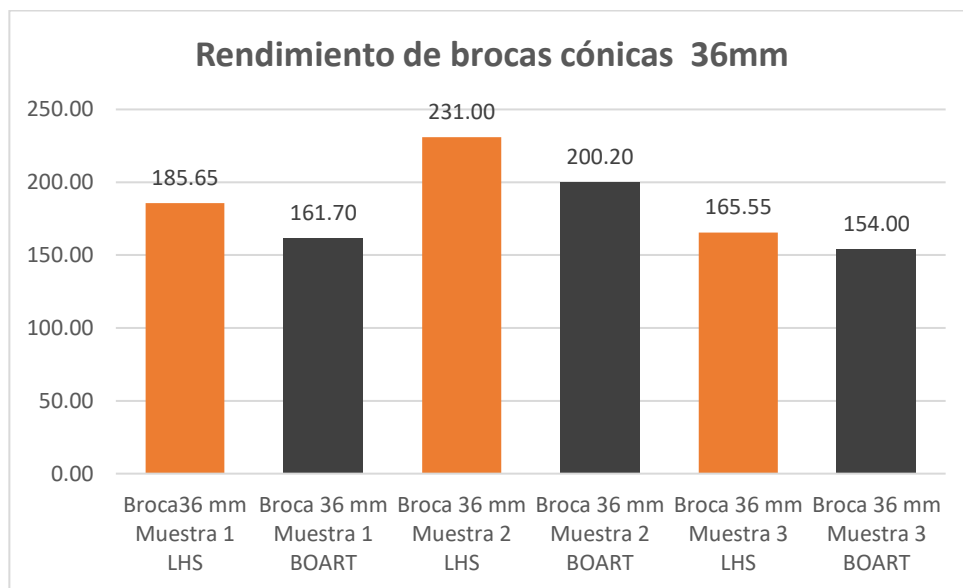


Figura 29

Muestras del LHS ROCK TOOLS y BOART LONGYEAR



Muestras Broca Cónica 36 mm (#01 LHS Rock Tools): Se puede apreciar que la broca cónica de 36 mm en un terreno regular tiene una vida útil de 188.65 pies

perforados, así mismo se descartó a los 33.47 mm por presentar desgaste de sus insertos 2.53 mm de su diámetro original.

Muestras Broca Cónica 36MM (#01 Boart Longyear): Se puede apreciar que la broca cónica de 41 mm en un terreno regular tiene una vida útil de 161.70 pies perforados, así mismo se descartó a los 33.54 mm por presentar desgaste de sus insertos 2.46 mm de su diámetro original y la rotura de un inserto periférico.

Muestras Broca Cónica 36MM (#02 LHS Rock Tools): Se puede apreciar que la broca cónica de 36 mm en un terreno regular tiene una vida útil de 231.00 pies perforados, así mismo se descartó a los 33.02 mm por presentar desgaste de sus insertos 2.98 mm de su diámetro original y la rotura de un inserto periférico.

Muestras Broca Cónica 36MM (#02 Boart Longyear): Se puede apreciar que la broca cónica de 36 mm en un terreno regular tiene una vida útil de 200.20 pies perforados, así mismo se descartó a los 33.00 mm por presentar desgaste de sus insertos 3.00 mm de su diámetro original y la rotura de sus insertos periféricos.

Muestras Broca Cónica 36MM (#03 LHS Rock Tools): Se puede apreciar que la broca cónica de 36 mm en un terreno duro tiene una vida útil de 165.55 pies perforados, así mismo se descartó a los 32.66 mm por presentar desgaste de sus insertos 3.34 mm de su diámetro original y la rotura de un inserto periférico.

Muestras Broca Cónica 36MM (#03 Boart Longyear): Se puede apreciar que la broca cónica de 36 mm en un terreno duro tiene una vida útil de 154.00 pies perforados, así mismo se descartó a los 32.27 mm por presentar desgaste de sus insertos 3.73 mm de su diámetro original.

Tabla 16*Resumen de vida útil y desgaste de brocas cónicas de 36 mm*

Muestra	Marca	Tipo de terreno	Vida útil (pies)	Diámetro de descarte (mm)	Desgaste (mm)	Observaciones adicionales
#01	LHS Rock Tools	Regular	188.65	33.47	2.53	—
#01	Boart Longyear	Regular	161.7	33.54	2.46	Rotura de un inserto periférico
#02	LHS Rock Tools	Regular	231	33.02	2.98	Rotura de un inserto periférico
#02	Boart Longyear	Regular	200.2	33	3	Rotura de varios insertos periféricos
#03	LHS Rock Tools	Duro	165.55	32.66	3.34	Rotura de un inserto periférico
#03	Boart Longyear	Duro	154	32.27	3.73	—

3.2.2.2 Cálculo de diferencias y porcentajes

$$\text{Diferencia \%} = \left(\frac{\text{LHS} - \text{Boart}}{\text{Boart}} \right) \times 100$$

Tabla 17*Tabla comparativo en %*

Muestra	LHS - Boart (pies)	Diferencia (%)
#01	26.95	16.67%
#02	30.8	15.39%
#03	11.55	7.50%

3.2.2.3 Recomendaciones

- Se recomienda cambiar la broca cónica de 36 mm de acuerdo al tipo de terreno:

Tabla 18*Recomendación para cambiar tipo de roca*

Terreno	Nivel	Labor	Acero	N° Taladros	Pies Perforados
Duro	NV-7	Chimenea-PIRA	Broca Cónica 36MM	35 - 40	135 - 155
Regular	NV-7	Pique-SN	Broca Cónica 36MM	45 - 50	175 - 190
Regular	NV-7	SN-140	Broca Cónica 36MM	55 - 60	210 - 230

- Implementar un Vernier para poder medir el desgaste que presentan las barras y brocas, también los calibradores de boca para poder medir el desgaste, así mismo tengan el criterio de descartarlos.
- Se requiere con urgencia el uso de saca brocas. El desacoplado incorrecto de las brocas cónicas reduce en un 35% la vida útil, presentándose fracturas en el cuerpo y/o cono del varillaje. Por último, el desacoplado incorrecto puede ocasionar accidentes al personal en la operación.
- Implementar la porta barretillas donde se puedan colocar las barras cónicas de las distintas medidas, de tal manera evitar dejarlas en el piso y que la misma humedad haga posible que se fatigue.
- Se requiere el protector de jebe que va en el barreno durante la operación de tal manera esta evitara que el detritus ingrese a la perforadora Jack Leg y pueda dañar sus componentes internos.
- Se recomienda descartar la barra cónica cuando esta presente un desgaste de 2.50MM menos al diámetro inicial que es de 25MM, de tal manera evitar las roturas dentro del taladro en la operación.

3.2.2.4 Conclusiones:

- En todos los casos analizados, la marca LHS Rock Tools mostró un desempeño superior frente a Boart Longyear, con una ventaja promedio de aproximadamente 13.2% en términos de vida útil (pies perforados),

consolidándose como una opción más eficiente y duradera para las operaciones de perforación.

- En la comparación del rendimiento de las barras cónicas de 4 pies, se observa que LHS Rock Tools supera a Boart Longyear en términos de vida útil. La barra de LHS alcanzó 1744.05 pies perforados, mientras que la de Boart llegó a 1605.45 pies perforados, lo que representa una ventaja del 8.63% a favor de LHS. Este resultado reafirma la mayor durabilidad y eficiencia operativa del acero de perforación de la marca LHS Rock Tools en condiciones similares de trabajo.

3.2.3 Mina Anaconda del Sur, LHS ROCK TOOLS vs MITSUBISHI

La información del rendimiento de los aceros de perforación cónicas de LHS ROCK TOOLS vs MITSUBISHI se obtuvo de la visita técnica realizada a la mina Anaconda del Sur en interior mina desde el 02 al 04 abril del 2025, el cual se encuentra en el informe técnico remitido por LHS ROCK TOOLS.

La visita técnica se realizó con previa coordinación de con compañía y LHS ROCK TOOLS y tuvo como objetivos

- Control y supervisión de los aceros de perforación interior mina.
- Realizar pruebas de aceros de perforación para determinar el cálculo de vida útil.
- Realizar el comparativo de costo/pies perfo.

3.2.3.1 Trabajos Realizados en la Mina Anaconda Sur

Comparativo de Broca 34mm LHS vs Mitsubishi: En coordinación con el equipo de operaciones de la Mina Anaconda Sur, se llevaron a cabo pruebas de rendimiento para brocas cónicas de 34 mm, cuyos resultados se presentan en el siguiente cuadro.

Las pruebas se desarrollaron el día 2 de abril de 2025, en la labor denominada Echadero #3, durante el turno día.

Las condiciones geológicas y operativas en el lugar de la prueba fueron las siguientes:

- Clasificación del macizo rocoso: RII – Calidad buena, RMR entre 61 y 80
- Litología predominante: Granodiorita
- Tiempo promedio de perforación por barra de 4 pies: 1 hora con 5 minutos

Tabla 19*Seguimiento de aceros de perforación LHS ROCK TOOLS - MITSUBISHI*

Seguimiento de aceros de perforación LHS ROCK TOOLS - MITSUBISHI								
Fecha	Maestro perforista	Labor	Sección(m)	Aceros de perforación		# Taladros	Long. Perf.	Pies perfo.
02/04/2025	Juliño Ccama	Hechadero 1	2 x 1.6	Barras LHS #1 4 pies	Broca Mitsubishi #1 34mm	35	3.74	130.9
		Hechadero 1	2 x 1.6	Barras LHS #1 4 pies	Broca LHS #1 34mm	35	3.77	131.95
		Hechadero 1	2 x 1.6	Barras LHS #1 4 pies	Broca Mitsubishi #1 34mm	35	3.77	131.95
3/04/2025	Juliño Ccama	Hechadero 1	2 x 1.6	Barras LHS #1 4 pies	Broca LHS #1 34mm	35	3.7	129.5
		Hechadero 2	2 x 1.6	Barras LHS #1 4 pies	Broca LHS #1 34mm	22	3.73	82.06
		Hechadero 1	2 x 1.6	Barras LHS #1 4 pies	Broca Mitsubishi #1 34mm	13	3.73	48.49
4/04/2025	Juliño Ccama	Hechadero 1	2 x 1.6	Barra usada 4 pies	Broca Mitsubishi #1 34mm	35	3.74	130.9
		Hechadero 2	2 x 1.6	Barra usada 4 pies	Broca Mitsubishi #1 34mm	35	3.7	129.5
	Dany Chinchero	Hechadero 2	2 x 1.6	Barra usada 4 pies	Broca Mitsubishi #1 34mm	32	3.7	118.4
	Dany Chinchero	Hechadero 2	2 x 1.6	Barra usada 4 pies	Broca Mitsubishi #1 34mm	15	3.7	55.5
				Barra usada 4 pies	Broca Mitsubishi #1 34mm	17	3.7	62.9

Tabla 20*Cuadro de resumen*

Cuadro de resumen			
Acero	# Taladros	Vida útil(pies)	Estado
Broca LHS #1 - 34 mm	92	343.5	Descartada
Broca Mitsubishi #2 - 34 mm	117	434.3	Descartada

En el siguiente cuadro se puede apreciar la vida útil de las brocas de 34mm, solo se considerará la vida útil de la Broca LHS #1-34mm y Broca Mitsubishi #2-34mm.

Observación: La barra de 4 pies LHS se quebró en el cono debido a que estuvo expuesta al golpe para poder extraer la broca, llegando a los 650 pies.

Tabla 21*Cuadro comparativo LHS vs MITSUBISHI*

Cuadro Comparativo LHS vs MITSUBISHI			
Acero	Vida útil(pies)	Costo (\$)	Costo / Pies perf.
Broca LHS #1 - 34 mm	343.5	12.55	0.036389043
Broca Mitsubishi #2 - 34 mm	434.3	26	0.059866452

3.2.3.2 Conclusiones:

- Del análisis comparativo entre las brocas cónicas de 34 mm de las marcas LHS y Mitsubishi, se concluye que la broca LHS presenta una relación costo-beneficio más competitiva, superando a Mitsubishi en aproximadamente un 40 %.
- Se recomienda realizar el seguimiento de al menos tres brocas por marca, a fin de obtener una vida útil representativa y estadísticamente confiable. Esta información permitirá al área de Logística contar con criterios técnicos que

respalden la selección de la marca que ofrezca mayor eficiencia y optimización de costos en aceros de perforación.

3.2.4 Mina Magistral de Huaraz S.A.C, LHS ROCK TOOLS vs SANDVIK

La información del rendimiento de los aceros de perforación cónicos de LHS ROCK TOOLS vs SANDVIK se obtuvo de la visita técnica realizada a la Mina Magistral de Huaraz S. A. C. en interior mina el 10 de marzo del 2025, el cual se encuentra en el informe técnico remitido por LHS ROCK TOOLS.

La visita técnica se coordinó con la superintendencia de la mina y tuvo como objetivo:

- Control y supervisión de los aceros de perforación interior mina.
- Capacitación al operador y ayudante en aceros de perforación.
- Realizar pruebas a las barras cónicas y brocas cónicas.
- Realizar el control de ingresos y salidas de aceros cónicos.
- Uso, cuidado y conservación de los aceros de perforación.

3.2.4.1 Trabajos Realizados:

Para la iniciación de las pruebas se solicitó al área de almacén de Mina Magistral 04 unidades de brocas cónicas y 03 unidades de barras cónicas de las distintas empresas especializadas según detalle líneas abajo.

Figura 30

Capacitación de aceros de perforación en la Mina Magistral



Tabla 22*Descripción de las brocas*

Descripción de las brocas								
Empresa	Cantidad	Acero	Diámetro	Conocidad	Tamaño de los insertos		Orificios de barrido	
					Periféricos	Centrales	Periféricos	Centrales
LHS ROCK TOOLS	1	Broca cónica (W) marron	38 mm	11°	5*(9mm)	2*(8mm)	2	1
LHS ROCK TOOLS	1	Broca cónica (W) marron	41 mm	11°	5*(9mm)	2*(8mm)	2	1
LHS ROCK TOOLS	1	Broca cónica (W) marron	41 mm	11°	5*(9mm)	2*(8mm)	2	1
SANDVIK	1	Barra cónica dorada	41 mm	11°	5*(9mm)	2*(8mm)	2	1

Tabla 23*Descripción de barras cónicas*

Descripción de barras cónicas					
Empresa	Cantidad	Acero	Longitud	Conocidad	Diámetro(mm)
LHS ROCK TOOLS	1	Barra cónica	4 pies	11°	H22*108
SANDVIK	1	Barra cónica	4pies	11°	H22*109
SANDVIK	1	Barra cónica	4pies	11°	H22*110

Se lleno a diario la Base de Datos para el registro de Pies Perforados acumulados de las brocas cónicas de 38mm y 41 mm que son utilizadas en las distintas labores en interior mina

Tabla 24

Registro de los pies perforados acumulados (Broca 38mm + Barra 4 pies)

Registro de los pies perforados acumulados (Broca 38mm + Barra 4 pies)											
Mes	Muestra	Fecha	Día	Turno	Operador	Nivel	Labor	Terreno	# Taladros	Longitud pies	Total pies
Febrero	Muestra 1	14/02/2025	viernes	Día	Llantoy Isla	NV - 8	SN2 - SUR	Regular	0	3.85	0.00
Febrero	Muestra 1	14/02/2025	viernes	Noche	Elyele Molina	NV - 8	SN2 - SUR	Regular	28	3.85	107.80
Febrero	Muestra 1	15/02/2025	sábado	Día	Llantoy Isla	NV - 8	SN2 - SUR	Regular	39	3.85	134.85
Febrero	Muestra 1	15/02/2025	sábado	Noche	Elyele Molina	NV - 8	SN2 - SUR	Regular	3	3.85	111.65
Febrero	Muestra 1	16/02/2025	domingo	Día	Llantoy Isla	NV - 8	SN2 - SUR	Regular	29	3.85	11.53
Febrero	Muestra 1	16/02/2025	domingo	Noche	Elyele Molina	NV - 8	SN2 - SUR	Regular	37	3.85	111.65
Febrero	Muestra 1	17/02/2025	lunes	Día	Llantoy Isla	NV - 8	SN2 - SUR	Regular	5	3.85	142.45
Febrero	Muestra 1	17/02/2025	lunes	Noche	Elyele Molina	NV - 8	SN2 - SUR	Regular	33	3.85	19.25
Febrero	Muestra 1	18/02/2025	martes	Día	Llantoy Isla	NV - 8	SN2 - SUR	Regular	0	3.85	127.05
Febrero	Muestra 1	18/02/2025	martes	Noche	Elyele Molina	NV - 8	SN2 - SUR	Regular	30	3.85	0.00
Febrero	Muestra 1	19/02/2025	miércoles	Día	Eduardo Vilcas	NV - 8	SN2 - SUR	Regular	4	3.85	115.50
Febrero	Muestra 1	19/02/2025	miércoles	Noche	Llantoy Isla	NV - 8	SN2 - SUR	Regular	6	3.85	15.40
Febrero	Muestra 1	20/02/2025	jueves	Día	Eduardo Vilcas	NV - 8	SN2 - SUR	Regular	10	3.85	23.10
Febrero	Muestra 1	20/02/2025	jueves	Noche	Serfin Celestino	NV - 8	SN2 - SUR	Regular	10	3.85	38.50
Febrero	Muestra 1	21/02/2025	viernes	Día	Eduardo Vilcas	NV - 8	SN2 - SUR	Regular	15	3.85	38.50
Febrero	Muestra 1	21/02/2025	viernes	Noche	Serfin Celestino	NV - 8	SN2 - SUR	Regular	30	3.85	61.60
Febrero	Muestra 1	22/02/2025	sábado	Día	Eduardo Vilcas	NV - 8	SN2 - SUR	Regular	33	3.85	115.50
Febrero	Muestra 1	22/02/2025	sábado	Noche	Serfin Celestino	NV - 8	SN2 - SUR	Regular	35	3.85	127.05

Febrero	Muestra 1	23/02/2025	domingo	Día	Eduardo Vilcas	NV - 8	SN2 - SUR	Regular	5	3.85	134.75
Febrero	Muestra 1	23/02/2025	domingo	Noche	Serfin Celestino	NV - 8	SN2 - SUR	Regular	4	3.85	19.25
Febrero	Muestra 1	24/02/2025	lunes	Día	Eduardo Vilcas	NV - 8	SN2 - SUR	Regular	33	3.85	15.40
Febrero	Muestra 1	24/02/2025	lunes	Noche	Serfin Celestino	NV - 8	SN2 - SUR	Regular	36	3.85	127.05
Febrero	Muestra 1	25/02/2025	martes	Día	Eduardo Vilcas	NV - 8	SN2 - SUR	Regular	33	3.85	138.60
Febrero	Muestra 1	25/02/2025	martes	Noche	Serfin Celestino	NV - 8	SN2 - SUR	Regular	2	3.85	127.05
Febrero	Muestra 1	26/02/2025	miércoles	Día	Eduardo Vilcas	NV - 8	SN2 - SUR	Regular	0	3.85	7.70
Febrero	Muestra 1	26/02/2025	miércoles	Noche	Serfin Celestino	NV - 8	SN2 - SUR	Regular	15	3.85	0.00
Febrero	Muestra 1	27/02/2025	jueves	Día	Eduardo Vilcas	NV - 8	SN2 - SUR	Regular	0	3.85	57.75
Febrero	Muestra 1	27/02/2025	jueves	Noche	Serfin Celestino	NV - 8	SN2 - SUR	Regular	0	3.85	0.00
Febrero	Muestra 1	28/02/2025	viernes	Día	Eduardo Vilcas	NV - 8	SN2 - SUR	Regular	0	3.85	0.00
Febrero	Muestra 1	28/02/2025	viernes	Noche	Serfin Celestino	NV - 8	SN2 - SUR	Regular	3	3.85	0.00
Marzo	Muestra 1	1/03/2025	sábado	Día	Eduardo Vilcas	NV - 8	SN2 - SUR	Regular	7	3.85	11.35
Marzo	Muestra 1	1/03/2025	sábado	Noche	Serfin Celestino	NV - 8	SN2 - SUR	Regular	0	3.85	26.95
Marzo	Muestra 1	2/03/2025	domingo	Día	Eduardo Vilcas	NV - 8	SN2 - SUR	Regular	2	3.85	0.00
Marzo	Muestra 1	2/03/2025	domingo	Noche	Serfin Celestino	NV - 8	SN2 - SUR	Regular	31	3.85	7.70
Marzo	Muestra 1	3/03/2025	lunes	Día	Eduardo Vilcas	NV - 8	SN2 - SUR	Regular	0	3.85	119.35
Marzo	Muestra 1	3/03/2025	lunes	Noche	Serfin Celestino	NV - 8	SN2 - SUR	Regular	31	3.85	0.00
Marzo	Muestra 1	4/03/2025	martes	Día	Eduardo Vilcas	NV - 8	SN2 - SUR	Regular	30	3.85	119.83
Marzo	Muestra 1	4/03/2025	martes	Noche	Serfin Celestino	NV - 8	SN2 - SUR	Regular	0	3.85	115.50
Marzo	Muestra 1	5/03/2025	miércoles	Día	Eduardo Vilcas	NV - 8	SN2 - SUR	Regular	0	3.85	0.00
Marzo	Muestra 1	5/03/2025	miércoles	Noche	Serfin Celestino	NV - 8	SN2 - SUR	Regular	28	3.85	107.80
Marzo	Muestra 1	6/03/2025	jueves	Día	Eduardo Vilcas	NV - 8	SN2 - SUR	Regular	28	3.85	107.80
Marzo	Muestra 1	6/03/2025	jueves	Noche	Serfin Celestino	NV - 8	SN2 - SUR	Regular	23	3.85	88.55
Marzo	Muestra 1	7/03/2025	viernes	Día	Eduardo Vilcas	NV - 8	SN2 - SUR	Regular	26	3.85	100.10
Marzo	Muestra 1	7/03/2025	viernes	Noche	Serfin Celestino	NV - 8	SN2 - SUR	Regular	25	3.85	96.25
Marzo	Muestra 2	8/03/2025	sábado	Día	Eduardo Vilcas	NV - 8	SN2 - SUR	Regular	25	3.85	100.10
Marzo	Muestra 2	8/03/2025	sábado	Noche	Serfin Celestino	NV - 8	SN2 - SUR	Regular	25	3.85	96.25

Tabla 25*Registro de los pies perforados acumulados (Broca 41mm + barra 4 pies)*

Registro de los pies perforados acumulados (Broca 41mm + barra 4 pies)										
Muestra	Fecha	Día	Turno	Operador	Nivel	Labor	Terreno	# Taladros	Longitud pies	Total pies
Muestra 1	10/02/2025	lunes	Día	Cleridos Moya	NV - 8	SN -5	Regular	17	3.58	65.45
Muestra 1	11/02/2025	martes	Día	Cleridos Moya	NV - 8	SN -5	Regular	17	3.58	65.45
Muestra 1	11/02/2025	martes	Noche	Elyel Venturo	NV - 8	SN -5	Regular	19	3.58	79.15
Muestra 1	12/02/2025	miércoles	Día	Claridos Mora	NV - 8	SN -5	Regular	17	3.58	65.45
Muestra 1	13/02/2025	jueves	Noche	Elyel Venturo	NV - 8	SN -5	Regular	11	3.58	42.35
Muestra 1	22/02/2025	sábado	Día	Isaias Avelino	NV - 8	SN2 - 1	Regular	14	3.58	53.90
Muestra 1	22/02/2025	sábado	Día	Claridos Mora	NV - 8	SN2 - 1	Regular	0	3.58	0.00
Muestra 1	23/02/2025	domingo	Día	Isaias Avelino	NV - 8	SN2 - 1	Regular	15	3.58	57.75
Muestra 1	23/02/2025	domingo	Día	Claridos Mora	NV - 8	SN2 - 1	Regular	10	3.58	38.50
Muestra 1	24/02/2025	lunes	Día	Isaias Avelino	NV - 8	SN2 - 1	Regular	0	3.58	0.00
Muestra 1	24/02/2025	lunes	Día	Claridos Mora	NV - 8	SN2 - 1	Regular	0	3.58	0.00
Muestra 1	25/02/2025	martes	Día	Isaias Avelino	NV - 8	SN2 - 1	Regular	18	3.58	69.30
Muestra 1	25/02/2025	martes	Noche	Claridos Mora	NV - 8	SN2 - 1	Regular	7	3.58	26.95
Muestra 1	26/02/2025	miércoles	Día	Isaias Avelino	NV - 8	SN2 - 1	Regular	16	3.58	53.90
Muestra 1	26/02/2025	miércoles	Noche	Claridos Mora	NV - 8	SN2 - 1	Regular	15	3.58	57.75
Muestra 1	27/02/2025	jueves	Día	Isaias Avelino	NV - 8	SN2 - 1	Regular	0	3.58	0.00
Muestra 1	27/02/2025	jueves	Noche	Claridos Mora	NV - 8	SN2 - 1	Regular	23	3.58	88.55
Muestra 1	28/02/2025	viernes	Día	Isaias Avelino	NV - 8	SN2 - 1	Regular	0	3.58	0.00
Muestra 1	28/02/2025	viernes	Noche	Claridos Mora	NV - 8	SN2 - 1	Regular	0	3.58	23.10
Muestra 1	1/03/2025	sábado	Día	Elyel Venturo	NV - 8	SN2 - 1	Regular	18	3.58	69.30

Muestra 1	1/03/2025	sábado	Noche	Isaias Avelino	NV - 8	SN2 - 1	Regular	0	3.58	0.00
Muestra 1	2/03/2025	domingo	Dia	Elvel Venturo	NV - 8	SN2 - 1	Regular	18	3.58	69.30
Muestra 0	2/03/2025	domingo	Noche	Isaias Avelino	NV - 8	SN2 - 1	Regular	19	3.58	73.15
Muestra 2	3/03/2025	lunes	Dia	Elvel Venturo	NV - 8	TJ - 30 SUR	Regular	19	3.58	69.30
Muestra 2	3/03/2025	lunes	Noche	Julian Sifuentes	NV - 8	TJ - 30 SUR	Regular	20	3.58	77.00
Muestra 2	4/03/2025	martes	Dia	Elvel Venturo	NV - 8	TJ - 30 SUR	Regular	18	3.58	69.30
Muestra 3	4/03/2025	martes	Noche	Julian Sifuentes	NV - 8	TJ - 30 SUR	Regular	20	3.58	77.00
Muestra 3	5/03/2025	miércoles	Dia	Elvel Venturo	NV - 8	TJ - 30 SUR	Regular	26	3.58	100.10
Muestra 3	5/03/2025	miércoles	Noche	Julian Sifuentes	NV - 8	TJ - 30 SUR	Regular	15	3.58	57.75
Muestra 0	6/03/2025	jueves	Dia	Elvel Venturo	NV - 8	TJ - 30 SUR	Regular	19	3.58	73.15
Muestra 0	6/03/2025	jueves	Noche	Julian Sifuentes	NV - 8	TJ - 30 SUR	Regular	24	3.58	92.40
Muestra 0	7/03/2025	viernes	Dia	Elvel Venturo	NV - 8	TJ - 30 SUR	Regular	0	3.58	0.00
Muestra 0	7/03/2025	viernes	Noche	Julian Sifuentes	NV - 8	TJ - 30 SUR	Regular	0	3.58	0.00
Muestra 0	8/03/2025	sábado	Dia	Elvel Venturo	NV - 8	TJ - 30 SUR	Regular	20	3.58	38.50
Muestra 0	8/03/2025	sábado	Noche	Julian Sifuentes	NV - 8	TJ - 30 SUR	Regular	17	3.58	65.45

Se adjunta las muestras de la vida útil alcanzada para cada acero de perforación de la línea LHS Rock Tools y Sandvik, los pies perforados ha sido registrado a diario y han sido utilizadas en el NV-08 en las distintas labores en interior mina: SN2-1, SN2-SUR y TJ-30. Para esta prueba de rendimiento las brocas cónicas fueron colocadas en las barras cónicas de 4 pies obteniendo los siguientes resultados en cuanto a su descarte por diámetro y a la vida útil alcanzada en pies perforados.

Figura 31

Descarte de brocas por diámetro

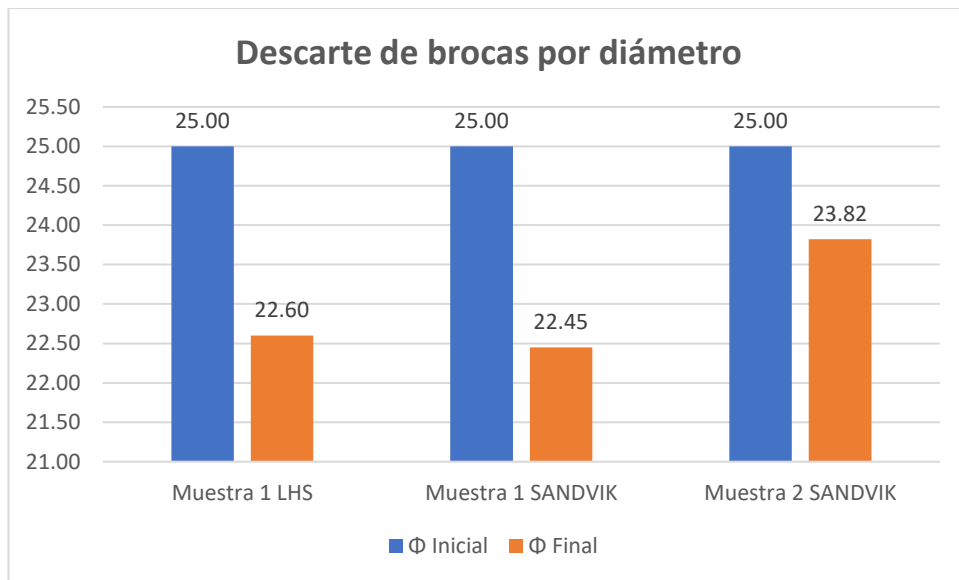


Figura 32

Rendimiento de barras cónicas pies perforados

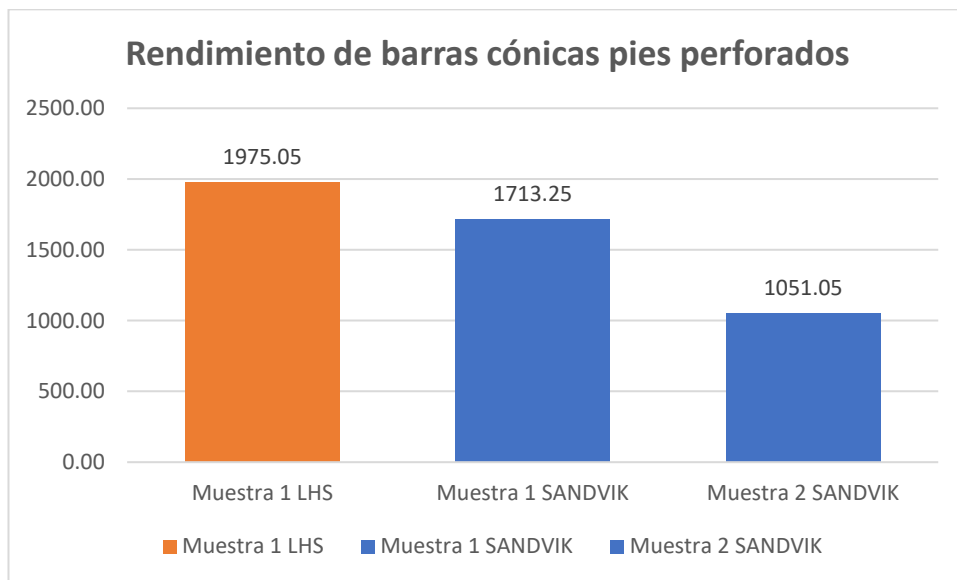


Figura 33

Medida los diámetros de LHS ROCK TOOLS y SANDVIK



Muestras Barra Cónica 4 Pies (#01 LHS Rock Tools): Se puede apreciar que la barra cónica de 4 Pies obtuvo una vida útil de 1975.05 pies perforados, así mismo mencionar que se descartó por la rotura en la parte de la espiga cerca a la cara de impacto, esto debido al desgaste que presentan los componentes internos de la

perforadora Jack Leg. Adicionalmente la barra presenta un desgaste de vértice a vértice de 2.40 mm, el cual podría haber continuado realizando los taladros de perforación sin haberla descartado.

Muestras Barra Cónica 4 Pies (#01 Sandvik): Se aprecia que la barra cónica de 4 pies tiene una vida útil de 1609.3 pies perforados y tiene un desgaste de vértice a vértice de 2.55 mm, el cual se ha descartado por desgaste diametral.

Muestras Barra Cónica 4 Pies (#02 Sandvik): Se aprecia que la barra cónica de 4 pies tiene una vida útil de 854.70 pies perforados y tiene un desgaste de vértice a vértice de 1.18MM, el cual aún continúa trabajando sin haberla descartado.

Del seguimiento del trabajo de campo su obtuvo los siguientes resultados:

Figura 34

Descarte de brocas cónicas por diámetro

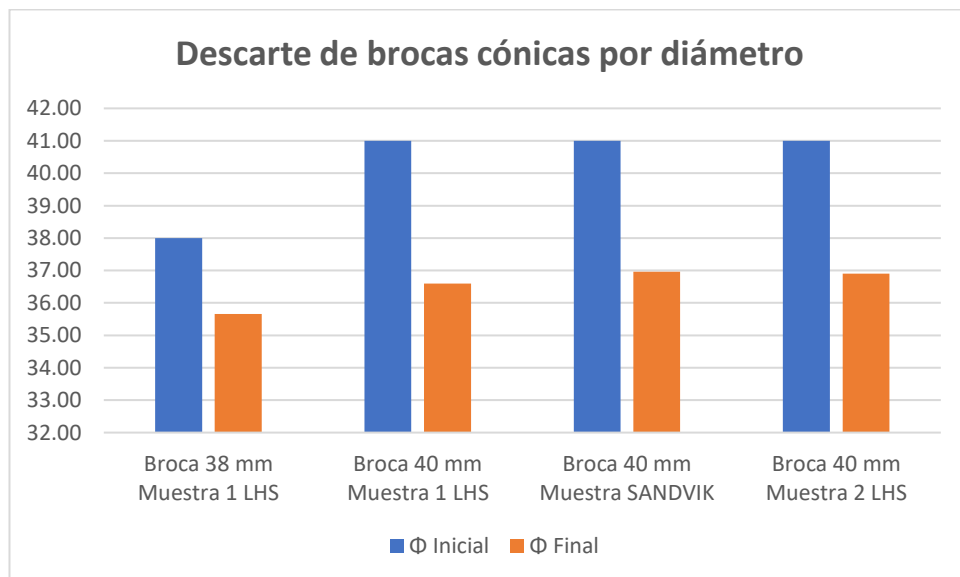


Figura 35

Rendimiento de brocas cónicas pies perforados

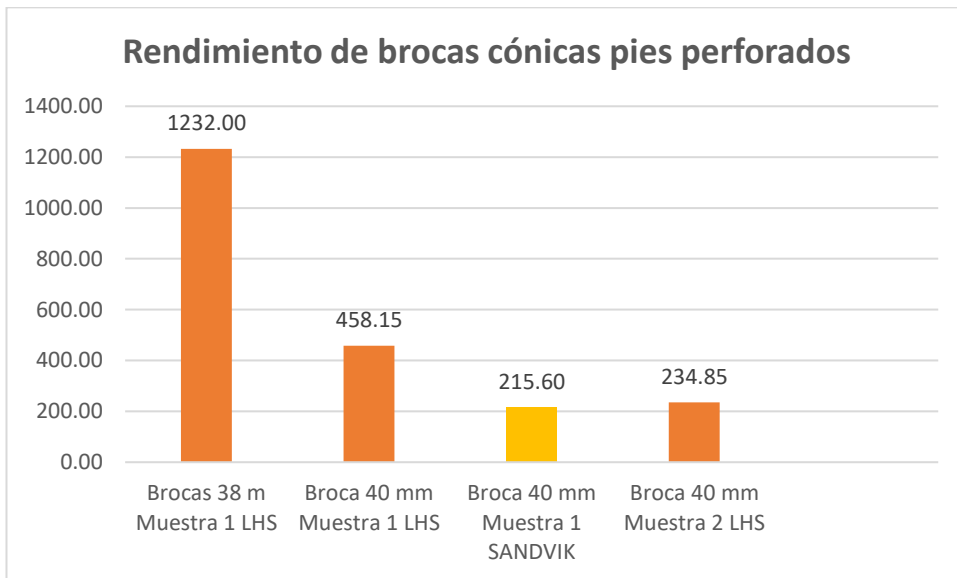


Figura 36

Medida de las muestras de brocas



Muestras Broca Cónica 38 mm (#01 LHS Rock Tools): Se puede apreciar que la broca cónica de 38 mm en un terreno suave tiene una vida útil de 1232.00 pies perforados, así mismo se descartó a los 35.66 mm por presentar desgaste de sus insertos 2.34 mm de su diámetro original.

Muestras Broca Cónica 41 mm (#01 LHS Rock Tools): Se puede apreciar que la broca cónica de 41 mm en un terreno regular tiene una vida útil de 458.15 pies perforados, así mismo se descartó a los 36.60 mm por presentar desgaste de sus insertos 4.40 mm de su diámetro original.

Muestras Broca Cónica 41 mm (#01 Sandvik): Se puede apreciar que la broca cónica de 41 mm en terreno duro tiene una vida útil de 215.60 pies perforados, así mismo se descartó a los 36.96 mm por presentar desgaste de sus insertos 4.04 mm de su diámetro original y la rotura del inserto periférico.

Muestras Broca Cónica 41 mm (#02 LHS Rock Tools): Se puede apreciar que la broca cónica de 41 mm en terreno duro tiene una vida útil de 234.85 pies perforados, así mismo se descartó a los 36.90 mm por presentar desgaste de sus insertos 4.10 mm de su diámetro original y la rotura del inserto periférico.

3.2.4.2 Recomendaciones:

- Cambiar las brocas cónicas de 38MM y 41MM de acuerdo al tipo de terreno que presente:

Tabla 26

Tipo de broca según el terreno

Terreno	Nivel	Labor	Acero	Pies Perforados
Suave	NV-8	SN2-SUR	Broca Cónica 38MM	1000-1200
Regular	NV-8	SN2-1	Broca Cónica 41MM	400-450
Duro	NV-8	TJ-30	Broca Cónica 41MM	200-230

- Descartar las brocas cónicas cuando estas presenten un desgaste diametral:

Tabla 27

Descarte de brocas cónicas de acuerdo a su diámetro

Acero	Diámetro Inicial	Diámetro Final	Desgaste
Broca 38MM	38.00	35.50	2.50
Broca 41MM	41.00	37.00	4.00

- Descartar las barras cónicas cuando esté presente un desgaste de 2.50 mm menos al diámetro inicial que es de 25mm.
- Implementar el uso de un marcador de brocas para de esta manera llevar un buen control en cuanto a su entrega y recepción de esta forma poderlas distinguir cuando soliciten su cambio inmediato.

Figura 37

Marcador de brocas



- Implementar un Vernier para poder medir el desgaste que presentan las barras y brocas, también los calibradores de boca para poder medir el desgaste, así mismo tengan el criterio de descartarlos.

Figura 38

Vernier para medir desgaste de barras y brocas



- Al término de los trabajos de perforación mantener la máquina perforadora Jack Leg limpia para su buena conservación.

3.2.4.3 Conclusiones

- El resultado de los aceros de perforación de LHS Rock Tools (barras y brocas) y SANDVIK se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 28

Cuadro comparativo de resultados de la visita técnica

Empresa	Terreno	Labor	Aceros	Rendimiento	Observaciones
LHS Rock Tools	Suave	SN2-SUR	Broca 38mm	1232	Desgaste diametral
LHS Rock Tools	Regular	SN2-1	Broca 41mm	458.15	Rotura inserto
Sandvik	Duro	TJ-30 SUR	Broca 41 mm	215.6	Rotura inserto
LHS Rock Tools	Duro	TJ-30 SUR	Broca 41MM	234.85	Rotura inserto
LHS Rock Tools	Suave	SN2-SUR	Barra 4 Pies	1975.05	Rotura espiga
Sandvik	Regular	SN2-1	Barra 4 Pies	1713.25	Desgaste diametral
Sandvik	Suave	SN2-SUR	Barra 4 Pies	1051.05	Continúa trabajando

- Del análisis comparativo realizado entre las brocas cónicas de 41 mm de las marcas LHS Rock Tools y Sandvik, se concluye que el desgaste diametral presentado por ambas es similar bajo condiciones operativas equivalentes.
- Considerando que el precio mínimo de mercado para la broca Sandvik es de \$22, mientras que la broca LHS Rock Tools tiene un costo de \$14, se evidencia que la marca LHS Rock Tools ofrece una relación costo-beneficio significativamente más competitiva frente a Sandvik.

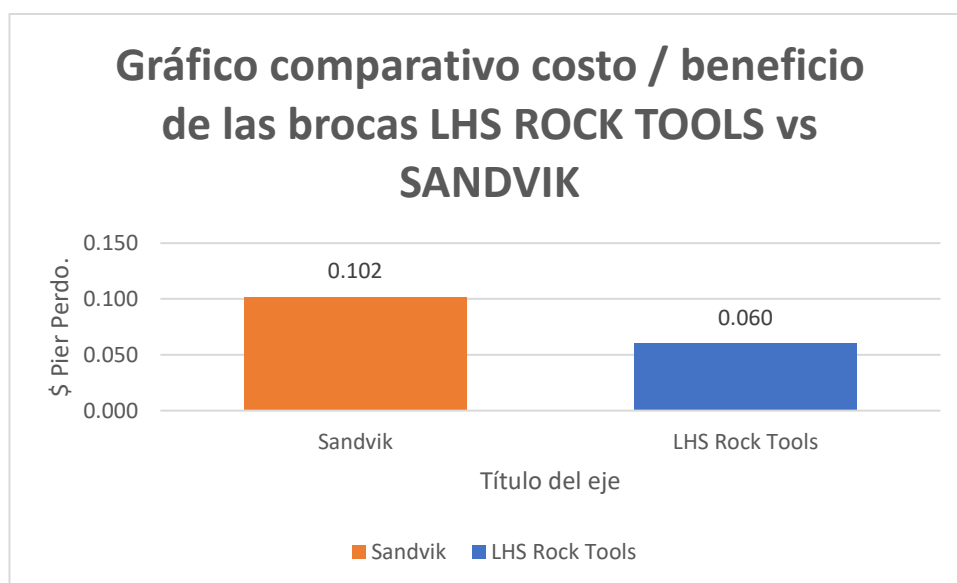
Tabla 29

Gráfico comparativo costo / beneficio de brocas LHS ROCK TOOLS vs SANDVIK

Jack Leg	Precio(\$)	Vida Útil(pies)	Costo/Beneficio(\$/pie perf.)
Sandvik	22.000	215.60	0.102
LHS Rock Tools	14.000	234.85	0.060

Figura 39

Gráfico comparativo costo / beneficio de las brocas LHS ROCK TOOLS vs SANDVIK



- En el comparativo de la barra de 4 pies LHS Rock Tools vs Sandvik se concluye que nuestra representada LHS Rock Tools posee un desgaste diametral similar a la de Sandvik y asumiendo que el precio mínimo de Sandvik es de \$75 según testeado en el mercado con \$53 de LHS Rock Tools ofrece un costo beneficio competitivo al de Sandvik.

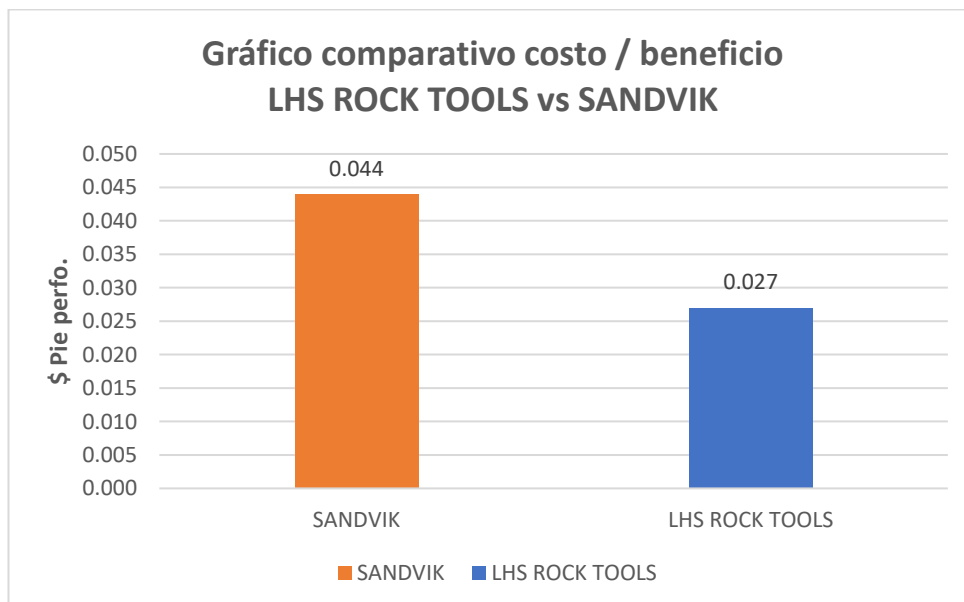
Tabla 30

Gráfico comparativo costo / beneficio de las barras LHS ROCK TOOLS vs SANDVIK

Jack Leg	Precio	Vida Útil(pies)	Costo/Beneficio (\$/pie perf.)
	Dólares \$	Pies	\$ Pier perforado
Sandvik	75	1713.35	0.047
LHS Rock Tools	53	1975.05	0.027

Figura 40

Gráfico comparativo costo / beneficio LHS ROCK TOOLS vs SANDVIK



CAPÍTULO IV

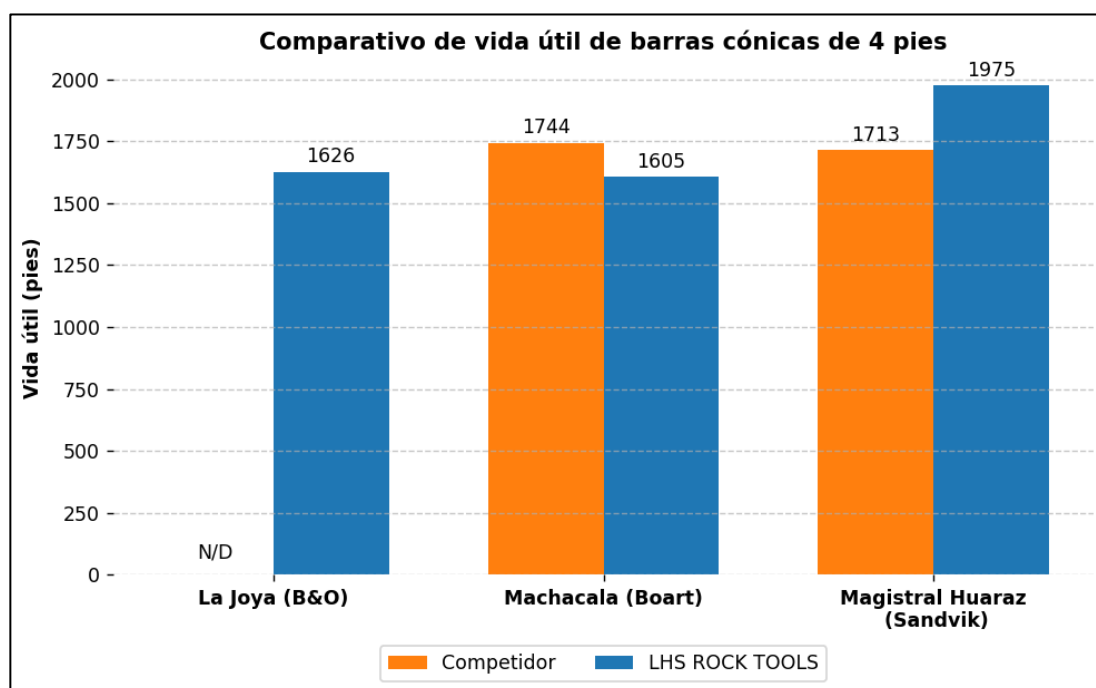
IV. RESULTADO Y DISCUSIÓN

4.1 Resultado general

El análisis comparativo en las cuatro operaciones mineras evidenció que las herramientas de perforación cónicas de la marca LHS ROCK TOOLS presentan, en promedio, una vida útil igual o superior a la de las marcas competidoras, con ventajas que oscilaron entre el 8.63 % y el 40 %, dependiendo de las condiciones geomecánicas y operativas. Asimismo, el costo de adquisición de LHS fue consistentemente inferior, con precios hasta un 36 % menores, lo que generó un costo/beneficio más competitivo en todos los casos analizados.

Figura 41

Comparativo de vida útil de barras cónicas de 4 pies



La Joya (B&O vs LHS): Solo se cuenta con dato de LHS (1625.9 pies). Aunque no hay referencia del competidor, este valor demuestra un rendimiento adecuado y permite plantear a LHS como opción viable, pero se recomienda ampliar la muestra comparativa.

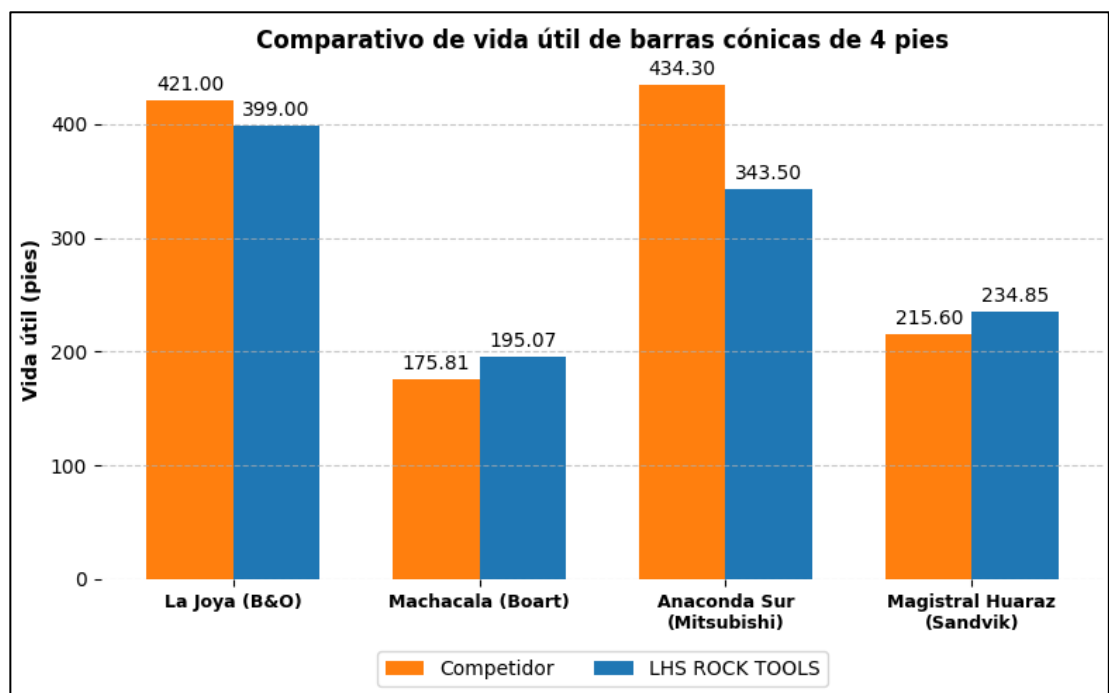
Machacala (Boart vs LHS): Boart alcanzó 1744.05 pies frente a 1605.45 pies de LHS, lo que representa una ventaja de 8.6 % a favor de Boart. En esta mina, el acero de Boart ofrece mayor vida útil, por lo que, a largo plazo, Boart sería más conveniente si la decisión se basa únicamente en durabilidad. Sin embargo, si el costo de adquisición de LHS es significativamente menor, el costo/beneficio total podría equilibrar la elección.

Magistral de Huaraz (Sandvik vs LHS): LHS alcanzó 1975.05 pies, mientras que Sandvik llegó a 1713.25 pies. Esto implica una ventaja del 15.3 % a favor de LHS. En este escenario, LHS es claramente más competitivo, tanto en rendimiento como en costo (según tu cuadro de precios \$22 vs \$14 por broca en el caso de brocas, tendencia que también se refleja en barras).

Anaconda del Sur (Mitsubishi): No se registraron datos de barras, por lo cual no se puede emitir una conclusión definitiva.

Figura 42

Comparativo de vida útil de brocas cónicas



La Joya (B&O vs LHS): B&O alcanzó 421 pies, mientras que LHS llegó a 399 pies, lo que representa una ventaja de 5.2 % a favor de B&O. Aunque la diferencia es leve, a largo plazo el rendimiento de B&O podría traducirse en menor frecuencia de cambio de brocas. Sin embargo, si el costo unitario de LHS es menor, la relación costo/beneficio podría compensar la ligera desventaja en vida útil.

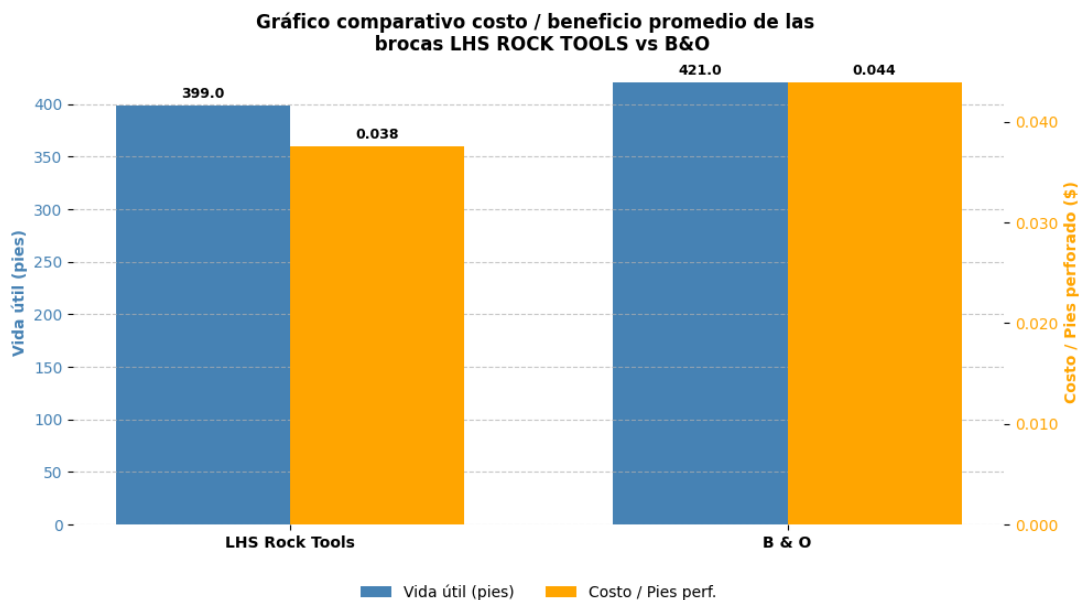
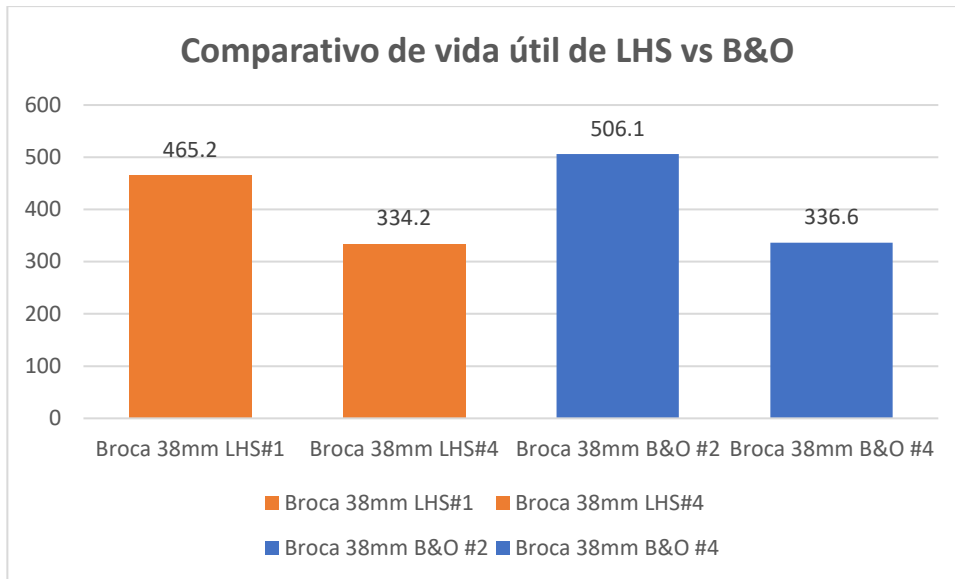
Machacala (Boart vs LHS): Boart logró 175.81 pies frente a 195.07 pies de LHS, lo que implica una ventaja de 10.9 % para LHS. Aquí, la broca LHS no solo supera en durabilidad, sino que al mantener precios más bajos que Boart, se convierte en la mejor alternativa para adquisición permanente en esta mina.

Anaconda Sur (Mitsubishi vs LHS): Mitsubishi registró 434.3 pies frente a 343.5 pies de LHS, resultando en una ventaja de 20.09% a favor de Mitsubishi. En este caso, el mejor desempeño técnico corresponde a Mitsubishi, lo que sugiere que, en condiciones similares, la marca japonesa ofrece mayor durabilidad. Sin embargo, se debe evaluar el costo de adquisición en lo que LHS saca una ventaja competitiva.

Magistral de Huaraz (Sandvik vs LHS): LHS alcanzó 234.85 pies frente a 215.6 pies de Sandvik, una ventaja de 8.19 % a favor de LHS. Esta diferencia, aunque moderada, respalda la conveniencia de adoptar LHS en esta operación, especialmente al considerar su menor costo de adquisición.

4.1.1 Resultado específico 01

- Mina La Joya (B&O): Vida útil similar en brocas de 38 mm, con ventaja operativa en costo-beneficio del 14.5 %. En cuanto a las brocas LHS ROCK TOOLS alcanzó una vida útil de 1625 pies con un diámetro de 23.6mm.

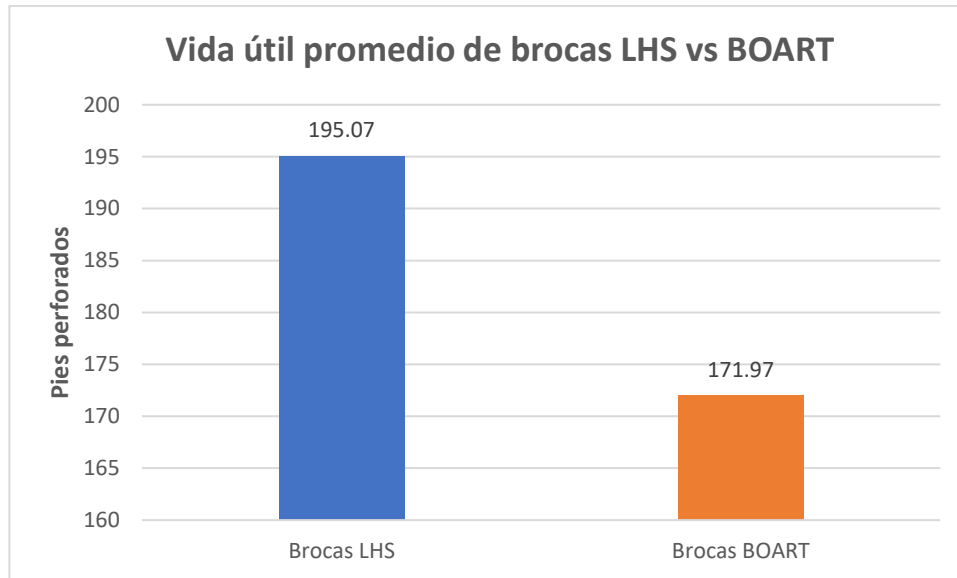


Nota. La Broca 38 mm B&O #2 presentó la mayor vida útil con 506.1 pies, un 8.8 % más que la LHS#1 (465.2 pies), mientras que la LHS#4 y la B&O #4 registraron los valores más bajos (334.2 y 336.6 pies, respectivamente, entre un 27 % y 34 % menos que las de mejor rendimiento). En costo por pie perforado, la LHS#1 (\$0.03759) es 14.5 % más económica que la B&O #2 (\$0.04394), lo que la convierte en la opción más rentable: aunque la B&O #2 dura más, su mayor precio por pie no compensa, y a gran escala la LHS#1 podría generar ahorros significativos.

- Mina Machacala (Boart Longyear): LHS superó en promedio en vida útil en 13.45 % en brocas y 7.94 % en barras (pies perforados).

Figura 43

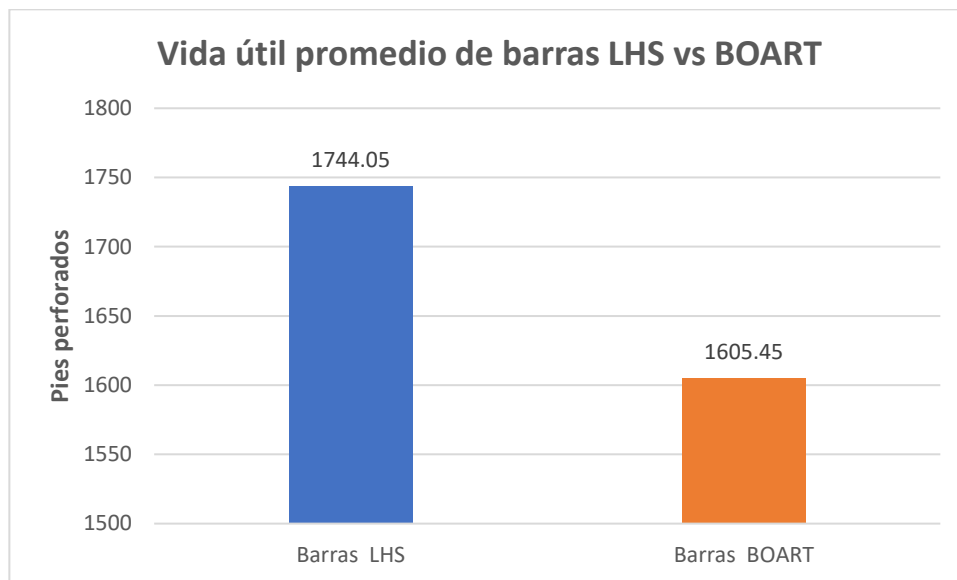
Vida útil promedio de brocas LHS vs BOART



Nota. En promedio, las brocas cónicas de LHS Rock Tools alcanzaron 195.07 pies perforados, superando en 13.45 % a las de Boart Longyear (171.97 pies). Esto confirma que, considerando todas las muestras y tipos de terreno, LHS Rock Tools ofrece mayor durabilidad y rendimiento promedio frente a su competidor

Figura 44

Vida útil promedio de barras LHS vs BOART

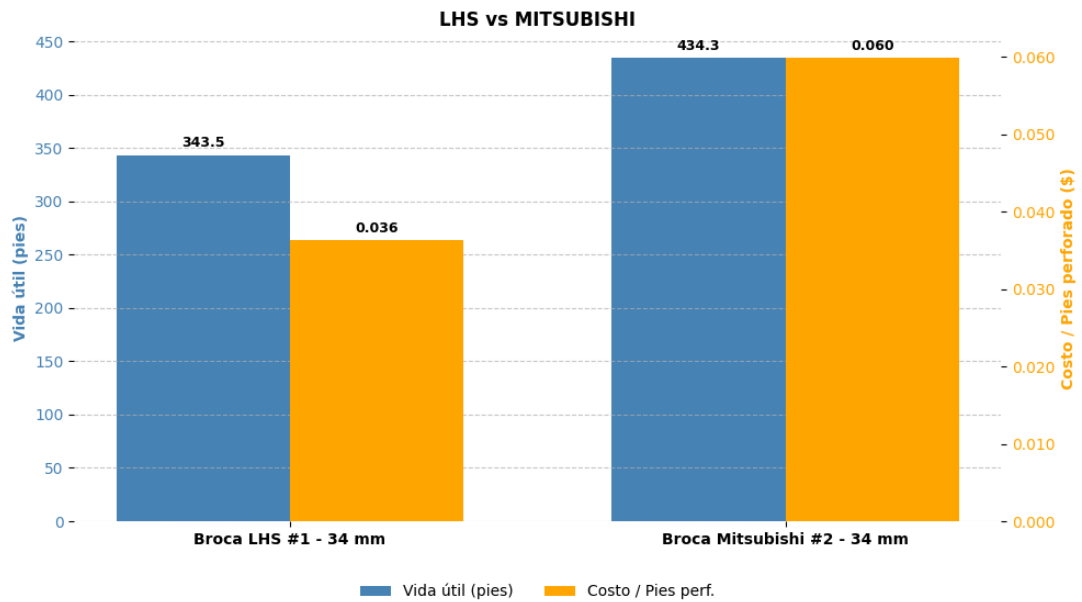


Nota. En la comparación de barras cónicas de 4 pies, la muestra LHS Rock Tools alcanzó una vida útil de 1744.05 pies perforados, superando en 7.94 % a la Boart Longyear, que registró 1605.45 pies; estos resultados demuestran en campo la mayor durabilidad y rendimiento de las barras cónicas de 36 mm de LHS Rock Tools frente a las de Boart Longyear.

- Mina Anaconda del Sur (Mitsubishi): Ventaja en costo-beneficio de aproximadamente 40 % en brocas de 34 mm.

Figura 45

Comparación de vida útil brocas en pies perforados vs costo de perforación

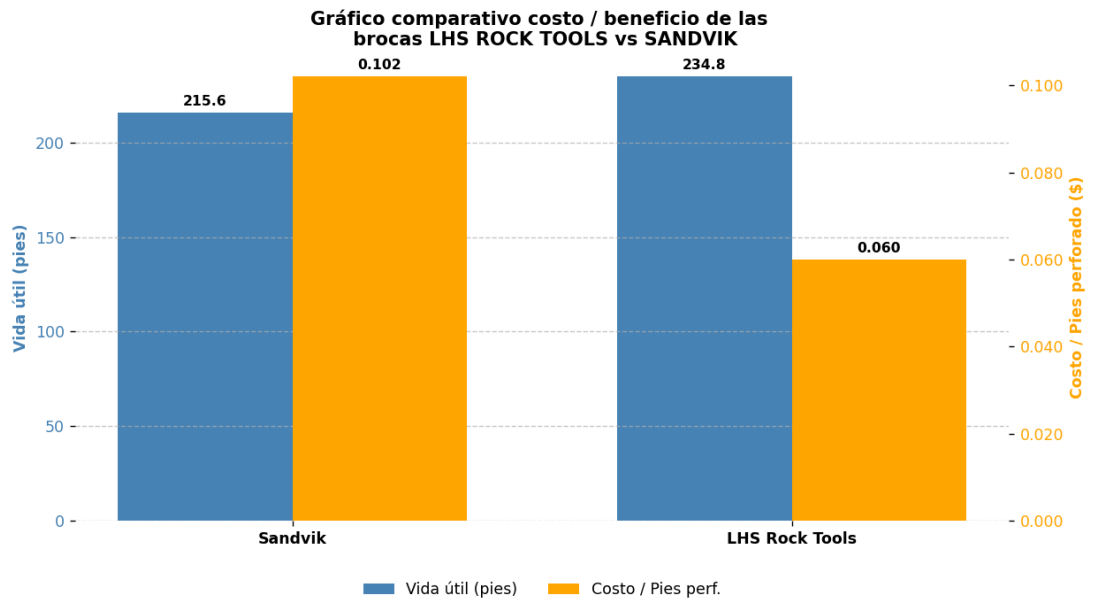


Nota. El costo/pies perforados es menor en un 40% a la marca competidora con por lo que es más económico la marca LHS.

- Mina Magistral de Huaraz (Sandvik): Vida útil de brocas similar, pero con un costo/beneficio 41.1 % más favorable para LHS (0.060 \$/pie vs 0.102 \$/pie).

Figura 46

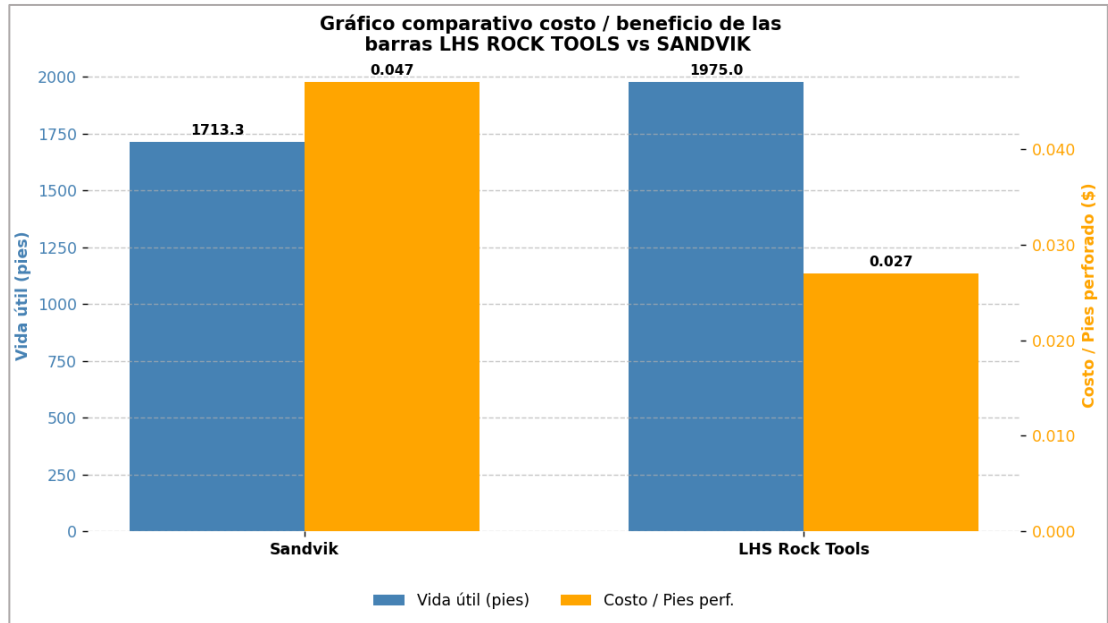
Comparativo de brocas de 41 mm LHS Vs SANDVIK



Nota. Considerando que la broca Sandvik tiene un precio mínimo de \$22 y la LHS Rock Tools de \$14, la LHS ofrece una relación costo-beneficio más competitiva. En las pruebas, la LHS alcanzó 234.85 pies perforados, superando en 8.19 % la vida útil de la Sandvik (215.60 pies), y su costo por pie perforado fue 41.18 % menor (0.060 vs 0.102 \$/pie). Estos resultados muestran que LHS Rock Tools no solo dura más, sino que también perfora a un costo significativamente más bajo.

Figura 47

Gráfico comparativo costo / beneficio de las barras LHS ROCK TOOLS vs SANDVIK



Nota. En la comparación de la barra cónica de 4 pies, la LHS Rock Tools alcanzó una vida útil de 1975.05 pies, superando en 13.25 % a la Sandvik (1713.35 pies). En precio, LHS cuesta 29.33 % menos (\$53 frente a \$75), y en costo por pie perforado logra una reducción del 42.55 % (0.027 \$/pie vs 0.047 \$/pie). Estos resultados evidencian que LHS Rock Tools no solo iguala el desgaste diametral de Sandvik, sino que además ofrece un rendimiento superior y un costo significativamente más bajo por unidad perforada.

4.1.2 Resultados específicos 02

En las cuatro minas evaluadas, el costo de adquisición de LHS ROCK TOOLS fue entre 15 % y 36 % inferior al de las marcas competidoras, generando un impacto directo en la reducción del costo por pie perforado. En el caso de Sandvik, la diferencia fue de \$8 por unidad (36.4 %), con un desempeño equivalente en vida útil, lo que mejoró significativamente el índice costo/beneficio.

CONCLUSIONES

- Queda demostrando que las barras y brocas cónicas de LHS ROCK TOOLS constituyen una alternativa técnica y económicamente ventajosa frente a las marcas B&O, Boart, Mitsubishi y Sandvik, manteniendo un desempeño eficiente bajo distintas condiciones de dureza de terreno.
- LHS ROCK TOOLS demostró un rendimiento igual o superior en vida útil frente a las marcas evaluadas, adaptándose de manera consistente a distintos tipos de terreno (suave, regular y duro), lo que refuerza su confiabilidad en condiciones reales de operación.
- LHS ROCK TOOLS ofrece una ventaja competitiva sostenida en términos de costo de adquisición, sin comprometer el rendimiento operativo, lo que lo posiciona como una opción estratégica para la optimización de costos en perforación.

RECOMENDACIONES

- Implementar el uso de LHS ROCK TOOLS como estándar en las operaciones evaluadas, complementando con programas de seguimiento de desgaste y control de costos para garantizar la optimización continua del costo/beneficio.
- Mantener un registro estandarizado de metros perforados por herramienta y condiciones de terreno, lo que permitirá proyectar la vida útil y planificar el abastecimiento óptimo de herramientas.
- Adoptar criterios de evaluación que integren simultáneamente costo de adquisición, vida útil y condiciones geomecánicas para la selección de herramientas de perforación, priorizando aquellas que maximicen el valor técnico-económico, como LHS ROCK TOOLS.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Aparco, A., & Garcia, J. (2019). *Optimización de la vida útil de los aceros de perforación para la reducción de costos en Mina San Vicente — Cía. San Ignacio de Morococha S.A.A. AÑO 2018* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Huancavelica]. Repositorio institucional UNH <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/3180>
- Arcaya, E. J. (2023). *Ciclo de vida de los aceros de perforación y su relación con los costos operativos en la Unidad Minera San Rafael, Puno, 2023* [Tesis de grado, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann]. Repositorio institucional UNJBG <https://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/20.500.12510/4485>
- Boart Longyear. (2018). *Herramientas de perforación de martillo superior* [Folleto]. Boart Longyear.
- Castro, W. H. (2023). *Reducción de costos de aceros por metro lineal mediante la optimización de aceros de perforación en la U.P. Alpayana S.A.* [Tesis de grado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio institucional UNCP <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/10619>
- Curasi, B., & Quispe, L. (2023). *Evaluación de aceros de perforación para propuesta de consumo mensual, labores de avance, unidad minera Sotrami S. A., 2023* [Tesis de grado, Universidad Continental]. Repositorio institucional UC https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/14927?utm_source=chatgpt.com
- Darling, P. (2011). *SME Mining Engineering Handbook* (3ª ed., Vol 1). Society for Mining, Metallurgy, and Exploration.
- Epiroc. (2022). *Product catalogue - Tophammer equipment*[Catálogo]. Epiroc.
- Famesa Explosivos S.A. (2019). *Manual de perforación y Voladura* (1.ª ed.). COSAS.

- Gomez, A. (2024). *Gestión de aceros de perforación para reducción de costos operativos – Unidad Minera Yauliyacu* [Tesis de grado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio institucional UNCP <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/11909>
- Hambley, D. F., & Rostami, J. (2011). *Blasthole Drilling*. En P. Darling (Ed.), *SME Underground Mining Handbook* (3a ed., Vol. 1, pp. 435–441). Society for Mining, Metallurgy, and Exploration (SME).
- Huamani, V. (2021). *Evaluación de la columna de perforación, optimización de costos por metro perforado en CIA Minera Volcán S.A. Andaychagua 2021* [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. Repositorio institucional UNSCH https://repositorio.unsch.edu.pe/items/3c30fa5c-f090-4a30-8255-9e3a9ede12f2/full?utm_source=chatgpt.com
- Kang, H., Park, J.-Y., Cho, J.-W., Jang, J.-S., Kim, K.-W., & Lee, J.-W. (2018). *Optimal button arrangement of a percussion drill bit and its operating condition for improving drilling efficiency. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C*, 232(16), 2887–2898. <https://doi.org/10.1177/0954406217726563>
- Katiyar, P. K. (2020). *A comprehensive review on synergy effect between corrosion and wear of cemented tungsten carbide tool bits: A mechanistic approach. International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 92, 105315. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2020.105315>
- Katiyar, P. K., Maurya, R., & Singh, P. K. (2021). *Failure Behavior of Cemented Tungsten Carbide Materials: A Case Study of Mining Drill Bits. Journal of Materials Engineering and Performance*, 30(8), 6090–6106. <https://doi.org/10.1007/s11665-021-05829-7>

- Kwon, K.-B., Song, C.-H., Park, J.-Y., Oh, J.-Y., Lee, J.-W., & Cho, J.-W. (2014). *Evaluation of drilling efficiency by percussion testing of a drill bit with new button arrangement. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 15(6), 1063–1068. <https://doi.org/10.1007/s12541-014-0437-3>
- Prayitno, D. A., & Syahrudin, M. K. (2022). *Productivity and cost analysis of drilling for blast holes in granite mining at PT. Hansindo Mineral Persada. Jurnal Teknik Sipil (JTS) Jurnal Teknik Sipil(JTS)*, 24(2), 1099–1109. <https://doi.org/10.26418/jts.v24i2.68899>
- Sandvik. (2022). *Top Hammer Rock Drilling Tools* [Catálogo]. Sandvik.
- Su, O., Yarali, O., & Akcin, N. A. (2013). *Comparison of Drilling Performance of Chisel and Button Bits on the Electro Hydraulic Driller. Rock Mechanics and Rock Engineering*, 46(6), 1577–1587. <https://doi.org/10.1007/s00603-012-0358-3>
- Ugurlu, O. F., & Kumral, M. (2018). *Cost optimization of drilling operations in open-pit mines through parameter tuning. Quality Technology & Quantitative Management*, 17(2), 173–185. <https://doi.org/10.1080/16843703.2018.1564485>

ANEXOS

Tabla 31

Matriz de consistencia

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	MÉTODO DE INVESTIGACIÓN
<p>PROBLEMA GENERAL ¿Cuál es el desempeño y el costo de adquisición de las barras de 4 pies y brocas de 38 mm cónicas de la marca LHS ROCK TOOLS en comparación con las marcas B&O, Boart, Mitsubishi y Sandvik en operaciones mineras del Perú durante el año 2025?</p> <p>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuál es la vida útil, medida en metros perforados, de las barras y brocas de la marca LHS en comparación con las marcas competidoras bajo condiciones operativas reales? • ¿Cuál es el costo de adquisición de las barras de 4 pies y brocas de 38 mm de la marca LHS, y cómo se compara con el costo de productos equivalentes de las marcas B&O, Boart, Mitsubishi y Sandvik? 	<p>OBJETIVO GENERAL Evaluar la vida útil y el costo de adquisición de las barras de 4 pies y brocas de 38 mm cónicas de la marca LHS ROCK TOOLS en comparación con productos equivalentes de las marcas B&O, Boart, Mitsubishi y Sandvik, en cuatro operaciones mineras del Perú durante el año 2025.</p> <p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Determinar la vida útil, en metros perforados, de las barras y brocas LHS ROCK TOOLS frente a las marcas competidoras, bajo condiciones reales de operación en distintas minas. • Comparar el costo de adquisición de las herramientas LHS ROCK TOOLS con el de las marcas B&O, Boart, Mitsubishi y Sandvik, empleadas en las mismas condiciones operativas. 	<p>HIPÓTESIS GENERAL Las barras de 4 pies y brocas de 38 mm cónicas de la marca LHS ROCK TOOLS presentan una vida útil competitiva y un menor costo de adquisición en comparación con las marcas B&O, Boart, Mitsubishi y Sandvik, en operaciones mineras del Perú durante el año 2025.</p> <p>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • La vida útil de las barras y brocas de la marca LHS, medida en metros perforados, es igual o superior a la de las marcas B&O, Boart, Mitsubishi y Sandvik, bajo condiciones operativas equivalentes. • El costo de adquisición de las herramientas de perforación LHS es significativamente menor en comparación con el de las marcas competidoras analizadas. 	<p>VARIABLE INDEPENDIENTE X: Tipo de aceros de perforación Dimensiones X1: Tipo de Broca X2: Tipo de barras X3: Marca del acero</p> <p>VARIABLE DEPENDIENTE 1 Y: Desempeño de los aceros de perforación Dimensiones Y1: Vida útil(m) Y2: Tasa de desgaste(mm) Y3: Tasa de penetración(m/h)</p> <p>VARIABLE DEPENDIENTE 2 Z: Costos Dimensiones Z1: Costo de adquisición (\$) Z2: Costo por metro perforado (\$/m)</p>	<p>TIPO DE INVESTIGACIÓN Aplicada</p> <p>NIVEL DE INVESTIGACIÓN Descriptivo comparativo</p> <p>DISEÑO no experimental, transversal y comparativo.</p> <p>POBLACIÓN Conjuntos de perforación manual (barras cónicas de 4 pies y brocas cónicas de 38 mm).</p> <p>MUESTRA Conjuntos de perforación manual (barras cónicas de 4 pies y brocas cónicas de 38 mm) de las marcas LHS ROCK TOOLS, B&O, Boart, Mitsubishi y Sandvik</p> <p>TÉCNICA Análisis documental y revisión de registros</p> <p>INSTRUMENTO Registro de datos Registros fotográficos</p>



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 02-2026-FIMGC

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS

En la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, en la ciudad de Ayacucho, en cumplimiento a la **Resolución Decanal No 022-2026-FIMGC-D**, a los **dieciocho días del mes de marzo de 2026**, siendo las **9:00 a.m.**, reunidos en el **Auditorio de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas**, bajo la presidencia del **MSc. Ing. José Ernesto ESTRADA CÁRDENAS**, y los miembros: **Ing. Leonil Fernando QUISPE ARONES**, **Ing. Kelvis BERROCAL ARGUMENTO** y **Ing. Jose Agustin ESPARTA SANCHEZ**, actuando como secretario docente el **Ing. Saul Walter RETAMOZO FERNANDEZ**, para proceder a la sustentación de tesis para optar el **Título Profesional de Ingeniero de Minas**, del bachiller en Ciencias de la Ingeniería de Minas:

Amilkar Marcelino VIDALON CARDENAS

Quien presentó la tesis denominada:

**Evaluación del desempeño y los costos de los aceros de perforación de la marca LHS
ROCK TOOLS frente a otras marcas en las minas peruanas, 2025**

Los señores miembros del jurado luego de expuesta la tesis y absueltas las preguntas, deliberaron y declararon:

Aprobado con 17 (diecisiete)

Siendo las **10:44 a.m.** del día **18 de marzo del 2026**, culmina el acto de sustentación de tesis, y en conformidad de lo actuado los miembros del jurado firmamos al pie del presente.

MSc. Ing. José Ernesto ESTRADA CÁRDENAS
Presidente

Ing. Leonil Fernando QUISPE ARONES
Miembro

Ing. Jose Agustín ESPARTA SANCHEZ
Miembro

Ing. Kelvis BERROCAL ARGUMENTO
Miembro - Asesor

Ing. Saul Walter RETAMOZO FERNANDEZ
Secretario docente de la FIMGC



UNSCH

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

El que suscribe; en mi calidad de Instructor de Originalidad de Trabajos de Investigación y encargado de certificar la originalidad de la tesis abajo indicado y por lo tanto responsable verificador de originalidad de trabajo de tesis de pregrado en primera instancia, en cumplimiento a la Resolución de Consejo Universitario N°039-2021-UNSCH-CU, Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación UNSCH, deja constancia que:

- Apellidos y Nombres del Bach. : VIDALON CARDENAS, Amilkar Marcelino
Escuela Profesional : Ingeniería de Minas
- Título de la Tesis : Evaluación del desempeño y los costos de los aceros de perforación de la marca LHS ROCK TOOLS frente a otras marcas en las minas peruanas, 2025
- Evaluación de la originalidad : 6% de similitud

Por tanto, según los artículos 12, 13 y 17 del Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación, **es procedente la constancia de originalidad** para los fines que crea conveniente.

Ayacucho, 27 de abril de 2026

.....
MBA Ing° Leonil Fernando Quispe Aronés
Instructor de Originalidad de Trabajos de Investigación

Evaluación del desempeño y los costos de los aceros de perforación de la marca LHS ROCK TOOLS frente a otras marcas en las minas peruanas, 2025

por Amilkar Marcelino VIDALON CARDENAS

Fecha de entrega: 27-abr-2026 05:57p. m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2945965545

Nombre del archivo: Tesis_Amilkar_Marcelino VIDALON_CARDENAS.pdf (4.51M)

Total de palabras: 21696

Total de caracteres: 116131

Evaluación del desempeño y los costos de los aceros de perforación de la marca LHS ROCK TOOLS frente a otras marcas en las minas peruanas, 2025

INFORME DE ORIGINALIDAD

6%

INDICE DE SIMILITUD

6%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

4%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	apirepositorio.unh.edu.pe Fuente de Internet	1%
2	ri-ng.uaq.mx Fuente de Internet	1%
3	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	1%
4	hdl.handle.net Fuente de Internet	<1%
5	docplayer.es Fuente de Internet	<1%
6	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	repositorio.unasam.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	Submitted to Universidad TecMilenio Trabajo del estudiante	<1%

9	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	<1 %
10	Submitted to unhuancavelica Trabajo del estudiante	<1 %
11	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
12	1library.co Fuente de Internet	<1 %
13	repositorio.unjbg.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
14	www.researchgate.net Fuente de Internet	<1 %
15	repositorio.unjfsc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
16	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	<1 %
17	www.lhsdrill.com Fuente de Internet	<1 %
18	www.scribd.com Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Activo