

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**

**Facultad de Ingeniería**

Escuela Profesional de Ingeniería de Minas

**PROPUESTA DE MEJORA DEL RENDIMIENTO CON  
NUEVA TECNOLOGÍA DE PERFORADORA MANUAL  
HIDRÁULICA (JACK LEG) PARA EL PROYECTO  
DE LA U.P. EL DORADO, 2022**

**TESIS**

Presentada por:

Bach. Carlos Ivan Cordova Pintado

Para optar el Título Profesional de:

**INGENIERO DE MINAS**

TACNA – PERÚ

2024

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**

**Facultad de Ingeniería**

Escuela Profesional de Ingeniería de Minas

**PROPUESTA DE MEJORA DEL RENDIMIENTO CON  
NUEVA TECNOLOGÍA DE PERFORADORA MANUAL  
HIDRÁULICA (JACK LEG) PARA EL PROYECTO  
DE LA U.P. EL DORADO, 2022**

Tesis sustentada y aprobada el 08 de agosto de 2024; estando el jurado calificador integrado por:


PRESIDENTE:

  
.....  
Dr. Dante Ulises Morales Cabrera

1er MIEMBRO:  
(SECRETARIO)

  
.....  
Dr. Carlos Huisa Cori

2do MIEMBRO:  
(VOCAL)

  
.....  
Dr. Jorge José Segura Dávila

ASESOR:


  
.....  
Dr. Jorge José Segura Dávila

### CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, Dr. JORGE JOSÉ SEGURA DÁVILA, en mi condición de Presidente del Comité de Grados y Títulos de la ESMI acreditado por la Resolución de Facultad N°08431-2024-FAIN/UNJBG declara que la monografía examen profesional titulado:

“PROPUESTA DE MEJORA DEL RENDIMIENTO CON NUEVA TECNOLOGÍA DE PERFORADORA MANUAL HIDRÁULICA (JACK LEG) PARA EL PROYECTO DE LA U.P. EL DORADO, 2022”, presentado por el Bachiller CARLOS IVAN CORDOVA PINTADO (2011-101036), para optar título profesional de Ingeniero de Minas.

Que, habiendo cumplido con lo establecido en el reglamento de originalidad y de similitud de trabajo de investigación y producción intelectual, considerando que según la revisión, evaluación y análisis realizado a través del **software de similitud textual** Turnitin cuenta con el **nivel de similitud permitido cuyo porcentaje es 12 %** Por lo que, **CERTIFICO LA SIMILARIDAD** de la tesis enunciada líneas arriba, la cual está expedita para continuar con los trámites para la obtención de título profesional, según corresponda consiguientemente la publicación en el repositorio institucional.

  
FIRMA ASESOR

Nombres y apellidos: JORGE JOSÉ SEGURA DÁVILA

ORCID: 0009-0005-4711-6371

DNI: 00425524



Huella digital

  
FIRMA TESISTA

Nombres y apellidos: CARLOS IVAN CORDOVA PINTADO

DNI: 46677187



Huella digital

## **DEDICATORIA**

A Dios, y a mi familia por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, y brindarme todo su apoyo incondicional para la realización de este trabajo. A todas las personas que formaron parte de mi desarrollo y aportaron a mi formación tanto personal como profesional.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco en especial a mi querida alma mater “Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann” y docentes. A mi familia, por haberme dado la oportunidad de formar parte de esta prestigiosa universidad y por comprender en muchas ocasiones mis múltiples actividades.

Muchas gracias a todos.

## **CONTENIDO**

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

CONTENIDO

ÍNDICE DE ANEXO

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

### **CAPÍTULO I**

#### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

1.1.	Descripción del problema	3
1.1.1.	Antecedentes del problema	3
1.1.2.	Problema de la investigación	4
1.2.	Formulación del problema	5
1.2.1.	Problema general	5

1.2.2. Problemas específicos	5
1.3. Justificación e importancia	6
1.4. Alcances y limitaciones	6
1.5. Objetivos	7
1.5.1. Objetivo general	7
1.5.2. Objetivos específicos	7
1.6. Hipótesis	8
1.6.1. Hipótesis general	8
1.6.2. Hipótesis específicas	8
1.7. Variables	9
1.8. Operacionalización de variables	9

## **CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO**

2.1. Antecedentes del estudio	11
2.2. Bases teóricas	15
2.2.1. Perforación	15
2.2.2. Sistemas de perforación	16

2.2.3. Métodos de perforación más usados en minería	17
2.2.4. Principios de la perforación rotopercutiva	18
2.2.5. Principio de empuje	24
2.2.6. Principio de barrido	26
2.2.7. Perforación con matillo de cabeza	29
2.2.7.1. Perforadoras neumáticas	30
2.2.7.2. Perforadoras hidráulicas	31
2.2.8. Diferencias técnicas entre perforadoras	32
2.2.9. Elección de una perforadora hidráulica	36
2.2.10. Perforadoras con equipos manuales convencionales	39
2.2.11. Centro de costos	43
2.2.11.1. Costos de perforación	43
2.2.11.2. Costos de amortización	44
2.2.11.3. Costos de intereses, seguros e impuestos	44
2.2.11.4. Costos de mantenimiento y reparaciones	45
2.2.11.5. Mano de obra	46
2.2.11.6. Costos de combustible o energía	47
2.2.11.7. Costos de aceites, grasas y filtros	47

2.2.11.8. Costos de bocas, varillas, y accesorios de la máquina	48
2.2.11.9. Costos totales de perforación	48
2.2.12. Unidad Productiva “El Dorado”	43
2.2.12.1. Geología y mineralización	51
2.2.12.2. Caracterización geomecánica	52
2.2.12.3. Operaciones	55
2.3. Definición de términos	55

### **CAPÍTULO III**

#### **MARCO METODOLÓGICO**

3.1. Tipo y diseño de la investigación	58
3.2. Población y muestra	59
3.3. Equipos y herramientas	60
3.4. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos	61
3.5. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	64

### **CAPÍTULO IV**

#### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1. Resultados de la investigación	66
-------------------------------------	----

4.2.	Análisis y pruebas del contraste de hipótesis	86
4.2.1.	Productividad de perforación	86
4.2.2.	Rendimiento de perforación	88
4.2.3.	Costos de perforación	91
4.2.4.	Rentabilidad de adquisición	94
4.3.	Discusión de resultados	96
4.3.1.	Resultado de productividad de perforación	96
4.3.2.	Resultado de rendimiento de perforación	98
4.3.3.	Resultado de costos de perforación	99
4.3.4.	Resultado de rentabilidad de adquisición	100
	<b>CONCLUSIONES</b>	101
	<b>RECOMENDACIONES</b>	102
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	103
	<b>ANEXOS</b>	106

## ÍNDICE DE ANEXO

	Pág.
Anexo 1. Matriz de consistencia	107
Anexo 2. Especificaciones Técnicas del Perforadora HRD100	108
Anexo 3. Registro de tiempos perforadora Jack Leg en el Taj250	113
Anexo 4. Registro de tiempos perforadora HRD100 en el Taj250	115

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Costos unitarios del proceso de producción	12
Figura 2 Métodos de perforación más usados	16
Figura 3 Sistemas de perforación más usados en minería subterránea	18
Figura 4 Principios de perforación rotopercutiva	19
Figura 5 Velocidad de rotación para bocas de pastillas y botones	23
Figura 6 Influencia del empuje o presión de avance sobre la velocidad	25
Figura 7 Principio de barrido de un barreno	27
Figura 8 Método de perforación de rocas	29
Figura 9 Perfil longitudinal del martillo de cabeza neumático	31
Figura 10 Perfil longitudinal del martillo de cabeza hidráulico	32
Figura 11 Comparación de la onda de compresión en martillos	34
Figura 12 Comparación de niveles de ruido por martillos	38
Figura 13 Equipos de perforación en minería convencional	42
Figura 14 Costos directos e indirectos de perforación	43
Figura 15 Cartilla geomecánica de GSI	52
Figura 16 RMR Bieniawski 1989	53
Figura 17 Muestra frente de perforación tajo 250	59
Figura 18 Equipo perforación HRD100	60

Figura 19 Tendencia de velocidad de perforación	78
Figura 20 Tendencia de rendimiento en la perforación	79
Figura 21 Tendencia de eficiencia en la perforación	80
Figura 22 Tendencia de costo unitario en la perforación	81
Figura 23 Caja de bigotes de las variables	82

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Operacionalización de variables	10
Tabla 2 Comparativo de equipos del sistema de acarreo	35
Tabla 3 Diferencia de equipos manuales convencionales	40
Tabla 4 Factor de reparación de repuestos en equipos neumáticos	46
Tabla 5 Demoras operativas de actividad de perforación	66
Tabla 6 Datos técnicos e indicadores de perforadora Jack Leg	67
Tabla 7 Datos técnicos e indicadores de perforadora HRD100	68
Tabla 8 Costo de adquisición y mantenimiento equipo Jack Leg	69
Tabla 9 Costo de equipo de protección personal con Jack Leg	69
Tabla 10 Costo de herramientas y materiales con Jack Leg	70
Tabla 11 Costo de acero de perforación con Jack Leg	71
Tabla 12 Costo unitario de perforación con Jack Leg	72
Tabla 13 Costo de adquisición y mantenimiento equipo HRD100	73
Tabla 14 Costo de equipo de protección personal con HRD100	73
Tabla 15 Costo de herramientas y materiales con HRD100	74
Tabla 16 Costo de acero de perforación con HRD100	75
Tabla 17 Costo unitario de perforación con HRD100	76
Tabla 18 Resultado de las variables de estudio	77

Tabla 19 Prueba de normalidad de variables	83
Tabla 20 Análisis estadístico descriptivo perforadora Jack Leg	84
Tabla 21 Análisis estadístico descriptivo perforadora HRD100	84
Tabla 22 Análisis de homogeneidad de varianzas	85
Tabla 23 Resumen de resultados por equipo de perforación	86
Tabla 24 Prueba hipótesis para el indicador velocidad	87
Tabla 25 Prueba hipótesis para el indicador rendimiento	89
Tabla 26 Prueba hipótesis para el indicador eficiencia	90
Tabla 27 Prueba hipótesis para el indicador costo unitario	92
Tabla 28 Incidencia de costos por equipo de perforación manual	92
Tabla 29 Rentabilidad de adquisición de equipo de perforación manual	94
Tabla 30 Comparación de resultados investigación vs Chuyma (2019)	97

## RESUMEN

La presente investigación realiza un análisis del rendimiento de una perforadora de roca hidráulica de tecnología avanzada sueca con las siglas HRD100 (Hydraulic Rock Drill) con la finalidad de evaluar su adquisición en las operaciones mina. Se analiza su eficiencia de trabajo en la etapa de perforación; como los costos de adquisición, mantenimiento y asociados; su rendimiento como avance lineal en frentes de minería convencional. Cabe resaltar que la HRD100 posee múltiples beneficios señalados en sus características técnicas del equipo; por el cual es propicio investigar su influencia y determinar su factibilidad de adquisición en las operaciones de la mina "El Dorado". La perforadora manual hidráulica mejora la productividad de 1,244 pp/min a 2,573 pp/min, reduciendo los costos unitarios de perforación de 1,35 USD/pp a 1,102 USD/pp, al incrementar la longitud de corte de 15 a 25 m. Por lo tanto, la sinergia que debe tener el equipo con las operaciones mina, hace sustentable el desarrollo de la investigación, evaluando las nuevas fuentes de tecnologías a fin de reducir los costos e incrementar la producción que requiera la organización para ser competitiva.

**Palabras clave:** Rendimiento, Tecnología, Perforadora.

## **ABSTRACT**

This research carries out a productivity analysis of a Swedish advanced technology hydraulic rock drill with the acronym HRD100 (Hydraulic Rock Drill) in order to evaluate its acquisition in mine operations. Their work efficiency in the drilling stage is analyzed; such as acquisition, maintenance and associated costs; its performance as linear advance in conventional mining fronts. It should be noted that the HRD100 has multiple benefits indicated in its technical characteristics of the equipment; Therefore, it is appropriate to investigate its influence and determine its acquisition feasibility in the operations of the “El Dorado” mine. The hydraulic hand drill improves productivity from 1,244 pp/min to 2,573 pp/min, reducing unit drilling costs from 1.35 USD/pp to 1,102 USD/pp, by increasing the cutting length from 15 to 25 m. Therefore, the synergy that the team must have with mine operations makes the development of research sustainable, evaluating new sources of technologies in order to reduce costs and increase the production required by the organization to be competitive.

**Keywords:** Performance, Technology, Drilling Machine.

## INTRODUCCIÓN

En el presente estudio se plantea realizar un análisis técnico de la adquisición de la perforadora HRD100 para las operaciones de la mina “El Dorado”, donde la decisión se basa en la obtención de los indicadores producción, productividad y costos. Así mismo se resume las características de las operaciones de la mina y la sinergia en la implementación de nueva tecnología que mejoren el proceso extractivo de la operación, reduciendo de esta forma su riesgo en el cumplimiento de las metas proyectadas asegurando la rentabilidad de las operaciones mineras frente a los costos operativos y de inversión que demandan la extracción minera. Bajo este principio se ha desarrollado el presente estudio titulado “Propuesta de Mejora del Rendimiento con Nueva Tecnología de Perforadora Manual Hidráulica (JACK LEG) para el Proyecto de la U.P. “El Dorado”, 2022” que consta de cuatro capítulos.

En el Capítulo I, se establece el Planteamiento del Problema; haciendo referencia a la problemática de la investigación, antecedentes del problema de la U. “El Dorado”, formulación del problema enfocado a la adquisición e implementación de la tecnología de la perforadora HRD100 en las operaciones mineras y su factibilidad técnica económica, justificación e

importancia del estudio, alcances y limitaciones de la investigación, objetivos e hipótesis de investigación.

En el Capítulo II, estudiaremos el Marco Teórico; para establecer los lineamientos y conceptos trascendentes del estudio, antecedentes del estudio, bases teóricas para analizar los resultados en la evaluación de adquisición de la perforadora HRD100, desde un enfoque técnico económico, respecto a las variables producción, productividad y costos; y la respectiva definición de términos empleados en la presente investigación.

En el Capítulo III, desarrollaremos el Marco Metodológico; se hace referencia al tipo y diseño de investigación; población y muestras tomadas en el proyecto "El Dorado", operacionalización de variables del estudio en referencia a los objetivos planteados, técnicas e instrumentos utilizados para la recolección de datos, procesamiento y análisis de datos, para obtener los resultados del presente estudio.

En el Capítulo IV, se muestran los resultados, contraste de hipótesis y discusión de resultados. Finalmente, se complementa la investigación con las conclusiones, recomendaciones y referencias bibliográficas.

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1. Descripción del problema**

##### **1.1.1. Antecedentes del problema**

Los altos costos del proceso de perforación en la etapa de producción implican realizar investigaciones a cerca del uso de otras tecnologías que muestren una mejor productividad y bajo costo de avance lineal en los frentes de explotación de las actividades mineras de la Unidad de Producción “El Dorado”. Las perforadoras convencionales como lo son las perforadoras neumáticas implican equipos inherentes como una compresora para su funcionamiento; y accesorios como el suministro de aire comprimido por medio de mangueras. Lo que conlleva a costos adicionales, mano de obra, tiempo en la instalación y mantenimiento. Así mismo la pérdida de energía en las perforadoras neumáticas por caída de presión, a medida que se adicionan más equipos y por lo que se requiere mayor longitud de mangueras para el suministro de aire, alteran y retrasan la eficiencia del rendimiento del equipo de perforación; y como resultado

involucran en los costos y demoras operativas, incumpliendo con los objetivos de la producción requerida.

### **1.1.2. Problema de la investigación**

El rendimiento de las perforadoras neumáticas en el frente de explotación de los recursos minerales, en cuanto a su operatividad, presenta incertidumbre en cuanto a la velocidad de perforación, fuerza de empuje o pull down, velocidad de rotación y entre otras variables de estudios; todo afecta a la productividad requerida y planificada. El costo unitario, durante el proceso de perforación, implica una influencia del 25 % al 35 % respecto al costo total de producción. Esto subyace a la pregunta ¿de qué manera se puede reducir los costos involucrados en la etapa de perforación? o ¿qué otras herramientas o equipos existen para el reemplazo de las perforadoras neumáticas que impliquen la reducción de costos?

En cuanto a la rentabilidad, de la pregunta anterior, se puede establecer la siguiente pregunta ¿en cuánto es factible o rentable el uso de otros equipos frente a las perforadoras manual neumáticas en minería convencional? La rentabilidad genera mayor producción y disminución de

costos en un tiempo determinado; generando a la organización mayores probabilidades de éxito y beneficio frente al mundo competitivo.

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema general**

¿Qué rendimiento ofrece la perforadora manual hidráulica para el Proyecto de la Unidad de Producción "El Dorado"?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- a) ¿Qué rendimientos de perforación posee la perforadora manual hidráulica en el frente de trabajo?
- b) ¿Qué costos implican la perforadora manual hidráulica para determinar su productividad?
- c) ¿Qué rentabilidad ofrece la perforadora manual hidráulica frente a perforadoras neumáticas?

### **1.3. Justificación e importancia**

La Justificación se centra, básicamente, en otorgar a la empresa unas alternativas de solución que mejoren la productividad en cuanto al proceso o etapa de perforación por su relativo alto costo unitario. Por otro lado, se pretende investigar los costos indirectos que involucran en la etapa de la misma; costos de mantenimiento, equipos y accesorios necesarios, mano de obra, entre otros. Con el fin de comparar a mediano y largo plazo las ventajas y desventajas que implica el utilizar nuevas fuentes de tecnologías inherentes al equipo de perforación manual hidráulico o perforadora de roca hidráulica de potencia 100 bares (HRD100).

La importancia radica en las bondades que presenta la perforadora manual hidráulica; es decir, verifica los datos técnicos escritos frente a las labores de producción como: velocidad de perforación, fuerza de empuje, velocidad de rotación, barrido frente al detritus, consumo de agua y aceite, consumo de energía. Además de los resultados obtenidos, se determinarán la factibilidad de estos equipos en otras unidades de producción.

### **1.4. Alcances y Limitaciones**

En la investigación, se tuvo limitaciones al realizar la prueba piloto en un solo tipo de terreno, donde se encontró con frentes de macizo rocoso

competentes; lo que dificultó la investigación en otras fuentes y con características similares al terreno. Además, se cuenta con una máquina operativa de prueba piloto, debido al alto costo de la maquinaria para su adquisición. A ello se suma el escaso conocimiento de su mantenimiento y control del equipo, pero el equipo técnico de suministros de la perforadora manual hidráulica HRD100 brindará soporte técnico para mejores trabajos productivos en la empresa.

## **1.5. Objetivos**

### ***1.5.1. Objetivo general***

Determinar el rendimiento que ofrece la perforadora manual hidráulica para el Proyecto de la Unidad de Producción "El Dorado".

### ***1.5.2. Objetivos específicos***

- a) Establecer los rendimientos de perforación que tiene la perforadora manual hidráulica en el frente de trabajo.
- b) Determinar los costos de la perforadora manual hidráulica asociados en su productividad.

- c) Comparar la rentabilidad de la perforadora manual hidráulica con la perforadora neumática.

## **1.6. Hipótesis**

### ***1.6.1. Hipótesis general***

Es factible que la perforadora manual hidráulica aumente el rendimiento de perforación para el Proyecto de la Unidad de Producción "El Dorado".

### ***1.6.2. Hipótesis específicas***

- a) Existe un mayor rendimiento de perforación con el uso de la perforadora manual hidráulica en el frente de trabajo.
- b) Los costos de la perforadora manual hidráulica son menores a mediano y largo plazo.
- c) La rentabilidad aumenta relativamente con el uso de la perforadora manual hidráulica.

## **1.7. Variables**

Las variables independientes (VI) del proyecto son:

VI: Equipo de perforación manual neumático e hidráulico (Jack Leg)

La variable dependiente (VD) del proyecto es:

VD: Mejorar el rendimiento de la perforación

## **1.8. Operacionalización de variables**

La presente investigación ha definido las variables independientes, dependientes y asociadas. Las siguientes tablas contienen las definiciones operativas, los indicadores y las dimensiones de cada una. El estudio de las variables nos permitirá evaluar y realizar el contraste de hipótesis de investigación; las variables independientes, representan el cambio del comportamiento matriz de la investigación, mientras que las variables dependientes, representan los resultados obtenidos al analizar los cambios observables y medibles. Y las variables asociadas son variables que interfieren directamente en los resultados, sin embargo, no se consideran como materia de estudio, por lo tanto, es tratada como información (tabla 1).

**Tabla 1**  
Operacionalización de variables

<b>Operacionalización de variables</b>		
<b>Variable independiente (VI)</b>		
<b>Equipo de perforación manual neumático e hidráulico (Jack Leg)</b>		
<b>Definición</b>	<b>Indicador</b>	<b>Dimensión</b>
Corresponde a los equipos de perforación manual neumático e hidráulico (Jack Leg) utilizados en la de Unidad Productiva El Dorado.	-Perforadora manual neumático Jack Leg -Perforadora manual hidráulica HRD100	- Und - Und
<b>Variable dependiente (VD)</b>		
<b>Mejora del rendimiento de perforación</b>		
Corresponde a las mejoras del rendimiento en la actividad de perforación del Tj 250 de la Unidad Productiva El Dorado.	- Velocidad de perforación - Rendimiento de perforación - Eficiencia de perforadora - Costo unitario de perforación	- pp/min - N° tal/h - % - USD/pp

Fuente: propia.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes del estudio**

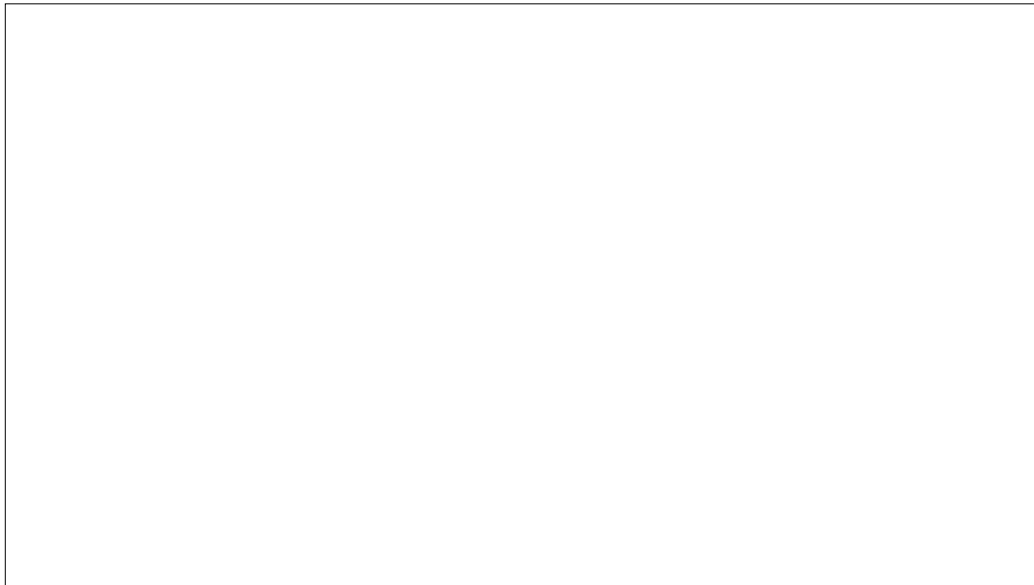
(Rojas, D., 2021) Realizó la investigación denominada “Precios unitarios en la explotación aurífera subterránea de pequeña minería en el distrito Camilo Ponce Enríquez”. Este trabajo de investigación determinó el análisis de costos unitarios en el proceso del ciclo de minado de la fase de explotación. La metodología fue recopilar los costos operativos y no operativos de manera trimestral (diciembre 2020, enero y febrero de 2021) desde su inicio porque la empresa no cuenta con un control de costos adecuados. La información recopilada determinó los análisis reales de los costos unitarios de producción a fin de mejorar o reducir los costos a partir de los resultados arrojados, obteniendo como costo de perforación 17,92 USD/t, respecto a un costo total de 58,05 USD/t.

Con respecto a los resultados concluyentes (figura 01), el autor realizó un Modelo Contable Matemático a fin determinar, analizar. y

optimizar los resultados de manera amena y práctica en posteriores cuestiones o simulaciones.

**Figura 1.**

*Costos unitarios del proceso de producción*



Fuente: Rojas, 2021.

(Godoy, T., 2020) Publicó el trabajo titulado “Comparación técnico económica de sistemas de perforación en el método Shrinkage aplicado a explotación de minas subterránea el Dorado”. Menciona, básicamente, que: “Una incorrecta elección del sistema de perforación, equipos y accesorios, pueden afectar directamente al proceso de productividad y se tendrá pérdidas económicas” afectando éstos directamente al costo del proyecto y la rentabilidad o beneficio global del mismo. Entonces el proyecto pretende comparar los beneficios técnicos económicos que

implica al proceso de perforación de la veta N-S en la mina El Dorado, ubicado en la IV Región de Coquimbo. La metodología comienza con la elección apropiado del método de explotación, teniendo en cuenta los parámetros del terreno; la elección de los sistemas de perforación; y finalmente evaluar la factibilidad técnica económica. En conclusión, se establece que el método apropiado de explotación es el Shrinkage y la elección del sistema de perforación se debe realizar de manera horizontal por su menor costo con el sistema de perforación vertical.

Fernández, J. (2016) Estableció la investigación denominada “Optimización de avance lineal, reemplazando las perforadoras Jack-Leg por jumbo hidráulico en el proceso de perforación y voladura de la GLN1 y CRNE en Mina Consuelo de la Empresa Especializada New Horus S.A.C. - Poderosa”. En resumen, el objetivo de la presente, es la optimización de avance lineal de la GLN1 y CRNE de la Compañía Minera Poderosa S.A. La fuente establece que las perforadoras neumáticas poseen una gran desventaja debido a su limitada longitud de perforación; para ello, se propuso cumplir y optimizar el programa mensual utilizando equipos de jumbo hidráulico y sus aplicaciones tecnológicas. Al finalizar las pruebas, se determinó resultados favorables cumpliendo con los objetivos trazados de avance lineal; es decir, mejor eficiencia en la voladura por disparo,

reducción del consumo de explosivo, bajo porcentaje de dilución, y mejor grado de fragmentación.

(Cornuales, 2015) En la revista Mining Review África, se determina el artículo siguiente “Nueva perforadora de roca hidráulica ideal para perforación subterránea”. EPIROC ha desarrollado una perforadora manual hidráulica potente, firme y compacta que determina un punto nuevo de referencia mundial de una perforación segura y eficiente para trabajos de minas subterráneas.

En resumen, Según Stewart expresa que: [...] en respuesta a los requisitos de equipos de perforación de la industria minera, el objetivo era producir una perforadora de roca potente, eficiente y compacta para una fácil maniobrabilidad y operación en condiciones subterráneas estrictas donde el calor, los perfiles bajos y las áreas empinadas de difícil acceso son difíciles de alcanzar.

Además, Stewart, indicó que: Todo se reduce a la velocidad de perforación porque esto es lo que finalmente determina la productividad, enfatiza Stewart, el HRD100 ofrece un par de torsión de entre 10 y 25 Nm y funciona con una impresionante eficiencia del 37 % en la barra de perforación. La combinación de altas tasas de perforación y bajos costos

operativos por metro perforado, lo que hace que la perforadora sea considerablemente más eficiente energéticamente en comparación con las perforadoras neumáticas o eléctricas convencionales. “Siempre habrá pérdidas, pero el secreto es minimizar estas pérdidas y las funciones integradas, como el modo inactivo y el encendido bajo demanda, hacen exactamente eso”. (Cornuales, L., Mining Review África, 2020).

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Perforación**

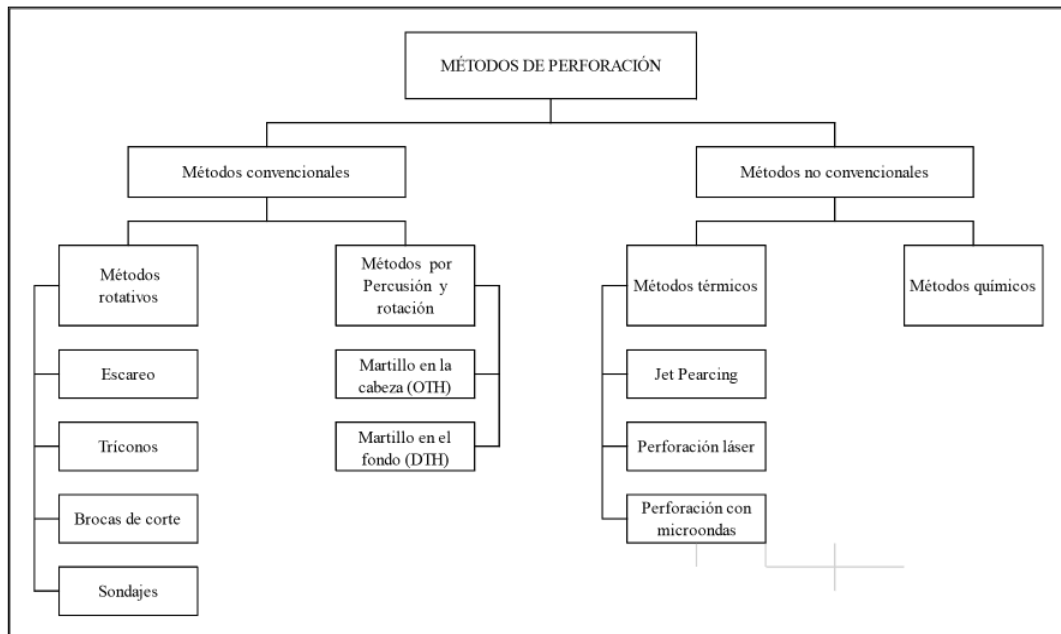
Es la operación que se realiza con el fin generar una abertura en el macizo rocoso (hueco o barreno de perforación), con una geometría y distribución determinada, donde se colocarán cargas explosivas (Sernageomin, 2013).

La perforación de roca está orientada a determinar un hoyo o taladro (agujero) con el objetivo de arrancar material para construir obras civiles como: túneles, cámaras, pozos, carreteras entre otros, o también para trabajos de minería para extraer materiales y minerales económicos (Reategui, C., 2015).

En minería convencional, el sistema de perforación es por el método de rotopercusión y sus componentes de apoyo son la perforadora manual, que es la fuente de energía mecánica y las barras de perforación, que es el medio de transmisión de energía para romper la roca.

### 2.2.2. Sistemas de perforación

**Figura 2.**  
Métodos de perforación más usados



Fuente: Reategui, 2015.

Existen muchos métodos de perforación en el campo de la minería, estos se han desarrollado a lo largo de la historia. En la figura 02, se

muestra una visión general de los métodos más usados con respecto a los sistemas de perforación.

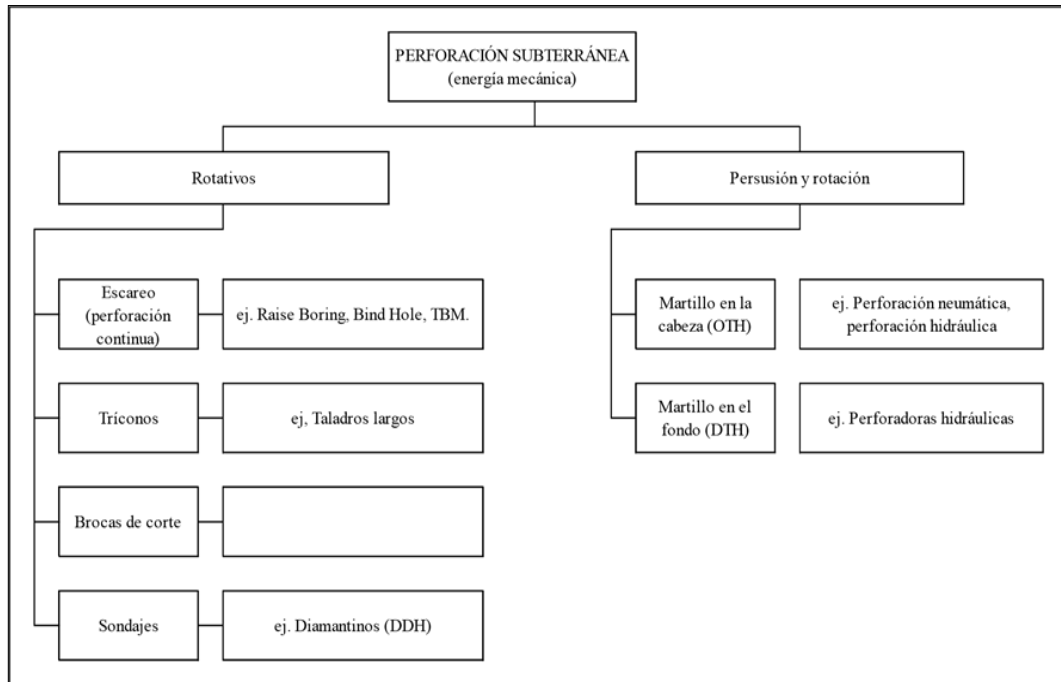
### ***2.2.3. Métodos de perforación más usados en minería***

Los métodos que más se utilizan en la minería subterránea son básicamente los rotativos, que corresponde a la rotación, y los rotopercutivos, corresponden a la rotación y percusión. Estos métodos trabajan por medios mecánicos de golpeo hacia la roca utilizando energía; mecánica (manual), eléctrica, neumática (aire comprimido) e hidráulica (aceite comprimido).

Los métodos rotativos se clasifican en dos sistemas, unos que trituran la roca y son de resistencia media a alta, como el Trícono; y otros por corte de forma cilíndrica de rocas aplicadas a rocas de resistencia suave, como los sondeos diamantinos.

Los métodos rotopercutivos son los más empleados en casi cualquier tipo de roca y además se dividen en dos sistemas, martillo de cabeza (DTH) y martillo de fondo (OTH). En la figura 03 se observa la clasificación de los métodos o sistemas de perforación aplicadas en minería subterránea.

**Figura 3.**  
Sistemas de perforación más usados en minería Subterránea



Fuente: Reategui, 2015.

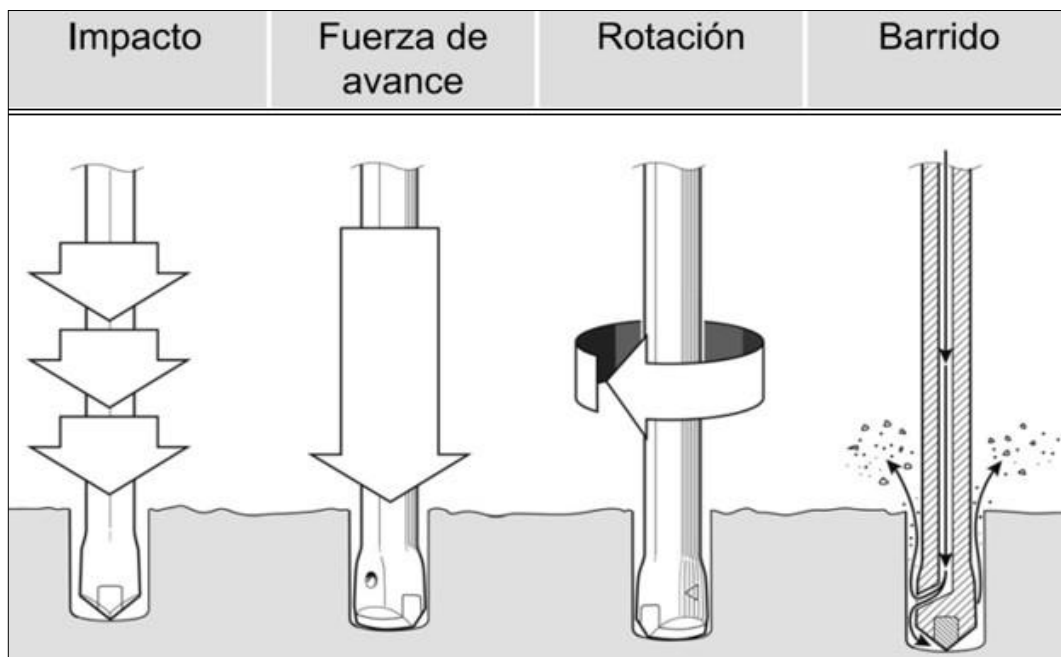
#### **2.2.4. Principios de la perforación rotopercutiva**

El principio o fundamento de la perforación rotopercutiva, rotación y percusión, se basa en cuatro accionamientos combinados de trabajo.

Estos accionamientos (figura 04) se determinan de esta manera:

- a) Impacto o percusión. Es el golpeo del pistón que origina ondas de choque a través del varillaje, desde la culata del varillaje hasta su respectiva boca.
- b) Fuerza de avance. Es el empuje que mantiene en contacto el varillaje o sarta de perforación con la roca a romper.
- c) Rotación. Es el giro de la boca a través del varillaje para producir la rotura de la roca en distintos puntos o posiciones.
- d) Barrido. Es la limpieza del material molido o detritus que se acumula al fondo del taladro de perforación accionado por agua o aire.

**Figura 4.**  
*Principios de perforación rotopercutiva*



Fuente: EPIROC, 2020.

Como se mencionó anteriormente, el principio de percusión se inicia con el impacto del pistón generando una energía según el Instituto Geológico Minero de España determinan que:

La Energía cinética ( $E$ ) del pistón se transmite desde el martillo hasta la boca de perforación, a través del varillaje, en forma de onda de choque. El desplazamiento de esta onda se realiza a alta velocidad y su forma depende fundamentalmente del diseño del pistón. Cuando la onda de choque alcanza la boca de perforación, una parte de energía se transforma en trabajo haciendo penetrar el útil y el resto se refleja y retrocede a través del varillaje.

La eficiencia de esta transmisión es difícil de evaluar, pues depende de muchos factores tales como: el tipo de roca, la forma y dimensión del pistón, las características del varillaje, el diseño de la boca, etc. Además, hay que tener en cuenta que en los puntos de unión de las varillas por medio de los manguitos existen pérdidas de energía, por flexiones y rozamiento que se transforman en calor y desgaste en las roscas.

En la primera unión las pérdidas oscilan entre 8 y 10 % de la energía de onda de choque [...]. En estos sistemas de perforación la

potencia de percusión es el parámetro que más influye en la velocidad de penetración (IGME, 2015).

Por lo tanto, la Energía cinética ( $E$ ) liberada por el impacto del martillo de una perforadora rotopercutiva se puede representar en la siguiente expresión.

$$E_c = \frac{1}{2} m_p \cdot V_p^2 \text{ o } E_c = P_m \cdot A_p \cdot I_p$$

[1]

Donde:

$P_m$  es la presión del fluido de trabajo dentro del cilindro.

$A_p$  es el área de la cara del pistón.

$I_p$  es la carrera del pistón.

$m_p$  es la masa del pistón.

$V_p$  es la velocidad máxima del pistón

Además, según el IGME, indica que: “En martillos hidráulicos, los fabricantes facilitan la energía de impacto, pero en los martillos neumáticos no sucede así; en este último se debe tener en cuenta que la presión del fluido dentro del cilindro está a un 30 a 40 % menor que en el compresor, debido a las pérdidas de carga y expansión de aire al desplazarse el pistón”. (IGME, 2015, p. 06)

$$P_M = Ec \cdot ng$$

[2]

Donde:

ng se expresa de la siguiente forma:

$$ng = k \cdot \left[ \frac{Pm \cdot Ap}{mp \cdot Ip} \right]^{1/2}$$

[3]

Entonces, reemplazando ng y sustituyendo la expresión [1], la expresión [2] se presenta de la siguiente forma:

$$P_M = Ec \cdot ng$$

$$P_M = P \cdot Ap \cdot Ip \cdot k \cdot \left[ \frac{Pm \cdot Ap}{mp \cdot Ip} \right]^{1/2}$$

$$P_M = k \cdot [Pm \cdot Ap]^2 \cdot \left( \frac{Ip}{mp} \right)^{1/2}$$

[4]

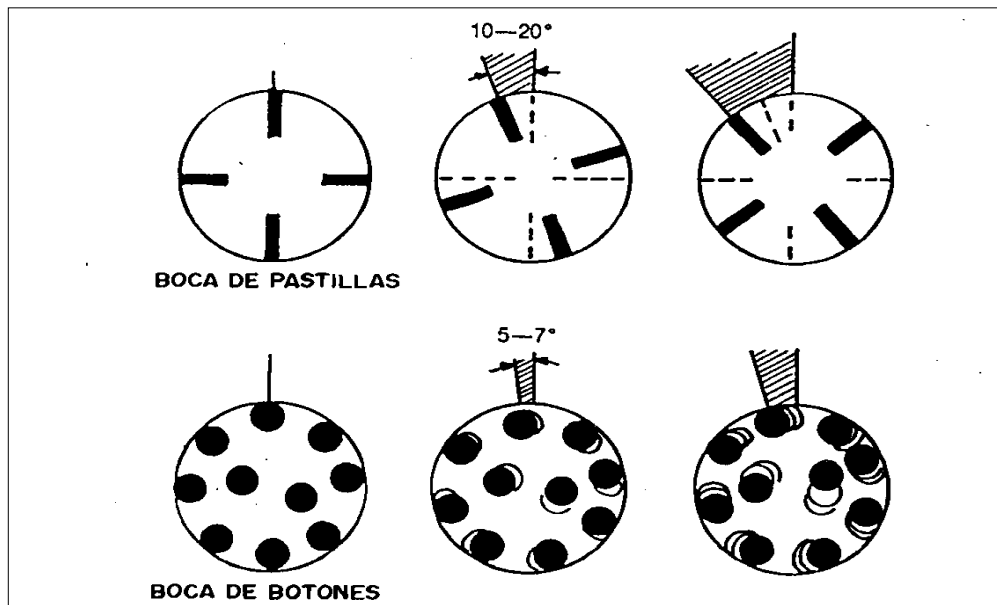
El mecanismo de percusión consume de 80 a 85 % de la potencia total del equipo rotopercutivo. El mecanismo del principio de rotación en equipos rotopercutivos, según IGME, relata lo siguiente:

La rotación, que hace girar la boca (broca) entre impactos sucesivos, tiene como misión hacer que ésta actúe sobre puntos

distintos de la roca en el fondo del barreno. La velocidad de rotación está en función al tipo de roca y cada una tiene su velocidad optima de rotación.

Cuando se perfora con bocas de pastillas las velocidades de rotación más usuales oscilan entre 80 y 150 r.p.m. con un ángulo de indentación de 10 a 20°; por otro lado, en bocas de botones las velocidades oscilan de 40 a 60 r.p.m. (diámetro de la boca de botones de 51 a 89 mm) que proporcionan ángulos de giro de 5 a 7°. (IGME, 2015, p. 06).

**Figura 5.**  
*Velocidad de rotación para bocas de pastillas y botones*



Fuente: Instituto Geológico y Minero de España, 2015.

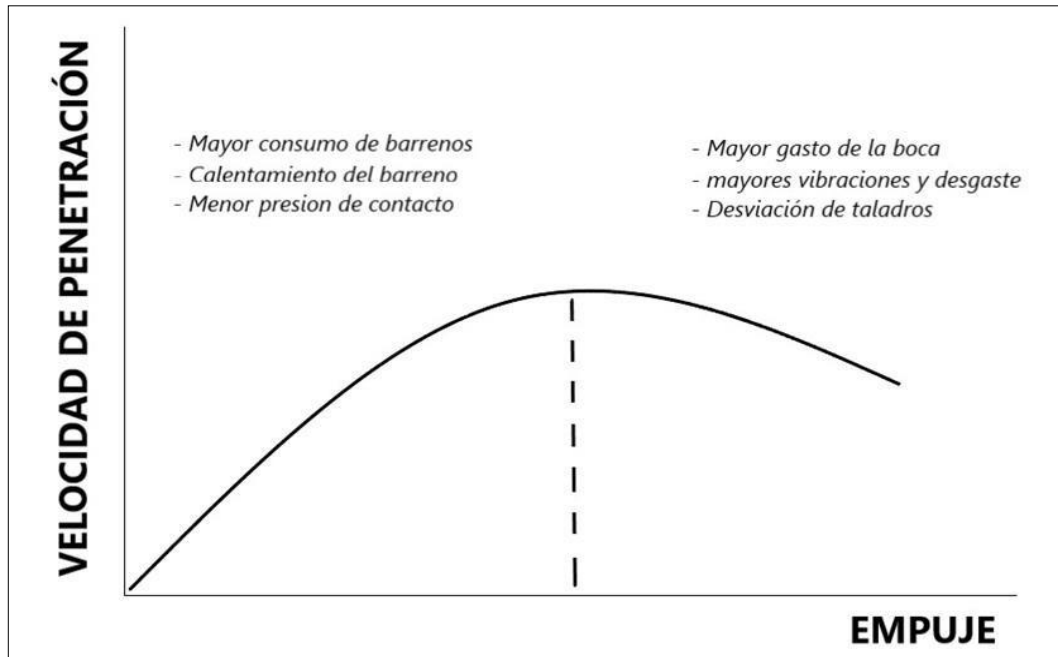
En la figura 05, se muestra las velocidades de rotación, según el ángulo de indentación, para bocas de pastillas y botones descrito anteriormente.

### **2.2.5. Principio de empuje**

El empuje se relaciona a la fuerza de avance del mecanismo del equipo perforador. Este principio ocurre de la siguiente manera:

La energía generada por el mecanismo de impactos del martillo debe transmitirse a la roca, por lo que es necesario que la boca se encuentre en contacto permanente con el fondo del barreno. Esto se consigue con la fuerza de empuje suministrada por un motor o cilindro de avance, que debe adecuarse al tipo de roca y boca de perforación. Un empuje insuficiente genera: reducción de la velocidad de penetración, mayor desgaste de varillas y manguitos, menor presión de contacto, y calentamiento del mismo; mientras que un empuje excesivo genera: disminuye también la velocidad de penetración, aumenta el desgaste de la boca, dificulta el desenroscado del varillaje, mayor vibración en el equipo, y la desviación de los barrenos. (IGME, 2015, p. 07).

**Figura 6.**  
*Influencia del empuje o presión de avance sobre la velocidad*



Fuente: Instituto Geológico y Minero de España, 2015.

Por otro lado, la variable de rotación y la de empuje no influye de manera decisiva sobre las velocidades de penetración. En la figura 06 se puede apreciar la influencia del empuje sobre la velocidad de penetración.

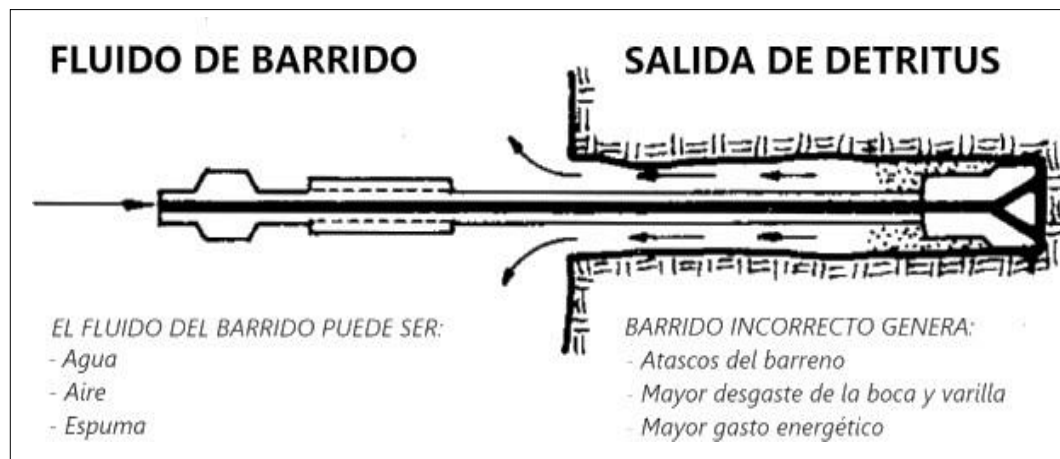
### **2.2.6. Principio de barrido**

El barrido o limpieza del material molido (detritus) debe tener una adecuada presión de fluido, así como su caudal. Este principio proporciona lo siguiente:

Para que la perforación resulte eficaz, es necesario que el fondo de los barrenos se mantenga constantemente limpio evacuando el detritus justo después de su formación. Si esto no se realiza, se consumirá una gran cantidad de energía en la trituración de esas partículas, produciéndose un desgaste y pérdida de rendimientos, además del riesgo de atascamiento del barreno. El barrido de los barrenos se realiza con un fluido de aire, agua, o espuma que se inyecta a presión hacia el fondo a través de un orificio central del varillaje y de unas aberturas practicadas en las bocas de perforación.

En la figura 7 se observa el mecanismo de barrido y los factores determinantes que influyen en este.

**Figura 7.**  
*Principio de barrido de un barreno*



Fuente: Instituto Geológico y Minero de España, 2015.

El barrido con aire se utiliza en perforaciones a cielo abierto donde el polvo puede eliminarse mediante captadores. El barrido con agua es más utilizado en trabajos subterráneos, que sirve además para suprimir el polvo, pero que origina una pérdida de rendimiento del 10 al 20 %. El barrido con espuma se emplea como ayuda o complemento al aire para ejercer un efecto de sellado sobre las paredes de los barrenos cuando atraviesa materiales sueltos. (IGME, 2015, p. 07)

La velocidad de agua (velocidad ascensional) deben estar entre los rangos de entre 0,4 a 1,0 m/s con presiones de entre 0,7 a 1,0 Mpa. Además, IGME menciona que: “En el caso del aire, con martillos de cabeza, no es frecuente disponer de un compresor de presión superior

únicamente para el barrido. Solo en el caso de los martillos de fondo se utilizan compresores de alta presión de 1,0 a 1,7 Mpa porque además de servir para evacuar el detritus se aumenta la potencia de percusión”. (IGME, 2015, p. 08).

La velocidad de aire eficiente oscila entre 15 a 30 m/s. las velocidades mínimas se pueden estimar a través de la siguiente expresión.

$$V_a = 9,55 \cdot \left[ \frac{Pr}{Pr+1} \right] \cdot (dp)^{0,6} \quad [4]$$

Donde:

Va es la velocidad ascensional en m/s

Pr es la densidad de la roca en g/cm<sup>3</sup>

dp es el diámetro de partículas en mm

Para el cálculo del caudal suministrado por el compresor, esta deberá ser de la siguiente manera:

$$Q_a = Va \cdot \left[ \frac{D^2 - d^2}{1,27} \right] \quad [5]$$

Donde:

Qa es el caudal en m<sup>3</sup>/min.

D es diámetro del barreno o boca en m.

D es el diámetro de la varilla en m.

### 2.2.7. Perforación con martillo de cabeza

Es el más clásico o convencional, aunque anteriormente se utilizaba con mayor frecuencia con martillos con energía neumática, pero fueron opacados por la entrada de equipos de martillo de fondo y equipos rotativos; sin embargo, surgieron también los martillos con energía hidráulica que complementan y amplían su campo de aplicación (Instituto Geológico y Minero de España, 2015). En la figura 8, se muestra la diferencia de los métodos convencionales de perforación de rocas.

**Figura 8.**

*Método de perforación de rocas*



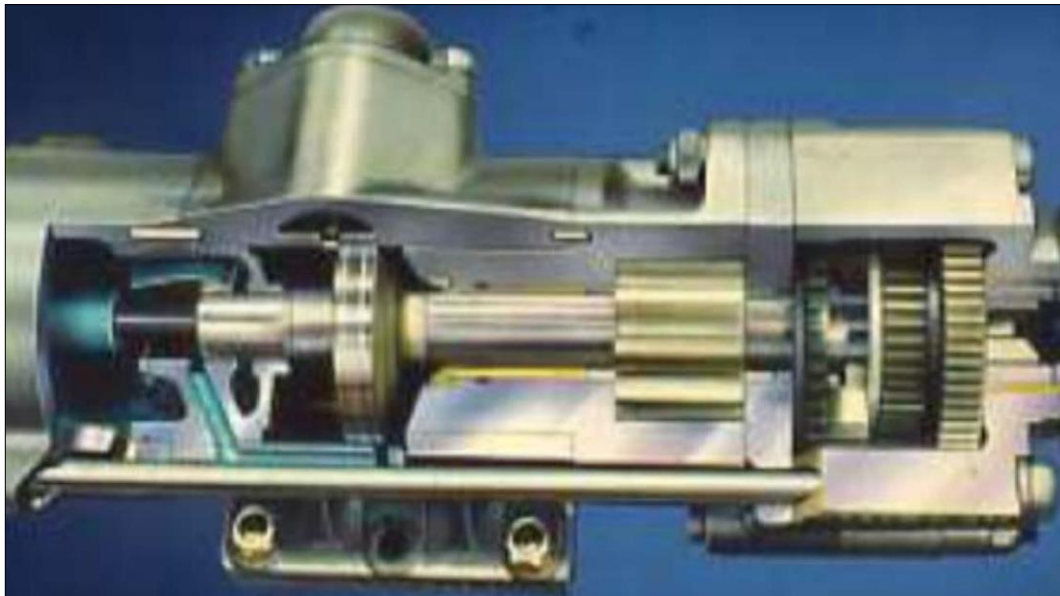
Fuente: Instituto Geológico y Minero de España, 2015.

### **2.2.7.1. Perforadoras neumáticas**

Son perforadoras, usualmente, trabajadas mediante aire de 7 a 8 bares de presión máxima. La energía transmitida por el pistón es grande y está en función a: la presión efectiva, área del pisto, y su longitud o carrera del pistón. El perfil longitudinal del pistón tiene forma de "T", como se puede ver en la figura 9.

El empuje lo proporciona el motor de avance o cilindro de avance, que a su vez acciona una cadena que va enganchado el martillo deslizándose sobre el bastidor. Todo el equipo queda normalmente montado sobre un chasis como fuente portadora que ayuda a la sujeción y movimiento más oportuno de la máquina (Bernaola, J., 2010).

**Figura 9.**  
*Perfil longitudinal del martillo de cabeza neumático*



Fuente: Bernaola et al., 2015.

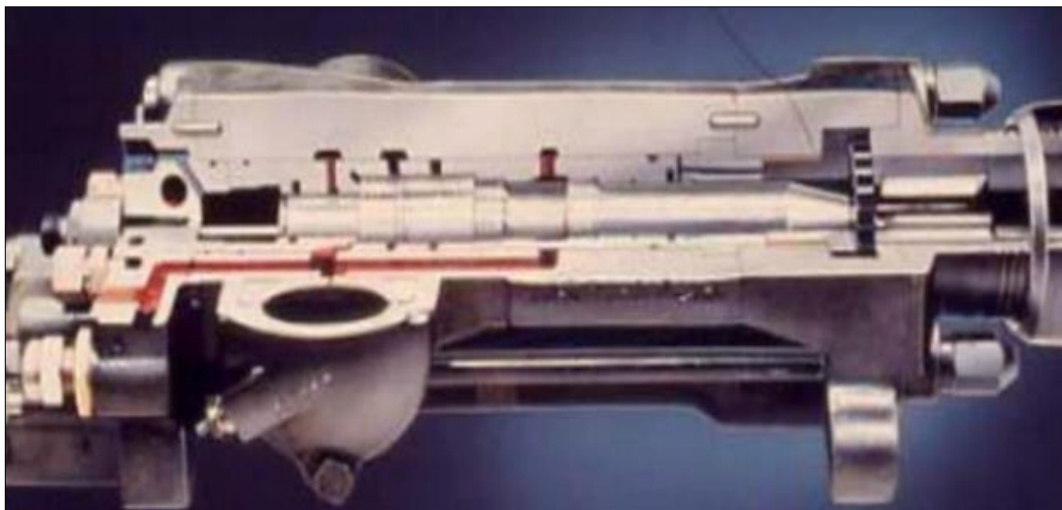
La energía principal de funcionamiento del equipo es el aire comprimido; suministrado por un compresor mediante una manguera con una distancia aproximada de 20 a 40 metros de manguera para evitar la pérdida de eficiencia de presión de aire y caudal (Bernaola, et al., 2015).

#### **2.2.7.2. Perforadoras hidráulicas**

Las perforadoras de martillo de cabeza hidráulico funcionan con aceite hidráulico de presiones de 100 a 250 bar. La presión del aceite que ejerce tiene una diferencia superior con el aire comprimido de unos 15 a

30 veces, por esto el área del pistón del martillo hidráulico es pequeño de forma casi rectangular como se ve en la figura 10 (Bernaola, J., 2010).

**Figura 10.**  
*Perfil longitudinal del martillo de cabeza hidráulico*



Fuente: Bernaola et al., 2015.

### **2.2.8. Diferencias técnicas entre perforadoras**

Además de la fuente de energía utilizada con aire comprimido, perforadoras neumáticas, y aceite comprimido, perforadoras hidráulicas, Bernaola, et, al. mencionan que:

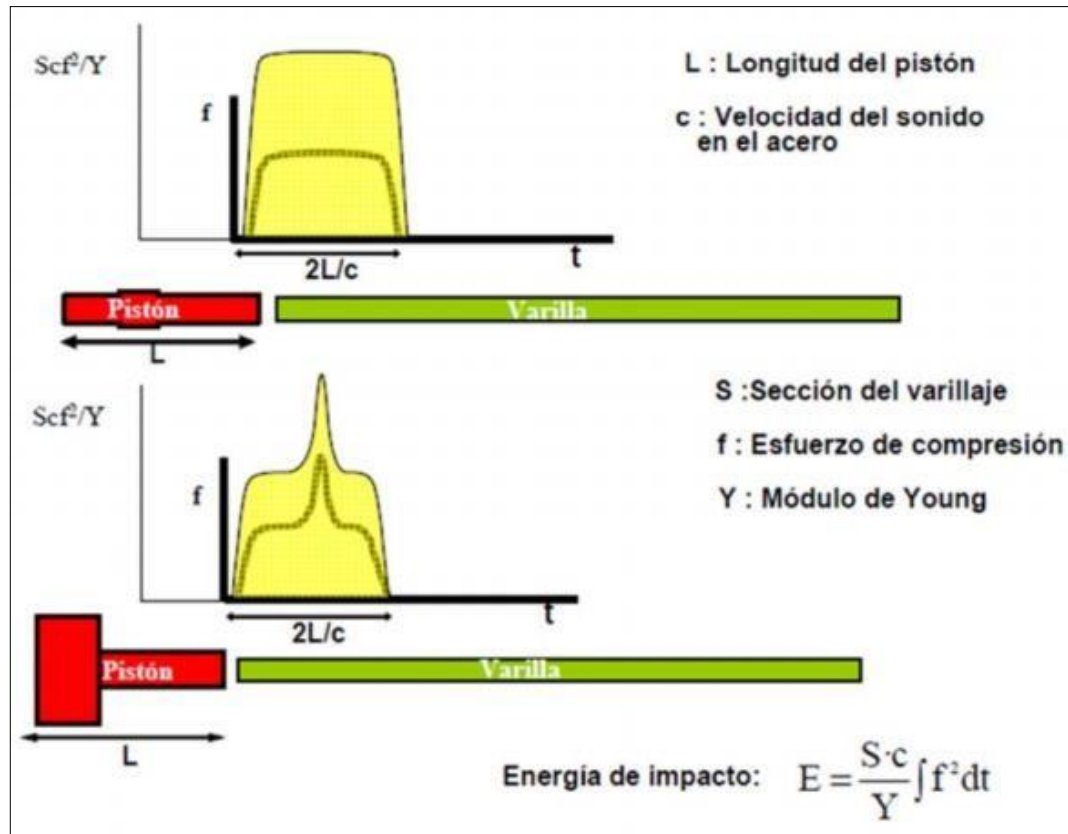
El pistón hidráulico, por su forma geométrica, distinta del pistón de martillo neumático, genera una onda de tensión sobre el varillaje diferente. Se trata de una onda de forma escalonada y del periodo

2Lc, cuyo primer escalón de los martillos hidráulico tiene una forma prácticamente rectangular, mientras que en los neumáticos presenta un pico, originando justamente por la parte más ancha del pistón.

De la figura, si se presentara en ordenadas el cociente  $\frac{Sc \cdot f^2}{y}$  en vez de la magnitud  $f$ , se tendría otras nuevas curvas similares a las anteriores y, de acuerdo con la expresión de la energía de impacto, ésta vendría representada por el área comprendida entre las nuevas curvas y el eje de abscisas.

De esta manera, un martillo hidráulico, puede conseguirse una mayor energía de impacto, siendo el esfuerzo ejercido por el varillaje incluso menor. de esta manera puede aplicarse de un 50 a un 100 % más de potencia de percusión sobre el varillaje sin incrementar la fatiga del mismo. Este aumento de potencia permite perforar más rápidamente o lo que es más interesante aún, incrementar el diámetro de perforación con una sustancial mejora de producción. (pp, 19 y 20).

**Figura 11.**  
 Comparación de la onda de compresión en martillos



Fuente: Bernaola et al., 2015.

Las perforadoras de martillo de cabeza hidráulico funcionan con aceite hidráulico de presiones de 100 a 250 bares. La presión del aceite que ejerce tiene una diferencia superior con el aire comprimido de unos 15 a 30 veces, por esto el área del pistón del martillo hidráulico es muy pequeño de forma casi rectangular como se aprecia en la figura 11 (Bernaola, J., 2010).

**Tabla 2***Comparativo de equipos del sistema de acarreo*

<b>Características Medias de Martillos Neumáticos</b>		
<b>Característica técnica</b>	<b>Unidad</b>	<b>Parámetro</b>
Relación Diam. Pistón/Diam. Barreno	Adimensional	1,5 - 1,7
Carrera del pistón	mm	50 - 95
Frecuencia de golpeo	golpes/min	1 500 - 2 800
Velocidad de rotación	r.p.m.	40 - 400
Consumo relativo de aire (cm. diámetro)	m <sup>3</sup> /min	2,1 - 2,8
<b>Características Medias de Martillos Hidráulicos</b>		
<b>Características técnicas</b>	<b>Unidad</b>	<b>Parámetro</b>
Presión de trabajo	MPa	12 - 25
Potencia de impacto	KW	6 - 20
Frecuencia de golpeo	golpes/min	2 000 - 5 000
Velocidad de rotación	r.p.m.	0 - 500
Par máximo (torque o momento)	Nm	100 - 1 800
Consumo relativo de aire (cm. diámetro)	m <sup>3</sup> /min	0,6 - 0,9

Fuente: IGME, 2015.

Las características de las perforadoras neumáticas versus las hidráulicas poseen cada una sus datos técnicos de operación, algunos de estos datos técnicos comparativos se presentan en la tabla 2. Donde se puede apreciar frecuencia de golpeo y velocidad de rotación son mayores en el martillo hidráulico y por consecuencia poseen mayor rendimiento. Los martillos hidráulicos poseen múltiples beneficios a comparación de los

neumáticos, aunque también los martillos neumáticos poseen sus particularidades del mismo.

### **2.2.9. Elección de una perforadora hidráulica**

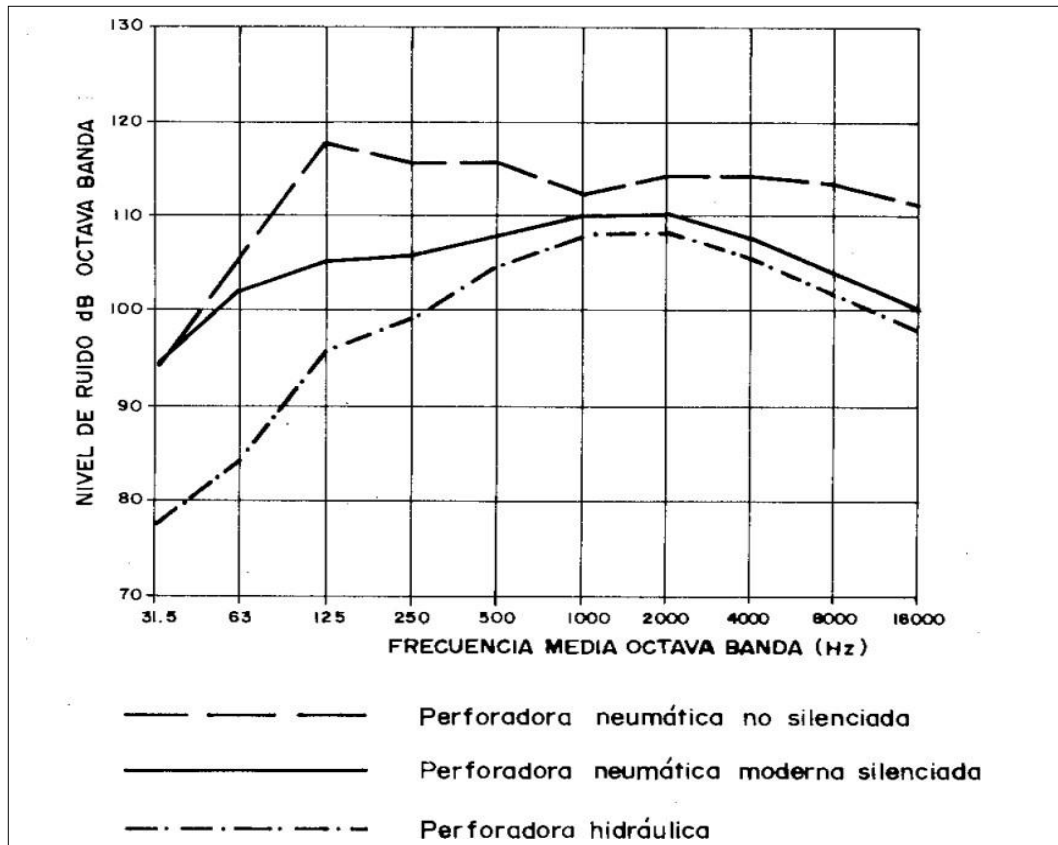
Existen razones por el cual la elección de una perforadora hidráulica posee muchas ventajas sobre las neumáticas, una de las cuales supone una mejor tecnología; esto se puede apreciar según lo detalla IGME, que:

- a) Menor consumo de energía: trabajan con presiones muy elevadas y caída de presión mucho menores. Esto hace que se trabaje la energía con mayor eficiencia; es decir, de 1/3 de la energía neumática.
- b) Menor costo de accesorios de perforación: la energía transmitida por los pistones hidráulicos es más alargados y de menor diámetro que los neumáticos; esto permite menores fatigas en el varillaje, pues la onda de choque es mucho más limpia y uniforme donde se producen niveles de tensión muy elevados que originan la fatiga del acero y una serie de ondas secundarias de bajo contenido energético. La vida útil del varillaje se aumenta en un 20 % en las perforadoras hidráulicas.
- c) Mayor capacidad de perforación: debido a una mejor transmisión de energía y forma de la onda, las velocidades de penetración (velocidad

de perforación en la roca) son de un 50 a un 100 % en equipos hidráulicos en base a los neumáticos.

- d) Mayor elasticidad de la operación: por su tecnología, la versatilidad del equipo hace que se pueda maniobrar los parámetros de presión de trabajo, frecuencia de percusión, etc. accionado por el sistema.
- e) Mayor facilidad para la automatización: son mucho más aptos para la automatización de operaciones, tales como el cambio de varillaje, mecanismo anti-atranque, entre otros.
- f) Mejores condiciones ambientales: los niveles de ruido de los martillos hidráulicos son menores que los neumáticos, debido a la ausencia de escape de aire. Por otro lado, no producen niebla de agua y aceite en el lugar del frente de trabajo, mejorando el ambiente y visibilidad del operario. Finalmente, los martillos hidráulicos poseen un diseño más ergonómico que los neumáticos, haciendo que las condiciones de trabajo y de seguridad sean mucho más favorables.

**Figura 12.**  
*Comparación de niveles de ruido por martillos*



Fuente: Menéndez, 1987.

A continuación, se muestra en la figura 12 los niveles de ruido accionados por los equipos de perforación neumático e hidráulico. En ésta se puede apreciar que los niveles de ruido producido por la perforadora hidráulica son menores que las neumáticas tanto una convencional y una moderna.

También existen algunos inconvenientes a cerca de la utilización de los martillos o equipos de perforación hidráulicos; el IGME, refiere a esto que: “Los equipos hidráulicos poseen una mayor inversión inicial sobre los neumáticos; además, las reparaciones son más complejas y costosas que en las perforadoras neumáticas, requiriéndose una mejor organización y formación del personal de mantenimiento”. (IGME, 2015, p. 11)

#### ***2.2.10. Perforadoras con equipos manuales convencionales***

Los equipos de perforación manuales se refieren a trabajos de manera convencional en pequeña minería y minería artesanal, comúnmente. Existen distintos tipos de perforadoras en minería convencional y estos están en función al tipo de trabajo, dirección de la perforación, fuente de energía utilizada, condiciones de trabajo, entre otros. Los equipos principalmente conocidos en minería convencional subterránea son las perforadoras Jack Leg, Stoper, y Jack Hamer.

Existen también otros equipos similares que, de acuerdo al tipo de trabajo, producción, economía, entre otros, son básicamente alternativos según la elección, se menciona brevemente las respectivas descripciones.

En la tabla 3, se observa las diferencias de los equipos mencionados en cuanto a sus características de trabajabilidad.

**Tabla 3**  
*Diferencia de equipos manuales convencionales*

<b>Equipos</b>	<b>Dirección de trabajabilidad</b>	<b>Energía consumida</b>	<b>Mecanismo de trabajo</b>	<b>Aplicaciones</b>
<b>Jack Leg</b>	Horizontales Inclinados Verticales	Neumática Hidráulica	Rotopercutiva	Minería subterránea - Galerías - Chimeneas - Piques - Realces - Cortadas Obras civiles - Túneles - Movimiento de tierras
<b>Stoper</b>	Vertical ascendente Inclinados verticales	Neumática	Rotopercutiva	Minería subterránea - Chimenea - Inclinados
<b>Jack Hammer</b>	Vertical descendente Inclinados verticales	Neumática	Rotopercutiva	Minería subterránea - Piques - Inclinados
<b>Pick Hammer</b>	Vertical descendente Inclinados verticales	Neumática Eléctrica	Percutiva	Minería superficial - Bolones - Ampliaciones Obras civiles - Zanjas
<b>Perforadora Eléctrica</b>	Horizontales Inclinados Verticales	Eléctrica	Rotativa	Minería artesanal - Cortadas - Frentes pequeños - Vetas pequeños Obras civiles - Muros de cimentación - Aplicación diversa

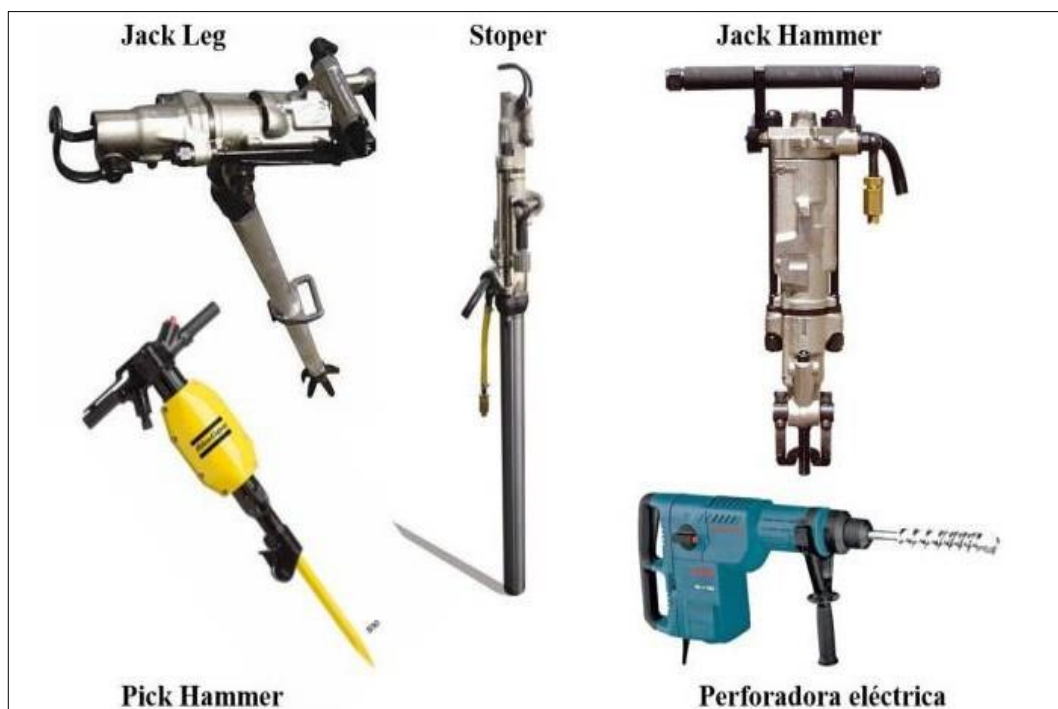
Fuente: IGME, 2015.

- a) Jack Leg, equipos usados en minería convencional por su gran versatilidad para frentes de trabajo como galerías, chimeneas, piques, túneles, entre otros. Equipos rotopercutivos con fuente de energía utilizan el aire comprimido. Por su diseño posee una barra de avance que acciona el empuje del varillaje de avance hacia la roca sostenida por el equipo.
- b) Stoper, equipo similar a perforadora Jack Leg en cuanto al uso de suministro de energía neumática y de mecanismo rotopercutivo, a diferencia de la Jack Leg, la barra de avance está sujeta al perforador de manera rígida. Se utiliza en chimeneas, inclinados ascendentes y realces. Posee menor costo y mejor maniobrabilidad en trabajo ascendentes que el equipo Jack Leg.
- c) Jack Hammer, Utilizados en la construcción de piques e inclinados verticales de manera descendente, con fuente de energía neumática y sin barra de avance. Este equipo también puede ser reemplazado por la perforadora Jack Leg en minería subterránea; sin embargo, su aplicación es mayor en minería superficial y obras civiles.
- d) Pick Hammer, similares a Jack Hammer en prototipo con diferencias en mecanismo de trabajo que funciona a percusión, con fuente de

energía de manera eléctrica. El varillaje es un cincel que trabaja para romper bolones, concreto, perfilaciones entre otros.

- e) Perforadoras eléctricas; son versátiles como equipo Jack Leg de baja potencia y menor producción. Equipos pequeños y ligeros utilizados en minería artesanal y obras civiles. La energía eléctrica es su fuente de trabajo y tiene limitaciones en varillaje de forma de tornillo con un alcance máximo de 100 cm.

**Figura 13.**  
*Equipos de perforación en minería convencional*



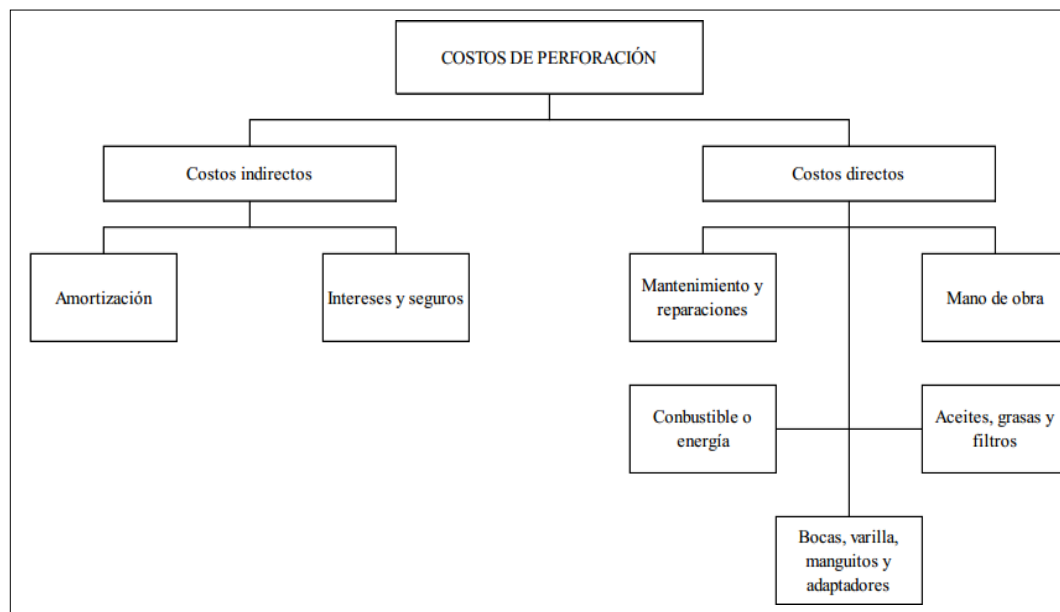
Fuente: Menéndez, 1987.

## 2.2.11. Centro de costos

### 2.2.11.1. Costos de perforación

Los costos de perforación a menudo son los relativamente altos en comparación a las otras etapas del ciclo de minado. Estos costos se evalúan de manera directa o indirecta; es decir, los costos que implican en la operación vienen a ser costos directos, mientras que los costos de compra o adquisición y obligaciones tributarias tienden a ser los costos indirectos. En la figura 14, se observa un diagrama de costos directos e indirectos de perforación.

**Figura 14.**  
*Costos directos e indirectos de perforación*



Fuente: Menéndez, 1987.

### 2.2.11.2. Costos de amortización

Los costos de amortización ( $CA$ ) están en función a dos factores; la pérdida de valor y deterioro por uso, y la pérdida producto del paso del tiempo. Este costo se calcula mediante la siguiente expresión.

$$C_A = \frac{PA - V_r}{V_{\text{útil}}}$$

[6]

Donde:

$PA$  es el precio de adquisición en USD.

$V_r$  es el valor residual en USD.

$V_{\text{útil}}$  es la vida útil en hr.

### 2.2.11.3. Costos de intereses, seguros e impuestos

Los costos de intereses, seguros e impuestos ( $CI$ ) se calculan con la siguiente expresión:

$$C_I = \frac{\left[ \frac{N+1}{2N} \right] \cdot [PA] \cdot [(I + S + i)\%]}{HT}$$

[7]

Donde:

PA es el precio de adquisición en USD.

HT es la hora de trabajo al año.

N es el número de años de vida.

I es la tasa de interés en %.

S es el seguro en %.

i es el impuesto en %.

#### **2.2.11.4. Costos de mantenimiento y reparaciones**

Los costos de mantenimiento y reparaciones (*CM*) incluyen el mantenimiento preventivo y averías, se determina mediante la siguiente expresión.

$$C_M = \frac{PE \cdot [(FR)\%]}{1\ 000}$$

[8]

Donde:

PE es el precio del equipo en USD.

FR es el factor de reparación.

**Tabla 4***Factor de reparación de repuestos en equipos neumáticos*

<b>Equipos Neumáticos</b>		<b>Factor de Reparación</b>	<b>Energía consumida</b>
Carro sin perforadora	Martillo en cabeza	4 - 6	8 - 12
	Martillo en fondo	3 - 5	6 - 10
<b>Perforadora</b>	Martillo en cabeza	6 - 10	12 - 20
	Martillo en fondo	8 - 12	16 - 24
Martillo Manual		6 - 10	12 - 20
Compresor portátil		2 - 3	4 - 6

Fuente: IGME, 2015.

Se presenta la tabla 6, donde se muestra el Factor de Reparación de los equipos neumáticos tanto solo en repuestos y, por otro lado, repuestos más mano de obra.

#### **2.2.11.5. Mano de obra**

En los costos de mano de obra (*CO*) se determinan el costo horario del perforista, que incluyen gastos sociales, vacaciones, entre otros. También se incluye a los ayudantes cuando el trabajo lo amerite.

#### **2.2.11.6. Costos de combustible o energía**

Los costos de combustible o energía (*CE*) se calcula a partir de las especificaciones técnicas de los motores que monte la máquina y el compresor que pueden ser de diésel o eléctricos. En el tipo diésel se aplica la siguiente expresión.

$$CE = 0,30 \cdot PO_{kw} \cdot FC \cdot Pc \text{ ó } CE = 0,22 \cdot PO_{hp} \cdot FC \cdot Pc$$

[9]

Donde:

PO<sub>kw</sub> es la potencia en Kw.

PO<sub>hp</sub> es la potencia en HP.

FC es el factor de combustible que oscila entre 0,65 a 0,85.

Pc es el precio del combustible en USD/gal

#### **2.2.11.7. Costos de aceites, grasas y filtros**

Los costos de aceites, grasas y filtros (*CL*) se estima como un porcentaje de consumo de energía que oscila normalmente desde 10 hasta el 20 % de las máquinas.

#### **2.2.11.8. Costos de bocas, varillas, y accesorios de la máquina**

Los costos de accesorios ( $CB$ ) se calculan a partir de los costos consumidos de cada máquina. Estos costos son los más importantes porque implican deterioros de los elementos de alta rotación o consumo.

#### **2.2.11.9. Costos totales de perforación**

Los costos totales de perforación ( $CT$ ) se calculan a partir de los costos consumidos de cada máquina. Estos costos son los más importantes porque implican deterioros de los elementos de alta rotación o consumo.

$$CT = \frac{CA + CI + CM + CO + CE + CL}{VM} + B$$

[9]

Donde:

CT es el costo total de perforación.

VM es la velocidad media de perforación.

CA es el costo de amortización.

CI es el costo de intereses, seguros e impuestos.

CM es el costo de mantenimiento y reparaciones.

CO es el costo de mano de obra.

CE es el costo de energía.

CL es el costo de aceites, grasas y filtros.

### **2.2.12. Unidad Productiva “El Dorado”**

La Unidad Productiva “El Dorado”, ubicado en la provincia de Camaná, departamento de Arequipa, aplica el método de corte y relleno ascendente en estructuras angostas empleando equipos de perforación manual neumática, donde se observa puntos de mejora en la productividad, competitividad e incremento de la producción, permitiendo buscar una tecnología aplicada que brinde mejores oportunidades en los resultados, optimizando los tiempos de trabajo, mejorando la eficiencia y lograr una mejor seguridad operativa en la explotación.

En vanguardia con la tecnología que hoy tenemos diseñados para la explotación de vetas angostas, se propone la aplicación de la perforadora manual hidráulica HRD100, esperando mejorar los resultados óptimos frente a las perforadoras convencionales, en este desafío de la competitividad constante de estos equipos, surge entonces la necesidad de elaborar un proyecto de aplicación e incorporación de la nueva

propuesta en las operaciones de la Unidad Productiva “El Dorado”, que nos permita alcanzar las futuras producciones trazadas.

#### **2.2.12.1. Geología y mineralización**

La geología está conformada por vetas angostas y medianas emplazadas dentro del paquete intrusivo del batolito de la costa peruana, teniendo sus respectivas variaciones, desde intrusivos faneríticos como granodioritas, dioritas de grano medio y paquetes de sub volcánicos con pórfidos andesíticos. La estructura pertenece a un yacimiento epitermal de baja sulfuración con alcance mesotermal, emplazadas en rocas intrusivas a sub volcánicas.

El potencial aurífero de cada veta es variable debido a la irregularidad de leyes, la característica principal de las vetas es la formación cimoides de pequeño y gran tamaño con estructuras menores como tensionales, otras de las características son las aureolas de alteración propilítica e intensa cloritización en las cajas cercanas a las vetas y aureolas de alteración mayores en las intersecciones de los cimoides. Las vetas destacan por su contenido en cobre y oro, con valores

subordinados de plata, a su vez se encuentran vetas de cuarzo sericita con alto contenido de oro.

La mineralización de las vetas está constituida por minerales de cobre como calcosina, calcopirita, covelina, cuprita, malaquita y crisocola. El oro se encuentra incrustado en cuarzo, y como inclusiones en la pirita y la cuprita. Los minerales de ganga son el cuarzo, yeso, calcita, pirita, limonita, hematita, oligisto y óxido de manganeso.

En la superficie las vetas destacan por su alto contenido de óxido de hierro y cobre, a medida que profundizan la presencia de sulfuros se incrementan.

#### **2.2.12.2. Caracterización geomecánica**

Para la caracterización se realiza un marco de un metro cuadrado en el macizo rocoso, considerando la orientación de las discontinuidades para que ésta nos arroje la mayor información posible. Posteriormente se identifica el número de fracturas que existen, considerando la apertura y persistencia de fracturas.





y avanzando hacia arriba. El mineral fragmentado es cargado y extraído del tajo operativo, cuando la tajada ha sido disparada por completo, el volumen extraído es relleno con material estéril para garantizar el soporte de las cajas, proporcionando una plataforma mientras la próxima rebanada sea minada. El material de relleno puede ser de roca estéril proveniente de las labores de desarrollo en la mina y es distribuido sobre la zona tajada.

El método es de alto costo, por lo que ofrece seguridad contra el desprendimiento de rocas, por la elevada fortificación y producción de relleno convencional. El método es muy selectivo en la operación por lo que ofrece una alta recuperación entre 85 a 90 % y adaptación en el minado, para la aplicación de método se requiere limitar el tajo.

La optimización de los recursos humanos y el mejor aprovechamiento del uso de los equipos se obtienen si no hay interrupciones significativas en cada una de las etapas del minado desde la perforación, voladura, ventilación, limpieza, extracción y relleno. Para lograrlo es importante implementar los controles operativos de la explotación por corte y relleno ascendente, obteniendo de la data procesada y analizada, las oportunidades de mejora.

## **2.3. Definición de términos**

### **2.3.1. Perforación**

Acción de realizar un agujero en la roca en minería por medio de instrumentos convencionales o mecanizados.

### **2.3.2. Perforación manual**

Se hace referencia al tipo de perforación realizada por medios convencionales o manuales; es decir, realizar el agujero con materiales rudimentarios como la utilización de un combo y cincel de manera percutiva o golpeo.

### **2.3.3. Perforación manual con equipo**

Esta acción se realiza con equipos neumáticos, hidráulicos y eléctricos en minería convencional a pequeña escala que corresponde a pequeña y artesanal minería, que se pueden manipular manualmente por una o dos personas, son limitados en la producción comparando con los equipos mecanizados.

#### **2.3.4. Perforador con equipo neumático**

Son equipos que utilizan como fuente de energía el aire comprimido, por lo que necesitan suministro de aire mediante un compresor.

#### **2.3.5. Perforador con equipo hidráulico**

Equipo que trabaja con aceite como fuente de energía mecánica, es más sofisticada que los equipos neumáticos, pero posee mayor eficiencia en su productividad.

#### **2.3.6. Equipo Jack Leg**

Equipo de perforación manual rotopercutivo que trabaja, como fuente de energía, con aire comprimido, es un equipo versátil que posee una barra de avance como fuente para ejecutar su empuje en trabajos horizontales, verticales e inclinados.

#### **2.3.7. Boca**

Corresponde la parte extrema de la varilla de perforación que contacta la roca para ejercer la trituración y avance del barreno de perforación. La boca puede ser en parte integral de la varilla o separada; es decir, barrenos integrales o brocas independientes sujetas al barreno.

### **2.3.8. Productividad**

En minería se refiere a la producción de trabajo o material en función a un determinado tiempo. Se pueden medir a las horas trabajadas por el colaborador o la cantidad de material producido en un tiempo dado.

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

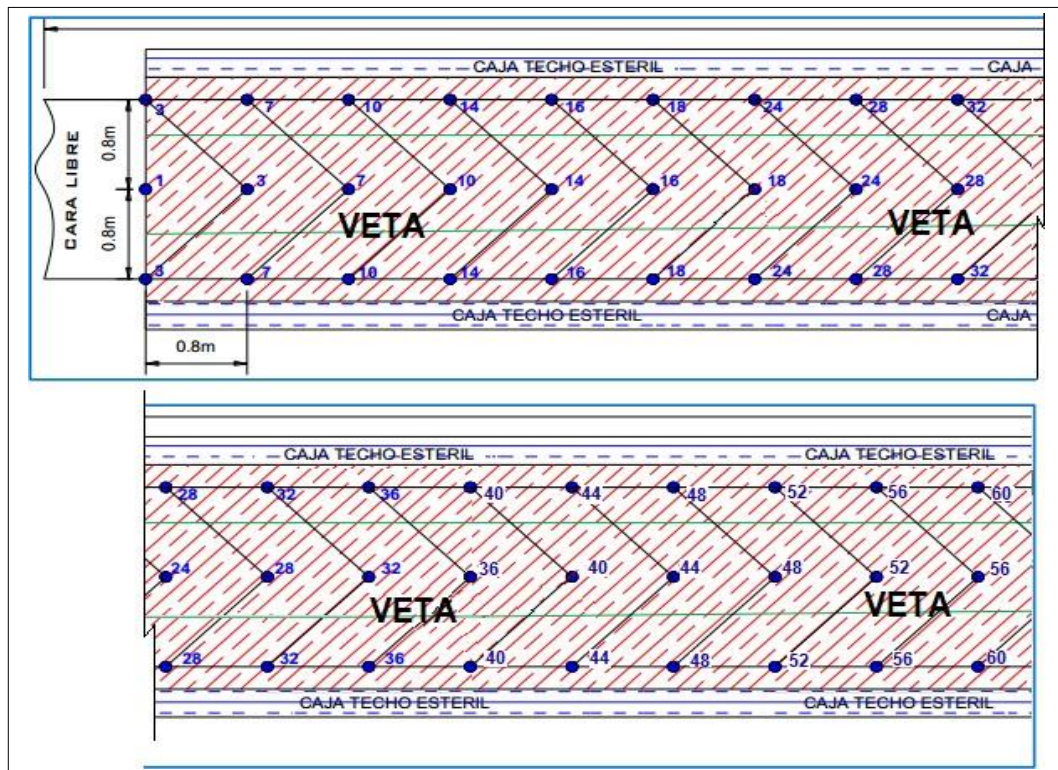
#### **3.1. Tipo y diseño de la investigación**

La investigación es de carácter no experimental, de diseño transversal correlacional, debido a que la investigación se basa principalmente en los resultados obtenidos al aplicar la nueva tecnología de perforadora manual hidráulica HRD100 en las actividades de perforación del proyecto “El Dorado”. El presente estudio se enfoca principalmente en el análisis de adquisición los equipos de perforación Jack Leg y HRD100, con la finalidad de mejorar el rendimiento de perforación del proyecto U.P. “El Dorado” desde un enfoque de producción, productividad y costos. La metodología de diseño es comparativo, correspondiente a las variables mencionadas para dar soporte y facilitar la toma de decisiones en base a los resultados operacionales de equipo de perforación. La evaluación se realizará mediante el enfoque de resultados obtenidos en la actividad de perforación, aplicando algoritmos y programas especializados de análisis, para obtener resultados realistas en las actividades que se desarrollan en la perforación del proyecto U.P. “El Dorado”.

### 3.2. Población y muestra

La población corresponde a la perforación con los equipos de perforación manual en la Unidad Productiva “El Dorado” en tajos de explotación convencional y semi mecanizada subterránea, enfocándose en la evaluación de las características técnicas de los equipos en relación a las variables de productividad y costos.

**Figura 17.**  
*Muestra frente de perforación tajo 250*



Fuente: Propia.

Mientras que la muestra, corresponde a la perforación con los equipos de perforación manual (Jack Leg) neumática e hidráulica en el Tj 250 de la Unidad Productiva “El Dorado”. En la figura 17, se observa el diseño de malla de perforación del Tj 250, donde la secuencia de perforación es adaptada a las características técnicas del equipo en base a su eficiencia y productividad observadas en el anexo 2, se observan los datos técnicos de la perforadora HRD100.

### 3.3. Equipos y herramientas

**Figura 18.**  
*Equipo perforación HRD100*



Fuente: Epiroc, 2024.

Los equipos de perforación como perforadora Jack Leg y HRD100, pie de avance hidráulico, motor de potencia hidráulico, sarta de perforación y accesorios de perforación. Herramientas como medidor de presión de agua, aire, vernier de calibración, flexómetro y cronómetro.

### **3.4. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos**

El estudio actual se investigó utilizando métodos de análisis descriptivo de variables principales a través de la observación y análisis documental.

- a) Observación, este fue el principal método para la recopilación de datos, utilizado para calcular los tiempos de perforación respecto a cada equipo de perforación. Esta técnica es parte fundamental de cualquier proceso de investigación y permite recolectar datos de campo para su posterior análisis, utilizando guías de campo.
- b) Análisis documental, los datos obtenidos en campo y las estadísticas de los KPIs se utilizaron para analizar e identificar las brechas de la producción en la actividad de perforación; la revisión de los catálogos de los fabricantes de los equipos de perforación Jack Leg y HRD100, correspondientes datos técnicos de los equipos. La obtención de los

datos mencionados nos permitirá verificar y validar los resultados de la comparación entre los equipos de perforación.

Los instrumentos de la presente investigación para las técnicas en campo, corresponden a las guías de observación, guías de análisis documental, validez y confiabilidad.

- a) Guías de observación, permite recopilar datos de campo sobre los tiempos de perforación y productividad. Los datos son analizados y procesados en el programa Excel. Las guías de observación a través de un conjunto de indicadores nos orientarán la observación del fenómeno y permitirán estudiar los aspectos relevantes.
- b) Guías de análisis documental, se utilizaron datos de campo y estadísticos, catálogos de los fabricantes para obtener información técnica sobre los equipos, lo que permitió el análisis de datos para la revisión general y las comparaciones técnicas en términos de tiempo y costos incurridos en la actividad de perforación.
- c) Guías de confiabilidad y validez, la validez del proyecto de investigación, se centra en garantizar la optimización de las herramientas utilizadas, para la confiabilidad se utilizaron datos de

gabinete y de campo para el análisis adecuado y el procesamiento posterior de los resultados del proyecto de investigación.

El procedimiento de las técnicas de recolección y análisis de datos se detallan a continuación.

- a) Etapa preliminar, inicia con la estructuración del proceso de ejecución del informe de investigación mediante antecedentes y fuentes bibliográficas, artículos, revistas, catálogos y trabajos técnicos sobre el tema propuesto para la investigación, posteriormente se procedió a programar los trabajos para la recolección de datos.
- b) Etapa de campo; con los instrumentos para la toma de datos, se procede a realizar el control de registros en el Tj 250, utilizando las técnicas de observación y los instrumentos elaborados como la guía de observación, para registrar la realidad la problemática de mejorar del ciclo operativo en la actividad de perforación, monitoreando los tiempos de la perforación, para luego analizar y procesar la etapa de gabinete. En el anexo 3 y 4, se observan los registros de control de tiempos de perforación del equipo perforadora Jack Leg y HRD100 respectivamente.

- c) Etapa de gabinete, después de recopilar todos los datos en campo utilizando el instrumento de guía de observación, la estadística de las operaciones, para alimentar a la base de datos y procesarlos con el programa Excel y SPSS, sincerando los controles identificados en campo, la información recopilada tiene como objetivo mejorar la eficiencia y productividad de la perforación previsto en el proyecto de investigación y lograr las metas establecidas.

### **3.5. Técnicas de procesamiento y análisis de datos**

Para el presente estudio, se aplicaron las siguientes técnicas de procesamiento y análisis de datos, detallados a continuación,

- a) El registro de la información de los tiempos de perforación correspondiente a los equipos Jack Leg y HRD100, corresponde a la recopilación de la información descriptiva y cuantitativa en corte del Tj 250, con el programa Excel, se logra gestionar la información de tiempos y determinar los valores promedios según la actividad de perforación realizada.
- b) Para el análisis de la influencia de los equipos de perforación Jack Leg y HRD100, se aplica la técnica de comparación de tiempos

productivos, rendimiento y costo, de los equipos a implementar que correspondería a los equipos de perforación HRD100 respecto a los indicadores de perforación del equipo Jack Leg, como base de estudio, con la finalidad de determinar la mejor selección para la mejora de la productividad de perforación de la Unidad Productiva El Dorado.

- c) Se analiza el comportamiento de las variables por medio de la estadística descriptiva, determinando el tipo de distribución de la información a procesar y la homogeneidad de varianzas, con la finalidad de dar soporte al valor promedio obtenido, y por medio del diagrama caja de bigotes, determinaremos la variabilidad de cada indicador de selección correspondiente a los equipos de perforación evaluados en el presente estudio.
- d) El análisis de resultados y contraste de hipótesis, se realizará con el programa SPSS; se aplicará la prueba t Student para el contraste de hipótesis, para determinar si se aceptará o rechazará la hipótesis alternativa de investigación, además se analizará los resultados obtenidos respecto a los antecedentes del estudio.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Resultados de la investigación

De acuerdo a los datos registrados en el estudio, se procede a determinar los indicadores de mejora del rendimiento de perforación en la Unidad Productiva El Dorado. El control de tiempos se realiza para determinar analizar el ciclo de perforación del tajo 250, en la tabla 5 se identifican las demoras operativas correspondiente a las actividades de perforación.

**Tabla 5**

*Demoras operativas de actividad de perforación*

<b>Descripción</b>	<b>Tiempo</b>
Charla de seguridad	00:30:00
Traslado a mina	00:15:00
Reparto de guardia	00:45:00
Traslado a labor	00:15:00
Inspección de labor y equipos	00:30:00
Llenado herramientas de gestión	00:20:00
Regado y desatado de rocas	00:45:00
Traslado al comedor	00:15:00
Traslado a labor	00:15:00
<b>Total</b>	<b>03:50:00</b>

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la comparación técnicas de los equipos, se procede a establecer los indicadores respecto a cada equipo de perforación. En la tabla 6, se observa los indicadores de rendimiento y productividad del equipo Jack Leg obtenidas a partir del análisis de la información recolectada del anexo 3.

**Tabla 6**  
*Datos técnicos e indicadores de perforadora Jack Leg*

<b>Datos técnicos</b>		
<b>Parámetros</b>	<b>Unidad</b>	<b>Datos</b>
Tipo de rocas		Diorita
Equipo de perforación		Jack Leg
Longitud de tajeo	m	50
Potencia de tajeo	m	1,2
Tipo de perforación		Realce
Tiempo de perforación	mm	38
Tiempo de perforación/taladro	min	00:05:38
Longitud del barreno	m	2,44
Longitud efectiva de perforación	m	2,13
Eficiencia de perforación	%	0,87
Densidad del mineral	t/m3	2,5
Burden	m	0,80
Espaciamiento	m	0,80

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 7, se observa los indicadores de rendimiento y productividad del equipo HRD100 obtenidas a partir del análisis de la información recolectada del anexo 4.

**Tabla 7**  
*Datos técnicos e indicadores de perforadora HRD100*

<b>Datos técnicos</b>		
<b>Parámetros</b>	<b>Unidad</b>	<b>Datos</b>
Tipo de rocas		Diorita
Equipo de perforación		HRD100
Longitud de tajeo	m	50
Potencia de tajeo	m	1,2
Tipo de perforación		Realce
Tiempo de perforación	mm	38
Tiempo de perforación/taladro	min	00:02:55
Longitud del barreno	m	2,44
Longitud efectiva de perforación	m	2,32
Eficiencia de perforación	%	0,95
Densidad del mineral	t/m <sup>3</sup>	2,5
Burden	m	0,80
Espaciamiento	m	0,80

Fuente: Elaboración propia.

Ahora se determina los costos que influyen en el cálculo del costo unitario de perforación de cada equipo. De la tabla 8 a 12, se observa los costos referentes al uso del equipo de perforación Jack Leg.

**Tabla 8***Costo de adquisición y mantenimiento equipo Jack Leg*

Descripción	Unidad	Cantidad	P.U. (USD)	Vida Útil (Tareas)	Costo Tarea (USD)
Precio de adquisición	USD/pp	1	4,500.00	100 000.00	0,0450
Mantenimiento	USD/pp	1	0,045	1	0,0450
Consumo de aceite	USD/pp	1	0,01295	1	0,0130
<b>Total</b>					<b>0,1030</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 9***Costo de equipo de protección personal con Jack Leg*

Descripción	Unidad	Cantidad	P.U. (USD)	Vida Útil (Tareas)	Costo Tarea (USD)
Barbiquejo	und	1	1,08	90	0,012
Botas de jebe	par	1	25,23	80	0,315
Casaca de jebe negro/amarrillo	und	1	18,23	80	0,228
Casco tipo sombrero	und	1	19,42	240	0,081
Correa de cuero p/respirador	und	1	4,87	240	0,020
Filtro 7093 P100 p/respirador 3M polvo	und	2	9,35	10	1,870
Guantes de cuero	par	1	4,32	20	0,216
Guantes de jebe negro	par	1	7,91	20	0,396
Lámpara minera	und	1			0,813
Lentes de seguridad Steel Pro Safety	und	1	3,23	80	0,040
Mamelucos Dennin Azul 14 onz	und	1	24,42	120	0,204
Pantalón de jebe negro/amarillo	und	1	18,23	80	0,228
Respirador 3M	und	1	30,58	120	0,255
Tafílete	und	1	6,4	180	0,036
Tapón auricular de silicona	par	1	1,32	20	0,066
<b>Total</b>					<b>4.779</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 10**  
*Costo de herramientas y materiales con Jack Leg*

Descripción	Unidad	Cantidad	P.U. (USD)	Vida Útil (Tareas)	Costo Tarea (USD)
Atacador	par	2	3,78	60	0,126
Barretilla 4'	par	2	25,46	90	0,566
Barretilla 6'	par	2	25,46	90	0,566
Barretilla 8'	par	2	30,59	90	0,680
Barretilla 10' y 12'	und	1	33,09	90	0,368
Comba 6 lb	und	1	14,85	90	0,165
Cucharilla	und	1	5,4	120	0,045
Flexómetro metálico 5m	und	1	5,76	60	0,096
Pintura spray	und	1	2,7	15	0,813
Llave francesa #14	und	1	31,83	360	0,088
Llave stilson #14	und	1	24,83	360	0,069
Lampara minera tipo cuchara	und	1	11,83	90	0,131
Pico de acero 2 puntas	und	1	10,54	90	0,117
Saca barreno	und	1	6,47	200	0,032
Saca broca	und	1	89,93	200	0,450
Soplete para taladros	und	1	48,56	300	0,162
Guiadores	und	3	5,4	60	0,270
Plataforma de perforación	und	1	179,86	360	0,500
Otros					0,786
<b>Total</b>					<b>6,029</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 11**  
*Costo de acero de perforación con Jack Leg*

Descripción	Unidad	Cantidad	P.U. (USD)	Vida Útil (Tareas)	Costo Tarea (USD)
barra cónica de 7/8" x 3'	und	1	98,44	1500	0,066
barra cónica de 7/8" x 4'	und	1	98,44	1500	0,066
barra cónica de 7/8" x 6'	und	1	79,45	1500	0,053
barra cónica de 7/8" x 8'	und	1	86,51	1500	0,058
broca botones 7/8" x 38mm	und	4	21	250	0,336
Manguera de jebe de $\phi$ 1"	m	50	2,55	25000	0,005
Manguera de jebe de $\phi$ 1/2"	m	50	1,13	25000	0,002
Válvulas de 1" y 1/2"	par	1	7,42	100	0,074
Conexiones de 1" y 1/2"	par	1	2,11	100	0,021
<b>Total</b>					<b>0,681</b>

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los resultados obtenidos de la tabla 8, 9, 10 y 11, los costos que incurren en la perforación con el equipo Jack Leg son los costos de utilización del equipo, mano de obra, EPPs, aceros de perforación, herramientas y materiales. Con la determinación de los costos mencionados se procede a determinar el costo unitario de perforación con equipo Jack Leg. En la tabla 14, se observan los resultados.

**Tabla 12***Costo unitario de perforación con Jack Leg*

<b>Precio Unitario de Perforación en Realce con Jack Leg</b>					
Tipo perforación	Convencional			N° taladros perforados	48
Ancho de minado (m)	1.5			Burden (m)	0,8
Longitud de corte (m)	15			Espaciamiento (m)	0,8
Longitud de perforación (pies)	8			Eficiencia de perforación (%)	87,35
Altura de corte (m)	2,13			Pies perforados (pp)	384
Peso específico (t/m3)	2,15			Tonelaje (t)	103,04
Buzamiento (°)	75				
Equipo	Jack Leg				
<b>Descripción</b>	<b>Incidencia</b>	<b>P.U.</b>	<b>Unidad</b>		<b>Total</b>
<b>Mano de Obra</b>					<b>121,518</b>
Perforista	1,29	48.1	USD/Tarea		62,049
Ayudante perforista	1,29	46.1	USD/Tarea		59,469
<b>EPP</b>					<b>12,329</b>
Perforista	1,29	4.78	USD/Tarea		6,165
Ayudante perforista	1,29	4.78	USD/Tarea		6,165
<b>Equipo y Aceros de Perforación</b>					<b>300,865</b>
Máquina perforadora	384	0.103	USD/pie		39,533
Accesorios de perforación	384	0.681	USD/pie		261,332
<b>Materiales y Herramientas</b>					<b>6,029</b>
Herramientas perforista	1	6.029	USD/Tarea		6,029
<b>Sub Total Costos Directos</b>					<b>440,742</b>
Contingencias de prevención de pérdidas	3%		USD		13,222
Gastos Generales	5%		USD		22,037
Utilidad	10%		USD		44,074
<b>Sub Total Costos Indirectos</b>					<b>79,334</b>
<b>Total Costo Perforación</b>			<b>USD</b>		<b>520,075</b>
<b>Total Costo por pie perforado</b>			<b>USD/pp</b>		<b>1,354</b>

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla 13 a 18, se observa los costos referentes al uso del equipo de perforación HRD100.

**Tabla 13**  
*Costo de adquisición y mantenimiento equipo HRD100*

Descripción	Unidad	Cantidad	P.U. (USD)	Vida Útil (Tareas)	Costo Tarea (USD)
Precio de adquisición	USD/h	1	7 894,74	5 000.00	1,5789
Mantenimiento	USD/h	1	1,58	1	1,5789
Cable eléctrico	USD/h	100,00	3	25 000.00	0,0120
Kit de mangueras	USD/h	10,00	3	25 000.00	0,0012
Consumo combustible	USD/h	0,14	2,67	1	0,3708
Consumo lubricante	USD/h	0,14	6	1	0,8333
Consumo filtros	USD/h	0,11	2,17	1	0,2411
Consumo grasas	USD/h	0,26	3.5	1	0,8944
Consumo de aceite	USD/h	1	0,01295	1	0,0130
<b>Total</b>					<b>5,524</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 14**  
*Costo de equipo de protección personal con HRD100*

Descripción	Unidad	Cantidad	P.U. (USD)	Vida Útil (Tareas)	Costo Tarea (USD)
Barbiquejo	und	1	1,08	90	0,012
Botas de jebe	par	1	25,23	80	0,315
Casaca de jebe negro/amarrillo	und	1	18,23	80	0,228
Casco tipo sombrero	und	1	19,42	240	0,081
Correa de cuero p/respirador	und	1	4,87	240	0,020
Filtro 7093 P100 p/respirador 3M polvo	und	2	9,35	10	1,870
Guantes de cuero	par	1	4,32	20	0,216
Guantes de jebe negro	par	1	7,91	20	0,396

Lámpara minera	und	1			0,813
Lentes de seguridad Steel Pro Safety	und	1	3,23	80	0,040
Mamelucos Dennin Azul 14 onz	und	1	24,42	120	0,204
Pantalón de jebe negro/amarillo	und	1	18,23	80	0,228
Respirador 3M	und	1	30,58	120	0,255
Tafilete	und	1	6,4	180	0,036
Tapón auricular de silicona	par	1	1,32	20	0,066
<b>Total</b>					<b>4,779</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 15**  
*Costo de herramientas y materiales con HRD100*

Descripción	Unidad	Cantidad	P.U. (USD)	Vida Útil (Tareas)	Costo Tarea (USD)
Atacador	par	2	3,78	60	0,126
Barretilla 4'	par	2	25,46	90	0,566
Barretilla 6'	par	2	25,46	90	0,566
Barretilla 8'	par	2	30,59	90	0,680
Barretilla 10' y 12'	und	1	33,09	90	0,368
Comba 6 lb	und	1	14,85	90	0,165
Cucharilla	und	1	5,4	120	0,045
Flexómetro metálico 5m	und	1	5,76	60	0,096
Pintura spray	und	1	2,7	15	0,813
Llave francesa #14	und	1	31,83	360	0,088
Llave stilson #14	und	1	24,83	360	0,069
Lampara minera tipo cuchara	und	1	11,83	90	0,131
Pico de acero 2 puntas	und	1	10,54	90	0,117
Saca barreno	und	1	6,47	200	0,032
Saca broca	und	1	89,93	200	0,450
Soplete para taladros	und	1	48,56	300	0,162
Guiadores	und	3	5,4	60	0,270
Plataforma de perforación	und	1	179,86	360	0,500
Otros					0,786
<b>Total</b>					<b>6,029</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 16**  
*Costo de acero de perforación con HRD100*

Descripción	Unidad	Cantidad	P.U. (USD)	Vida Útil (Tareas)	Costo Tarea (USD)
barra cónica de 7/8" x 3'	und	1	98,44	1500	0,066
barra cónica de 7/8" x 4'	und	1	98,44	1500	0,066
barra cónica de 7/8" x 6'	und	1	79,45	1500	0,053
barra cónica de 7/8" x 8'	und	1	86,51	1500	0,058
broca botones 7/8" x 38mm	und	4	21	250	0,336
Manguera de jebe de $\phi$ 1"	m	50	2,55	25000	0,005
Manguera de jebe de $\phi$ 1/2"	m	50	1,13	25000	0,002
Válvulas de 1" y 1/2"	par	1	7,42	100	0,074
Conexiones de 1" y 1/2"	par	1	2,11	100	0,021
<b>Total</b>					<b>0,681</b>

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los resultados obtenidos de la tabla 13, 14, 15 y 16, los costos que incurren en la perforación con el equipo Jack Leg son los costos de utilización del equipo, mano de obra, EPPs, aceros de perforación, herramientas y materiales. Con la determinación de los costos mencionados se procede a determinar el costo unitario de perforación con equipo HRD100. En la tabla 19, se observan los resultados.

**Tabla 17**

Costo unitario de perforación con HRD100

Precio Unitario de Perforación en Realce con HRD100					
Tipo perforación	Convencional			N° taladros perforados	80
Ancho de minado (m)	1,5			Burden (m)	0,8
Longitud de corte (m)	25			Espaciamiento (m)	0,8
Longitud de perforación (pies)	8			Eficiencia de perforación (%)	93,50
Altura de corte (m)	2,28			Pies perforados (pp)	640
Peso específico (t/m3)	2,15			Tonelaje (t)	183,83
Buzamiento (°)	75				
Equipo	HRD100				
Descripción	Incidencia	P.U.	Unidad		Total
<b>Mano de Obra</b>					<b>121,518</b>
Perforista		1,29	48.1	USD/Tarea	62,049
Ayudante perforista		1,29	46.1	USD/Tarea	59,469
<b>EPP</b>					<b>12,329</b>
Perforista		1,29	4.78	USD/Tarea	6,165
Ayudante perforista		1,29	4.78	USD/Tarea	6,165
<b>Equipo y Aceros de Perforación</b>					<b>457,649</b>
Máquina perforadora		4	5.524	USD/h	22,095
Accesorios de perforación		640	0.681	USD/pie	435,554
<b>Materiales y Herramientas</b>					<b>6,029</b>
Herramientas perforista		1	6.029	USD/Tarea	6,029
<b>Sub Total Costos Directos</b>					<b>597,526</b>
Contingencias de prevención de pérdidas		3%		USD	17,926
Gastos Generales		5%		USD	29,876
Utilidad		10%		USD	59,753
<b>Sub Total Costos Indirectos</b>					<b>107,555</b>
<b>Total Costo Perforación</b>				<b>USD</b>	<b>705,080</b>
<b>Total Costo por pie perforado</b>				<b>USD/pp</b>	<b>1,102</b>

Fuente: propia.

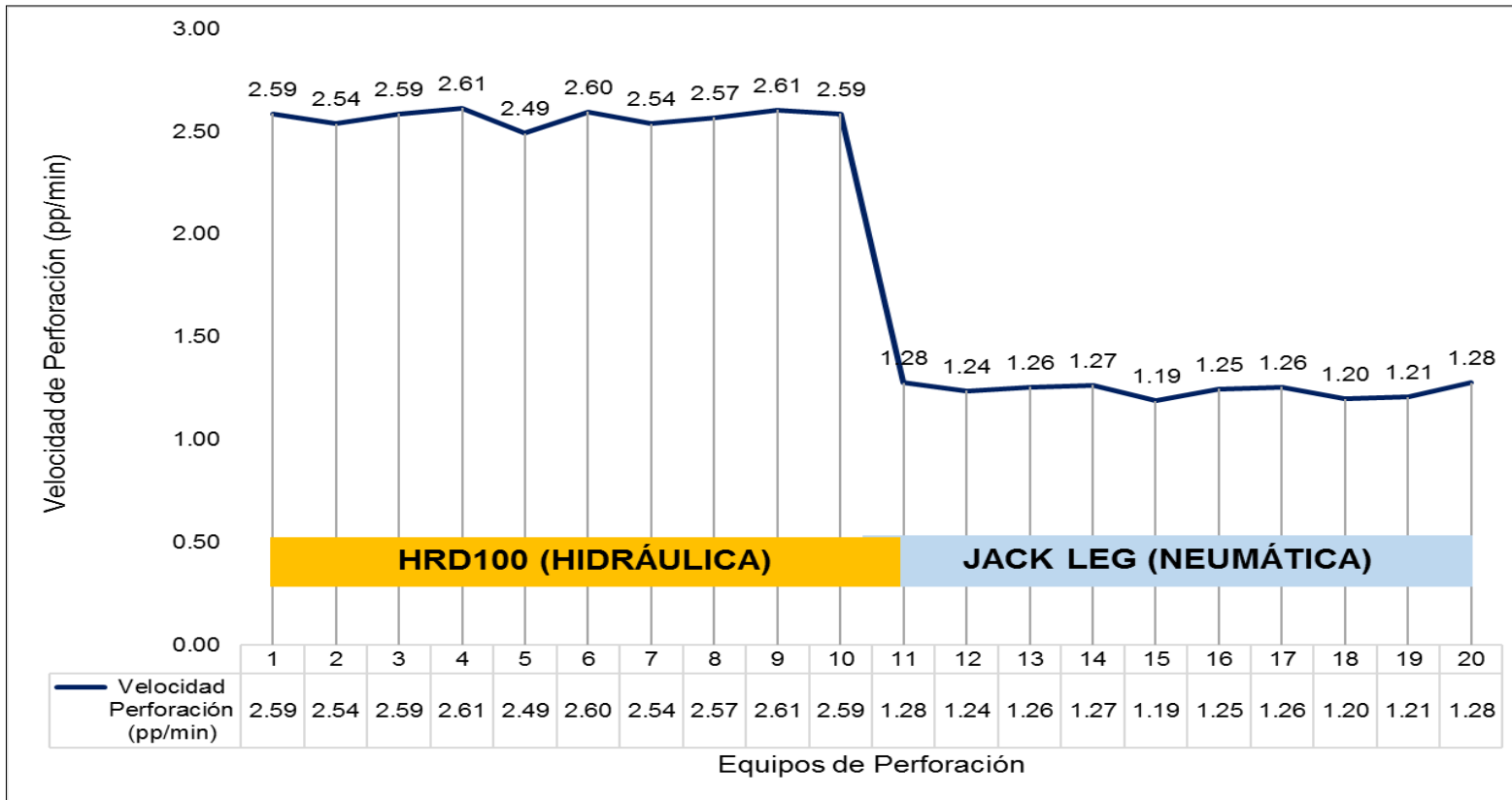
Los datos recolectados y procesados se muestran en la tabla 18, donde las principales variables de análisis son velocidad de perforación, rendimiento, eficiencia y costos unitarios.

**Tabla 18**  
*Resultado de las variables de estudio*

<b>Equipo de Perforación Manual</b>	<b>Velocidad Perforación (pp/min)</b>	<b>Rendimiento (N° tal/h)</b>	<b>Eficiencia (%)</b>	<b>Costo Unitario (USD/pp)</b>
<b>HRD100 (Hidráulica)</b>	2,59	21,40	94,82	1,12
	2,54	20,42	93,85	1,08
	2,59	22,00	95,31	1,11
	2,61	21,40	95,80	1,12
	2,49	19,45	91,89	1,07
	2,60	20,42	94,82	1,09
	2,54	22,00	91,89	1,07
	2,57	21,40	93,85	1,11
	2,61	20,42	91,89	1,13
	2,59	21,40	90,91	1,12
<b>Jack Leg (Neumática)</b>	1,28	13,00	87,81	1,36
	1,24	10,07	85,65	1,33
	1,26	11,75	86,00	1,35
	1,27	10,91	89,00	1,37
	1,19	10,07	84,22	1,31
	1,25	12,59	89,00	1,36
	1,26	10,91	85,65	1,33
	1,20	10,07	87,00	1,37
	1,21	9,23	89,00	1,39
	1,28	11,75	88,05	1,38

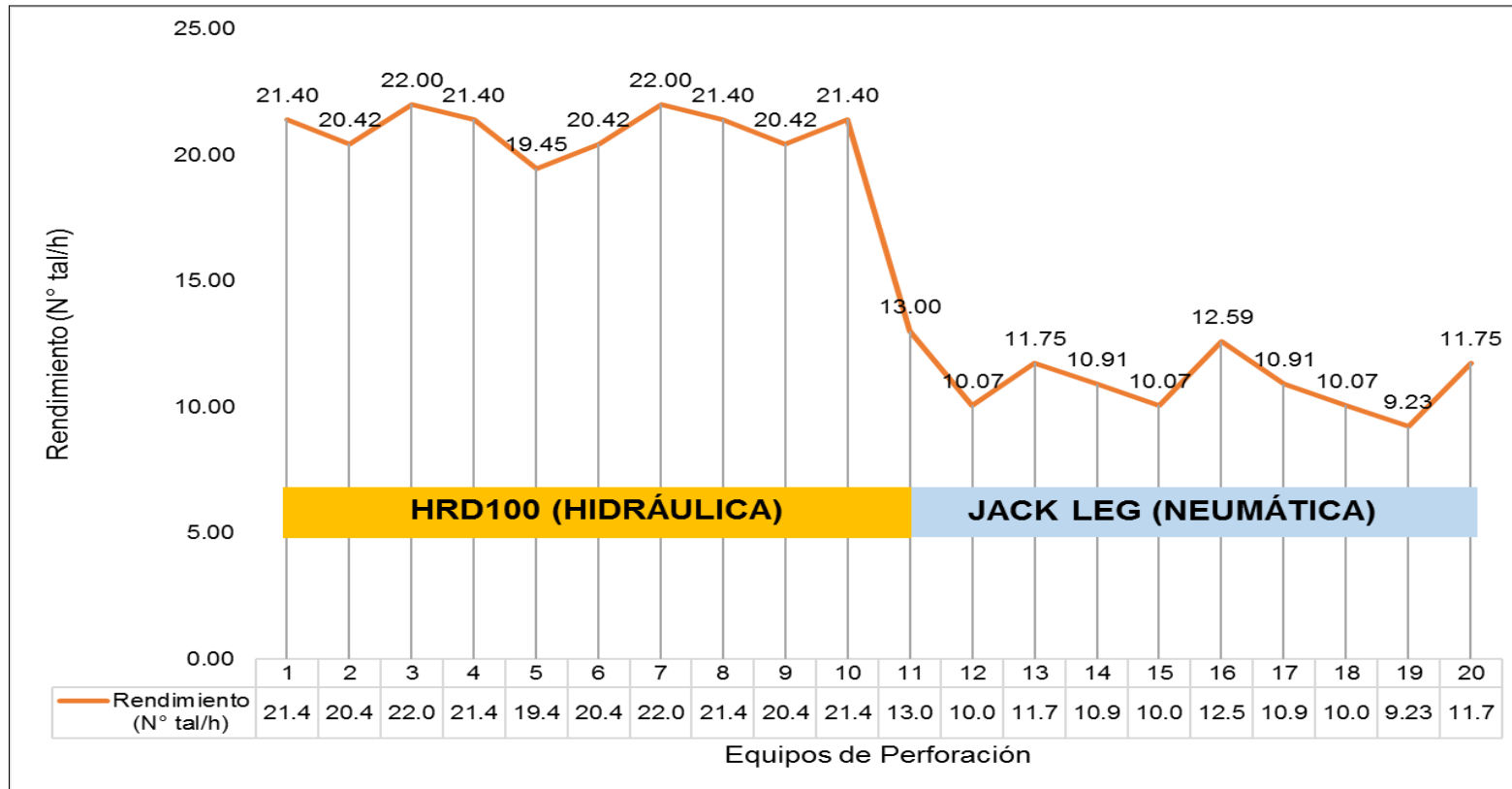
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 19.**  
Tendencia de velocidad de perforación



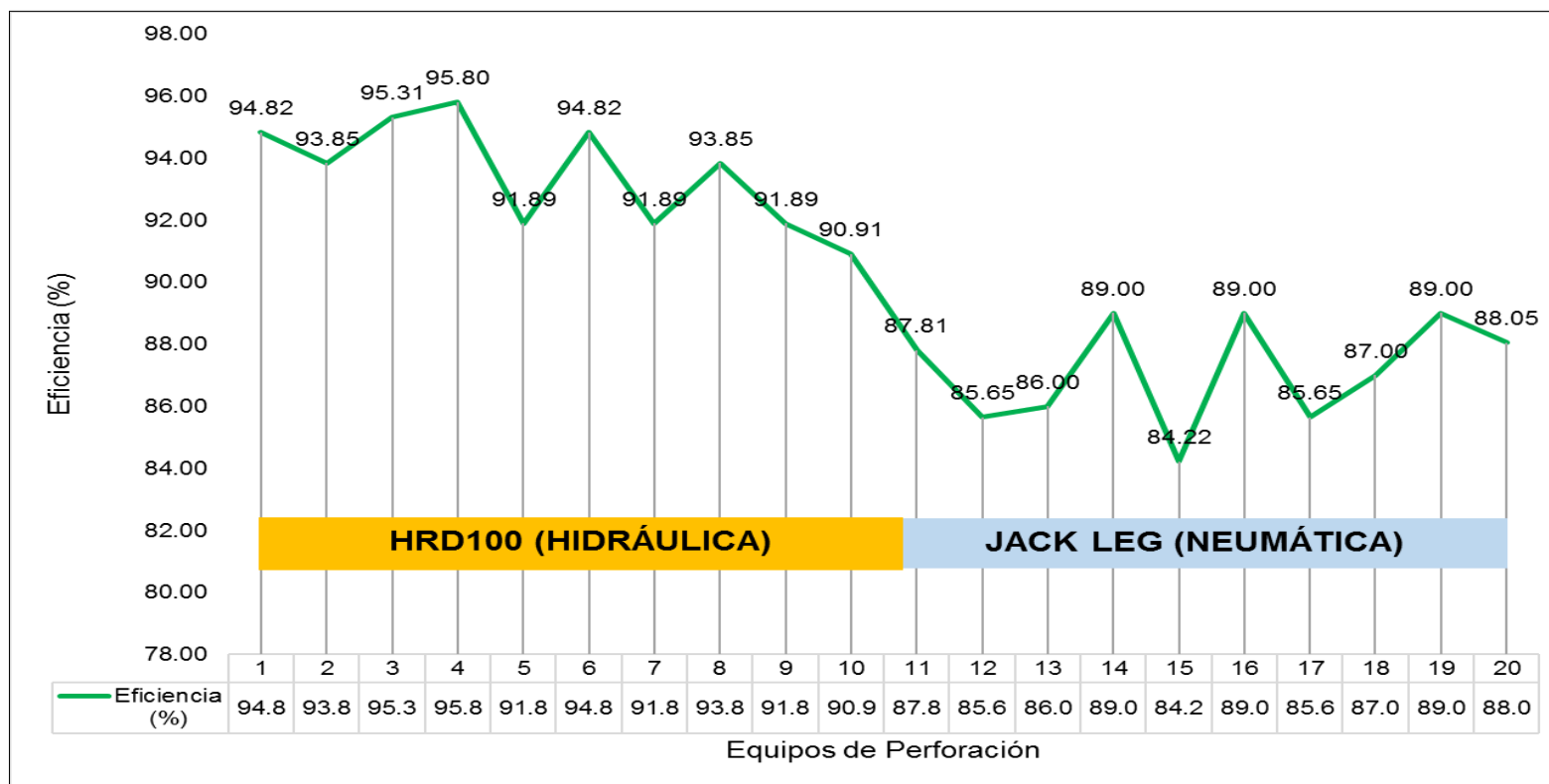
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 20.**  
Tendencia de rendimiento en la perforación



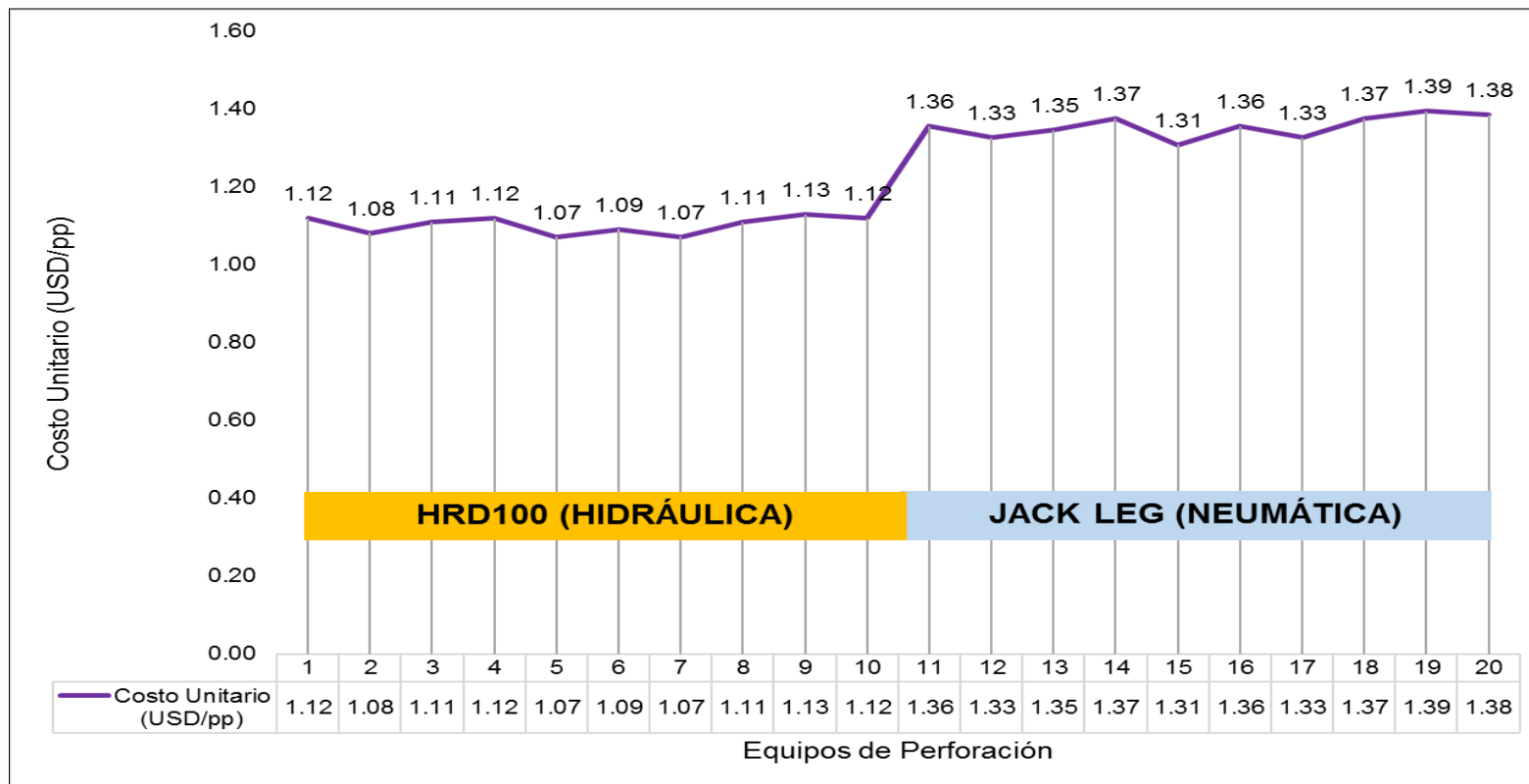
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 21.**  
Tendencia de eficiencia en la perforación



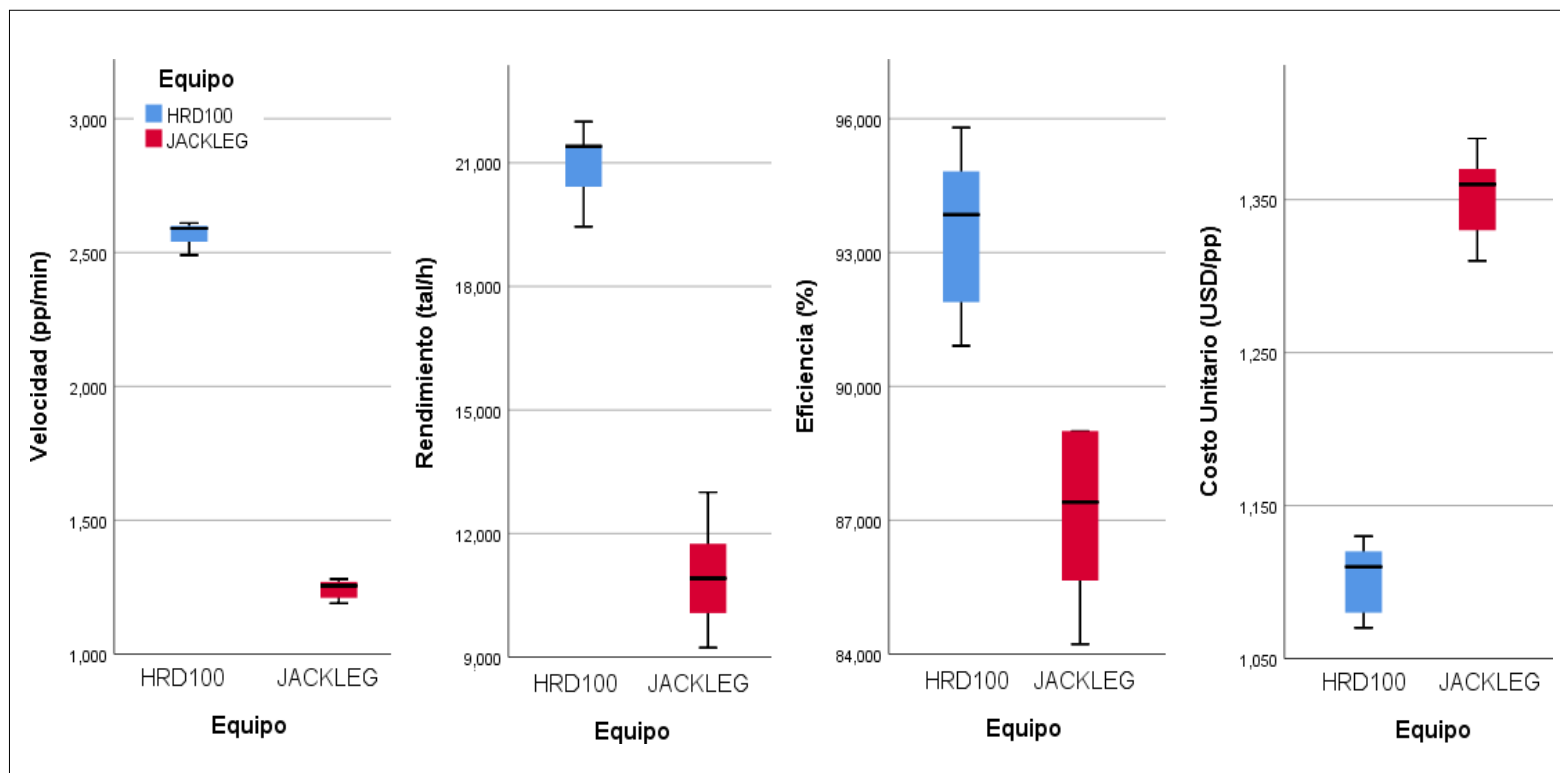
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 22.**  
Tendencia de costo unitario en la perforación



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 23.**  
Caja de bigotes de las variables velocidad, rendimiento, eficiencia y costos unitarios



Fuente: Elaboración propia.

*Nota.* No se observa presencia de altos erráticos en las variables, presentando simetría en las variables de estudio.

a) Prueba de normalidad de datos; en la tabla 19, se observa los resultados del análisis de normalidad de las variables; de acuerdo a la evaluación del P-valor ( $\alpha > 0,05$ ), se acepta  $H_0$  para distribución normal; se considera la prueba de Shapiro-Wilk, por tener muestras menores a 50, y se determina que las variables velocidad, rendimiento, eficiencia y costo unitario, presentan una distribución normalizada, por lo tanto, no muestra la presencia de valores erráticos considerables.

**Tabla 19**  
*Prueba de normalidad de variables*

Prueba de normalidad	Shapiro-Wilk					
	HRD100			Jack Leg		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Velocidad Perforación (pp/min)	0,857	10	0,070	0,892	10	0,177
Rendimiento (tal/h)	0,886	10	0,151	0,946	10	0,621
Eficiencia (%)	0,163	10	0,238	0,906	10	0,252
Costo Unitario (USD/pp)	0,111	10	0,111	0,953	10	0,703

Fuente: Elaboración propia.

b) Análisis descriptivos de datos; luego de comprobar la normalización de las variables e identificar los valores erráticos, por medio del gráfico de

bigotes (figura 20), se procede a realizar el análisis estadístico descriptivo de cada variable según el sistema de acarreo.

**Tabla 20**  
*Análisis estadístico descriptivo perforadora Jack Leg*

<b>Estadístico</b>	<b>Velocidad Perforación (pp/min)</b>	<b>Rendimiento (N° tal/h)</b>	<b>Eficiencia (%)</b>	<b>Costo Unitario (USD/pp)</b>
Media	2,573	21,031	93,503	1,102
Mediana	2,590	21,400	93,850	1,110
Desviación	0,039	0,819	1,725	0,023
Desv. Error	0,012	0,259	0,545	0,007
Mínimo	2,490	19,450	90,910	1,070
Máximo	2,610	22,000	95,800	1,130
Rango	0,120	2,550	4,890	0,060

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 21**  
*Análisis estadístico descriptivo perforadora HRD100*

<b>Estadístico</b>	<b>Velocidad Perforación (pp/min)</b>	<b>Rendimiento (N° tal/h)</b>	<b>Eficiencia (%)</b>	<b>Costo Unitario (USD/pp)</b>
Media	1,244	11,035	87,138	1,355
Mediana	1,255	10,910	87,405	1,360
Desviación	0,033	1,220	1,698	0,025
Desv. Error	0,010	0,386	0,537	0,008
Mínimo	1,190	9,230	84,220	1,310
Máximo	1,280	13,000	89,000	1,390
Rango	0,090	3,770	4,780	0,080

Fuente. Elaboración propia.

c) Análisis homogeneidad de varianzas; se realiza la prueba de Levene, de acuerdo al P-valor ( $\alpha > 0,05$ ), se acepta  $H_0$  para homogeneidad de varianzas; se observa que las variables productividad, producción, cumplimiento, tiempo de operación y costo unitario, presentan homogeneidad en las varianzas (tabla 22).

**Tabla 22**  
*Análisis de homogeneidad de varianzas*

Variables	Prueba de homogeneidad de varianzas			
	Levene	gl1	gl2	Sig.
Velocidad Perforación (pp/min)	0,139	1	18	0,713
Rendimiento (tal/h)	1,711	1	18	0,207
Eficiencia (%)	0,025	1	16	0,877
Costo Unitario (USD/pp)	0,006	1	18	0,939

Fuente: Elaboración propia.

Los hallazgos de los capítulos anteriores se resumen en la tabla 23, correspondientes a las variables velocidad, rendimiento, eficiencia y costo unitario, referente al estudio de adquisición de equipos de perforación manual neumático (Jack Leg) e hidráulico (HRD100).

**Tabla 23***Resumen de resultados por equipo de perforación*

Equipo	Estadístico	Velocidad Perforación (pp/min)	Rendimiento (tal/h)	Eficiencia (%)	Costo Unitario (USD/pp)
<b>HRD100 (μ1)</b>	Media	2,573	21,031	93,503	1,102
	Desv.	0,039	0,819	1,725	0,023
	Desv. Error	0,012	0,259	0,545	0,007
<b>Jack Leg (μ2)</b>	Media	1,244	11,035	87,138	1,355
	Desv.	1,255	10,910	87,405	1,360
	Desv. Error	0,033	1,220	1,698	0,025

Fuente: Elaboración propia.

## 4.2. Análisis y pruebas del contraste de hipótesis

### 4.2.1. Productividad de perforación

Para contrastar la hipótesis alternativa, el trabajo con la perforadora manual hidráulica aumenta la productividad para el proyecto de la Unidad de Producción "El Dorado"; es necesario proponer la hipótesis alternativa (H1) e hipótesis nula (Ho) en base a los indicadores de evaluación. Respecto al indicador velocidad de perforación (pp/min); para contrastar resultados de mejora en incremento con una significancia ( $\alpha$ ):  $\alpha = 0,05$ , se define las hipótesis de evaluación.

- Hipótesis alternativa (H1):  $\mu_1 > \mu_2$ ; el trabajo con la perforadora manual hidráulica aumenta la productividad para el proyecto de la Unidad de Producción "El Dorado".
- Hipótesis nula (Ho):  $\mu_1 = \mu_2$ ; el trabajo con la perforadora manual hidráulica mantiene la productividad para el proyecto de la Unidad de Producción "El Dorado".

**Tabla 24**  
*Prueba hipótesis para el indicador velocidad*

Prueba de muestras independientes		Prueba t para la igualdad de medias						
		t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencias		Intervalo confianza al 95 %	
H1: $\mu_1 > \mu_2$ Ho: $\mu_1 = \mu_2$	Medias				Error estándar	Inferior	Superior	
Velocidad Perforación (pp/min)	Varianzas iguales	82,687	18,000	0,000	1,329	0,016	1,295	1,363
	Varianzas diferentes	82,687	17,585	0,000	1,329	0,016	1,295	1,363

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 24 muestra que el P-valor (Sig = 0,000) es menor que la significancia ( $\alpha = 0,05$ ). Por lo tanto, debido a la diferencia entre las medias, se decide rechazar Ho. Además, al observar los valores positivos del intervalo de confianza ( $\mu_1 - \mu_2 > 0$ ), se acepta H1; entonces se puede afirmar que el trabajo con la perforadora manual hidráulica aumenta la

productividad para el proyecto de la Unidad de Producción "El Dorado", con una significancia del 5 %.

#### **4.2.2. Rendimiento de perforación**

Para contrastar la hipótesis alternativa, existe un mayor rendimiento de perforación con el uso de la perforadora manual hidráulica en el frente de trabajo; es necesario proponer la hipótesis alternativa (H1) e hipótesis nula (H<sub>0</sub>) en base a los indicadores de evaluación.

Respecto al indicador rendimiento (tal/h); para contrastar resultados de mejora en incremento con una significancia ( $\alpha$ ):  $\alpha = 0,05$ , se define las hipótesis de evaluación.

- Hipótesis alternativa (H1):  $\mu_1 > \mu_2$ ; existe un mayor rendimiento de perforación con el uso de la perforadora manual hidráulica en el frente de trabajo.
- Hipótesis nula (H<sub>0</sub>):  $\mu_1 = \mu_2$ ; se mantiene el rendimiento de perforación con el uso de la perforadora manual hidráulica en el frente de trabajo.

**Tabla 25**  
*Prueba hipótesis para el indicador rendimiento*

Prueba de muestras independientes		Prueba t para la igualdad de medias						
		t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencias		Intervalo confianza al 95 %	
H1: $\mu_1 > \mu_2$ Ho: $\mu_1 = \mu_2$	Medias				Error estándar	Inferior	Superior	
Rendimiento (N° tal/h)	Varianzas iguales	21,515	18,000	0,000	9,996	0,465	9,020	10,972
	Varianzas diferentes	21,515	15,750	0,000	9,996	0,465	9,010	10,982

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 25 muestra que el P-valor (Sig = 0,000) es menor que la significancia ( $\alpha = 0,05$ ). Por lo tanto, debido a la diferencia entre las medias, se decide rechazar Ho. Además, al observar los valores positivos del intervalo de confianza ( $\mu_1 - \mu_2 > 0$ ), se acepta H1; entonces se puede afirmar que existe un mayor rendimiento de perforación con el uso de la perforadora manual hidráulica en el frente de trabajo respecto al indicador rendimiento, con una significancia del 5 %.

Respecto al indicador eficiencia (%); para contrastar resultados de mejora en incremento con una significancia ( $\alpha$ ):  $\alpha = 0,05$ , se define las hipótesis de evaluación.

- Hipótesis alternativa (H1):  $\mu_1 > \mu_2$ ; existe un mayor rendimiento de perforación con el uso de la perforadora manual hidráulica en el frente de trabajo.
- Hipótesis nula (Ho):  $\mu_1 = \mu_2$ ; se mantiene el rendimiento de perforación con el uso de la perforadora manual hidráulica en el frente de trabajo.

**Tabla 26**  
*Prueba hipótesis para el indicador eficiencia*

Prueba de muestras independientes		Prueba t para la igualdad de medias						
		t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencias		Intervalo confianza al 95 %	
H1: $\mu_1 > \mu_2$	Ho: $\mu_1 = \mu_2$				Medias	Error estándar	Inferior	Superior
Eficiencia (%)	Varianzas iguales	8,316	18,000	0,000	6,365	0,765	4,757	7,973
	Varianzas diferentes	8,316	17,995	0,000	6,365	0,765	4,757	7,973

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 26 muestra que el P-valor (Sig = 0,000) es menor que la significancia ( $\alpha = 0,05$ ). Por lo tanto, debido a la diferencia entre las medias, se decide rechazar Ho. Además, al observar los valores positivos del intervalo de confianza ( $\mu_1 - \mu_2 > 0$ ), se acepta H1; entonces se puede afirmar que existe un mayor rendimiento de perforación con el uso de la perforadora manual hidráulica en el frente de trabajo respecto al indicador eficiencia, con una significancia del 5 %.

### 4.2.3. Costos de perforación

Para contrastar la hipótesis alternativa, los costos de la perforadora manual hidráulica son menores a mediano y largo plazo; los indicadores de evaluación deben determinar la hipótesis alternativa (H1) y la hipótesis nula (Ho). Se definen las hipótesis de evaluación para contrastar los resultados de mejora en reducción de los costos de perforación con una significancia ( $\alpha$ ):  $\alpha = 0,05$ , en relación al indicador de costo unitario (USD/pp).

- Hipótesis alternativa (H1):  $\mu_1 < \mu_2$ ; los costos de la perforadora manual hidráulica son menores a mediano y largo plazo.
- Hipótesis nula (Ho):  $\mu_1 = \mu_2$ ; los costos de la perforadora manual hidráulica son iguales a mediano y largo plazo.

La tabla 27 muestra que el P-valor (Sig = 0,000) es menor que la significancia ( $\alpha = 0,05$ ). Por lo tanto, debido a la diferencia entre las medias, se decide rechazar Ho. Además, al observar los valores negativos del intervalo de confianza ( $\mu_1 - \mu_2 < 0$ ), se acepta H1; entonces se puede afirmar que los costos de la perforadora manual hidráulica son menores a mediano y largo plazo respecto al indicador costo unitario, con una significancia del 5 %.

**Tabla 27**  
*Prueba hipótesis para el indicador costo unitario*

Prueba de muestras independientes		Prueba t para la igualdad de medias						
		t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencias		Intervalo confianza al 95 %	
H1: $\mu_1 < \mu_2$ Ho: $\mu_1 = \mu_2$	Medias				Error estándar	Inferior	Superior	
Costo Unitario (USD/pp)	Varianzas iguales	-23,754	18,000	0,000	-0,253	0,011	-0,275	-0,231
	Varianzas diferentes	-23,754	17,797	0,000	-0,253	0,011	-0,275	-0,231

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 28**  
*Incidencia de costos por equipo de perforación manual*

Equipo Perforación Manual	HRD 1000 (Hidráulica)	Jack Leg (Neumática)
Mano de obra	17%	23%
EPP	2%	2%
Equipo y aceros de perforación	65%	58%
Materiales y Herramientas	1%	1%

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 28, se puede observar que los costos de equipo y acero de perforación presenta una mayor incidencia (65 %) en el costo total de

perforación, donde el costo de adquisición y mantenimiento de la perforadora manual hidráulica HRD100 presenta una mayor incidencia respecto a la incidencia del costo de adquisición y mantenimiento de la perforadora Jack Leg (58 %), desde este enfoque, la adquisición de la perforadora Jack Leg reduce en gran medida el costo total de perforación, sin embargo, el costo unitario de perforación nos muestra una reducción del costo total, esto se debe al impacto de la mejorar de la productividad que genera el equipo de perforación hidráulica HRD100.

La productividad permite mejorar los resultados con una restricción de incrementar la longitud de corte de 15 m, de la perforación manual neumática, a 25 m, de la perforación manual hidráulica, esto implicaría cambios en el planeamiento de minado, donde será necesario establecer nuevas sinergias en la secuencia de explotación de los tajos, de igual forma, en una evaluación geomecánica del tajo y diseño de voladura que mitigue la sobre excavación y dilución del mineral ocasionadas por los cambios establecidos para las condiciones técnica de la Unidad de Producción El Dorado.

#### 4.2.4. Rentabilidad de adquisición

Para contrastar la hipótesis alternativa, la rentabilidad aumenta relativamente con el uso de la perforadora manual hidráulica. Se cuantifica las mejoras de adquisición respecto a la perforadora Jack Leg.

**Tabla 29**

*Rentabilidad de adquisición de equipo de perforación manual*

<b>Rentabilidad de adquisición</b>			
<b>Características Técnicas</b>			<b>Mejoras (%)</b>
Tipo perforación	Manual hidráulico	Manual neumático	
Equipo	HRD100	Jack Leg	
Vida útil (h-pp)	5 000,00	100 000,00	
Cortes (#)	1 087	298	265%
Eficiencia (%)	93,50	87,35	7%
<b>Características de corte</b>			
Ancho de minado (m)	1,5	1,5	
Longitud de corte (m)	25	15	67%
N° taladros perforados	80	48	67%
Pies perforados (pp)	640	335	91%
Tonelaje (t)	171,88	103,04	67%
Horas de perforación efectiva	2,30	4,50	-49%
<b>Costos de perforación</b>			
Costo Perforadora (USD)	7 894,74	4 500,00	75%
Costo de perforación (USD/pp)	1,10	1,35	-19%
Costo total perforación (USD)	520,075	705,080	-26%
<b>Influencia de rentabilidad adquisitiva</b>			
Producción (t)	171,88	171,88	0%
Costo total perforación (USD)	520,075	1 176,177	-56%

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la tabla 29, el costo de adquisición de la perforadora manual hidráulica HRD supera en 75 % a la perforadora manual neumática Jack Leg, sin embargo, este valor se ve compensando al obtener una mayor productividad, y por ende una mayor producción, impactando en los costos totales de perforación una reducción del 56 %. Estos resultados muestran que la perforadora manual hidráulica HRD100 mejora la rentabilidad a largo plazo, generando un impacto significativo en la reducción de costos operacionales de perforación.

La aplicación de esta tecnología presenta muchas ventajas, como el incremento del rendimiento de las operaciones en términos de velocidad de perforación y eficiencia, además de reducir considerablemente las horas de perforación por corte (-49 %), sin embargo, su aplicación demanda de ciertas restricciones, como la longitud mínima de corte, para establecer su factibilidad a nivel de costos operacionales de corto y mediano plazo. Para métodos de explotación selectiva, la adquisición no sería viable, debido a los altos costos que demandaría en la operación, por lo que es necesario realizar una sinergia de la secuencia de perforación de tajos, con la finalidad, de incrementar el usaje y, por ende, la viabilidad operativa de la perforadora HRD100.

### **4.3. Discusión de resultados**

#### ***4.3.1. Resultado de productividad de perforación***

Fernández (2016) Establece que las perforadoras neumáticas poseen una gran desventaja, debido a su limitada longitud de perforación; por ello, propone optimizar el programa mensual aplicando equipos de jumbo hidráulico, logrando mejorar la eficiencia operativa.

De acuerdo a los resultados obtenidos en las investigaciones de Cornuales (2015), Fernández (2016), Godoy (2020) y Rojas (2021), se basan en investigaciones con enfoque a las operaciones mineras, por lo tanto, los resultados cuantitativos obtenidos en la presente investigación con enfoque a la implementación de la tecnología de perforación que se aplica, no pueden ser comparados en la misma medida con los resultados cualitativos obtenidos en los resultados de las investigación del marco teórico presentado.

Sin embargo, Chuyma (2019) realizo una investigación de implementación de equipo de perforación mecánica Mini Jumbo Muki respecto a la perforación manual convencional Stoper, donde se logró

mejorar los indicadores operativos de perforación, incrementando la rentabilidad de la mecanización de las actividades de perforación, como se observa en la tabla 30.

**Tabla 30**  
*Comparación de resultados de investigación vs Chuyma (2019)*

Referencias	Equipos de Perforación		
	Jack Leg/Stoper	HRD100	Mini Jumbo Muki
<b>Resultados</b>	1.355	1.102	-
<b>Chuyma (2019)</b>	1.300	-	1.140

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo al análisis de contraste de hipótesis, el trabajo con la perforadora manual hidráulica aumenta la productividad para el proyecto de la Unidad de Producción "El Dorado" de 1,244 pp/min a 2,573 pp/min, generando de esta forma un aporte en la mejora de la productividad de la Unidad Productiva El Dorado. Por lo tanto, se logró una congruencia con la afirmación de los estudios de Fernández (2016), donde se incrementa la productividad al mejorar la tecnología de perforación con mayor eficiencia operativa.

El uso de la perforadora manual hidráulica, mejora los indicadores de operación y reduce los costos; sin embargo, incide en la metodología de explotación y secuencia de minado, estos requerimientos técnicos deberán ser adaptados a las condiciones del yacimiento minero, con la finalidad de determinar su viabilidad técnica y económica, considerando la seguridad operativa de la forma de explotación del tajo estudio.

#### ***4.3.2. Resultado de rendimiento de perforación***

Cornuales (2015). Estudia las características de la perforadora manual hidráulica potente HRD100, estableciéndose como punto nuevo de referencia en perforación segura y eficiente para operaciones subterráneas. De acuerdo al análisis de contraste de hipótesis, existe un mayor rendimiento de perforación con el uso de la perforadora manual hidráulica en el frente de trabajo; se logra incrementar el rendimiento de 11 tal/h a 21 tal/h, y mejorar la eficiencia de 87,14 % a 93,50 %, estos indicadores influyen directamente en la productividad de perforación, y por ende en la producción de la Unidad Productiva El Dorado. Por lo tanto, se logró una congruencia con la afirmación de los estudios de Cornuales (2015), porque establece que el uso de la perforadora HRD100 genera una

mayor eficiencia en las operaciones subterráneas, además de brindar seguridad en la actividad de la perforación.

#### **4.3.3. Resultado de costos de perforación**

Rojas (2021). Se enfoca en la evaluación económica por precios unitarios de forma trimestral referente al ciclo de minado en la fase de explotación, determinando un análisis de costo real, logrando reducir los costos unitarios operativos y no operativos. Godoy (2020). Determinó el costo unitario de perforación influye directamente al proceso de productividad y la rentabilidad. Aplicando una metodología desde la elección apropiada del método de explotación, considerando parámetros del macizo rocoso y sistemas de perforación.

De acuerdo al análisis de contraste de hipótesis, los costos de la perforadora manual hidráulica son menores a mediano y largo plazo, de 1,35 USD/pp a 1,102 USD/pp, mejorando la viabilidad de adquisición de la perforadora HRD100 en las operaciones de la U. P. El Dorado. Desde este enfoque, la evaluación de los equipos de perforación se basa en su factibilidad operativa para la reducción de costos. Por lo tanto, se logra una congruencia con la afirmación de los estudios de investigación de Rojas (2021) y Godoy (2020). Por ende, el impacto de la mejora de la

productividad en la perforación genera un menor costo unitario del equipo de perforación hidráulica HRD100, al incrementar la longitud de corte de 15 m a 25 m, generando cambios en el planeamiento de minado, evaluación geomecánica y diseño de voladura, considerando las condiciones operativas de la Unidad de Producción El Dorado.

#### ***4.3.4. Resultado de rentabilidad de adquisición***

Fernández (2016), Godoy (2020) y Cornuales (2015). Establecen metodologías que mejoran la rentabilidad de las operaciones mineras, desde un enfoque de mejoras en la adquisición de nuevas tecnologías que permitan incrementar la productividad y el rendimiento de las operaciones.

De acuerdo al análisis de contraste de hipótesis, la rentabilidad aumenta relativamente con el uso de la perforadora manual hidráulica, reduciendo en 56 % el costo total de perforación, al incrementar en 75 % el presupuesto de adquisición de equipos de perforación manual hidráulica, impactando satisfactoriamente a la productividad y rendimiento operacional de la mina en el corto y mediano plazo, evidenciando de esta forma que la perforadora manual hidráulica HRD100 mejora la rentabilidad a largo plazo, generando un impacto significativo en la reducción de costos operacionales de perforación.

## **CONCLUSIONES**

La perforadora manual hidráulica mejora la productividad de 1,244 pp/min a 2,573 pp/min, generando un aporte en la reducción del costo debido a una mayor eficiencia operativa, asegurando el cumplimiento de la producción de la Unidad Productiva El Dorado.

Se logra incrementar el rendimiento de perforación de 11 tal/h a 21 tal/h, y además de mejorar la eficiencia de 87,14 % a 93,50 %, influyendo así directamente en los resultados de la productividad con mayor seguridad en el desarrollo de la actividad de perforación.

La aplicación de la tecnología HRD100 permite reducir los costos a corto y mediano, de 1,35 USD/pp a 1,102 USD/pp, mejorando la viabilidad de adquisición en las operaciones al incrementar la longitud de corte de 15 m a 25 m, generando modificaciones técnicas en la metodología de explotación de la Unidad Productiva El Dorado.

La rentabilidad mejora al largo plazo con el uso de la perforadora manual hidráulica, reduciendo en 56 % el costo total de perforación, al incrementar el presupuesto de adquisición en 75 %, impactando satisfactoriamente a la productividad y reducción de costos operacionales en el corto y mediano plazo.

## **RECOMENDACIONES**

Se recomienda realizar un análisis técnico y operativo de la adquisición del equipo de perforación manual hidráulico HRD100 desde un enfoque de la producción y su influencia en la secuencia de extracción.

Se sugiere capacitar periódicamente a los operadores para mantener los indicadores operativos, y sensibilizar su toma de decisiones, en cuanto a medidas correctivas y preventivas antes, durante y después de las operaciones para reducir los riesgos existentes.

Se recomienda fomentar las buenas prácticas de operación y mantenimiento preventivo con la finalidad de controlar los costos operacionales y establecer su factibilidad en la minería subterránea convencional.

Se sugiere realizar un estudio más detallado de la implementación de los equipos de perforación manual hidráulica estableciendo su rentabilidad, escalando su incidencia al VAN del proyecto.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Institute of Steel Construction (1996). "*Manual of Steel Construction; Load and Resistance Factor Design, Third Edition*". Third Edition (LRFD 3rd Edition).
- Anderson, B. (1982). "*Down The Hole Blasthole Drill Jumbos for Underground Stopping*". Underground Methods Handbook. AIME.
- Arenas, S. (1985). "*Sistemas de Perforación para Minería y Construcción, Canteras y Explotaciones*".
- Atlas Copco (1984). "*Manual de Atlas Copco*". Catálogo de Revista – 4ta. Edición.
- Auranen, I. (1988). "*Perforación de Minas a Cielo Abierto. Las Ventajas de la Perforación Hidráulica*". Tamrock News.
- Bernaola, J. (1986). "*Predicción de la Velocidad de Perforación a Percusión Mediante Ensayo de Laboratorio Sobre Muestras de Rocas*". E.T.S. Ingenieros de Minas de Madrid. Tesis Doctoral.
- Bernaola, J. (1987). "*Fundamentos de la Perforación Percusión Mediante*". II Seminario de Ingeniería de Arranque de Rocas con Explosivos en Proyectos Subterráneos. Fundación Gómez Pardo.
- Clark, G. (1979). "*Principles of Rock Drilling*". Colorado School of Mines.

- Clemman, R. (1979). "*The Design of Percussive Drilling Bits*". Mining and Mineral Engineering March.
- Cornuales, L. (2015). "*Nueva perforadora de roca hidráulica ideal para perforación subterránea*". A través de la revista: Mining Review Africa, Epiroc.
- Chuyma, L. (2019). "*Comparación de rendimiento de perforación entre el mini Jumbo Muki y perforadora Stoper en vetas angostas, mina Caudalosa, 2016*". Universidad Nacional de Micaela Bastidas de Apurímac Facultad de Ingeniería.
- Fernández, J. (2016). "*Optimización de avance lineal, reemplazando las perforadoras jackleg por jumbo hidráulico en el proceso de perforación y voladura de la GLN1 y CRNE en Mina Consuelo de la Empresa Especializada New Horus S.A.C. -Poderosa*". (Universidad Nacional de Trujillo, Escuela Académica Profesional de Ingeniería de Minas). Trujillo, Perú.
- Godoy, T. (2020). "*Comparación técnico económica de sistemas de perforación en el método Shrinkage aplicado a explotación de minas subterránea el Dorado*". (Universidad Andrés Bello: Facultad de Ingeniería). Concepción, Chile.
- Kutt, E. (1982). "*Conventional Small Drilling Equipment*". Underground Mining Methods Handbook. AIME.

- López, J., Garcia, E., López, P., & Carlos, J., (2003). "*Manual de perforación y voladura de rocas*". Instituto Tecnológico GeoMinero de España.
- Menendez, F. (1987). "*Perforación en RotoperCUSión a Martillo en Cabeza*". II Seminario de Ingeniería de Arranque de Rocas con Explosivos en Proyectos Subterráneos. Fundación Gómez Pardo.
- MISSION, (1985). "*PerCUSion Drilling Equipment Operation and Maintenance Manual*". Mission Drilling Productd Division.
- Montan, L. (1984). "*Recent Developments in Underground Mining Methods and Machinery*". Fifth Australian Tunneling Sydney.
- Rangel, Y. (2010). "*Barrena e hidráulica de perforación*". (Universidad Nacional de Trujillo, Escuela Académica Profesional de Ingeniería de Minas).
- Rojas, D. (2021). "*Precios unitarios en la explotación aurífera subterránea de pequeña minería en el distrito Camilo Ponce Enríquez*". (Universidad del Azuay: Facultad de Ciencia y Tecnología de la Escuela de Ingeniería de Minas). Cuenca, Ecuador.

## **ANEXOS**

Anexo 1. Matriz de consistencia

Título	Problema	Objetivo	Hipótesis	Variable	Indicadores	Metodología
<b>Propuesta de Mejora de Productividad con Nueva Tecnología de perforadora Manual Hidráulica (Jack Leg) para el Proyecto de la U. P. "El Dorado", 2022</b>	<b>Problema General</b>	<b>Objetivo General</b>	<b>Hipótesis General</b>	<b>Variable Independiente</b>	<b>Variable Independiente</b>	<b>Tipo de Investigación</b>
	¿Qué productividad ofrece la perforadora manual hidráulica para el Proyecto de la Unidad de Producción "El Dorado"?	Determinar la productividad que ofrece la perforadora manual hidráulica para el Proyecto de la Unidad de Producción "El Dorado".	El trabajo con la perforadora manual hidráulica aumenta la productividad para el Proyecto de la Unidad de Producción "El Dorado".	VI: Equipos de perforación manual neumático e hidráulico	-Equipo de perforación manual neumático Jack Leg -Equipo de perforación manual hidráulica HRD100 - Tiempo posicionamiento (min) Tiempo penetración (min) Tiempo salida y empate (min) Tiempo recuperación (min) Tiempo desplazamiento (min) Tiempo ciclo (min) Longitud taladro (m)	Investigación aplicada de enfoque cuantitativo.
						<b>Nivel de Investigación</b>
						Investigación de diseño no experimental.
						<b>Método de Investigación</b>
						La investigación enfoque descriptivo cuantitativa de diseño no experimental.
	<b>Problema Específico</b>	<b>Objetivo Específico</b>	<b>Hipótesis Específico</b>	<b>Variable Dependiente</b>	<b>Variable Dependiente</b>	<b>Población y Muestra</b>
	¿Qué rendimientos de perforación posee la perforadora manual hidráulica en el frente de trabajo?	Establecer los rendimientos de perforación que tiene la perforadora manual hidráulica en el frente de trabajo.	Existe un mayor rendimiento de perforación con el uso de la perforadora manual hidráulica en el frente de trabajo.	VD: Mejora en la productividad de perforación	Productividad de perforación Tj 250 - Velocidad de perforación (pp/min) - Rendimiento (N° tal/h) - Eficiencia (%) - Costos unitarios (USD/pp)	La población corresponde a la ejecución y aplicación de los equipos de perforación en la actividad de perforación del proyecto Unidad Productiva "El Dorado". La muestra corresponde a la aplicación de equipos Jack Leg y HRD100 en el Tajo 250 de la Unidad Productiva El Dorado.
				<b>Variables Asociadas</b>	<b>Variables Asociadas</b>	<b>Técnicas e Instrumentos</b>
	¿Qué costos implican la perforadora manual hidráulica para determinar su productividad?	Determinar los costos de la perforadora manual hidráulica asociados en su productividad.	Los costos de la perforadora manual hidráulica son menores a mediano y largo plazo.	Operaciones	Corresponde al diseño de la malla de perforación de estudio de la U. P. El Dorado.  Diseño de malla de perforación del tajo 250 de la Unidad Productiva El Dorado.	Se aplica técnica de observación y análisis documental técnica de los equipos de perforación Jack Leg y HRD100, y su mejora en la productividad de perforación de la Unidad Productiva El Dorado. Respecto a los instrumentos se aplica guías de observación, guías de análisis documental, confiabilidad y validez. El procedimiento de se realiza en preliminarmente, campo y gabinete.
						<b>Técnicas de Procesamiento de Datos</b>
	¿Qué rentabilidad ofrece la perforadora manual hidráulica frente perforadoras neumáticas?	Comparar la rentabilidad de la perforadora manual hidráulica con la perforadora neumática.	La rentabilidad aumenta relativamente con el uso de la perforadora manual hidráulica.			El tratamiento de datos corresponde al análisis descriptivo de la variable independiente y análisis cuantitativo de la variable de pendiente de mejoras en la productividad; el análisis estadístico y normalidad se realiza con la prueba de Shapiro Wilk, el análisis de homogeneidad de varianzas con la prueba de Levene, y el contraste de hipótesis del investigador con la prueba t Student del programa SPSS.

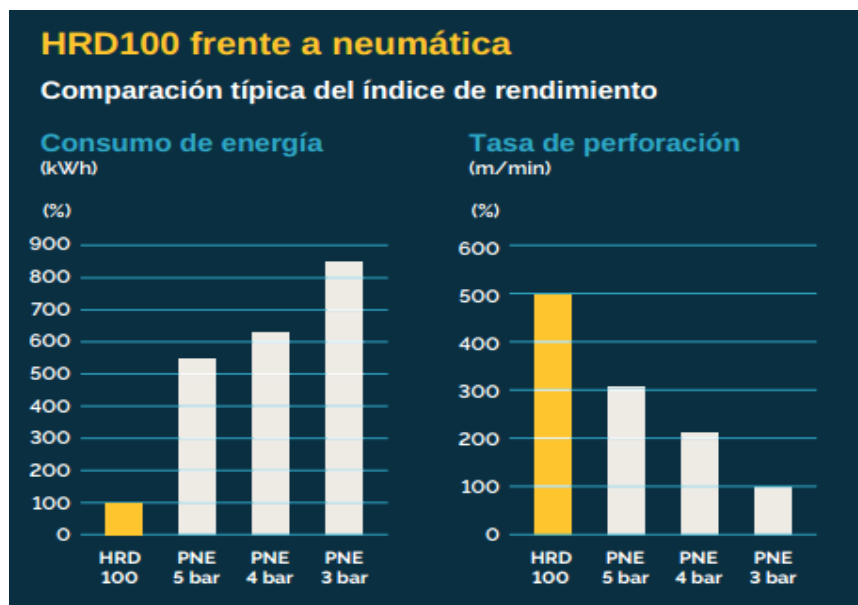
Fuente: Elaboración propia.

## Anexo 2. Especificaciones Técnicas del Perforadora HRD100

### El sistema HRD tiene dos misiones

La primera es proporcionar un sistema hidráulico de perforación que le ayude a superar sus objetivos de producción de una manera segura. Gracias a su sistema hidráulico, no tendrá que preocuparse de perder tiempo de producción por falta de presión de aire a gran profundidad. También nos hemos esforzado en diseñar un sistema que le ayude a evitar el levantamiento de cargas pesadas y las pérdidas de energía.

La segunda misión consiste en proporcionar una buena relación calidad-precio durante un largo periodo de tiempo. Para tener éxito, solo usamos los mejores materiales y piezas disponibles y los combinamos con sistemas de seguridad activa que le protegen tanto a usted como a los equipos. Es la única forma de hacerlo.



## El HRD100 está diseñado para dejarle trabajar

Con rapidez y con un bajo coste por metro perforado. Concéntrese en la roca y nosotros hacemos el resto. No importa el tipo de roca. Necesita un martillo que le permita una alta precisión y calidad en la perforación de taladros con rapidez y seguridad.

Perforadora		RD100
Longitud total	mm	655
Peso sin mangueras	kg	23
Dimensión del mango	mm	22x159
Consumo de aceite (120 bar)	L/min	38
Tasa de impacto	blows/min	3600-4000
Par de rotación	Nm	50
Frecuencia	Hz	65
Máx. diámetro del agujero	mm	42
Presión laboral	bar	100-120
Presión de trabajo, aceite	bar	5-8
Temperatura de trabajo, aceite	°C	20-60
Temperatura de trabajo, agua	°C	5-30
Tasa de flujo del agua	L/min	12
Máx. profundidad de perforación	m	2,4
Temperatura ambiente	°C	5-40
Número de pieza (versión global)		8311 0303 74
Número de pieza		8311 0304 10

### Datos de ruido y vibraciones

Noise		Vibración
Valores declarados		Declared values
Presión sonora	Potencia de sonido	Valores de tres ejes
EN ISO 11203	ISO 15744	EN ISO 5349-2
Lp r-1m dB(A) rel 20µPa	Lw guaranteed dB(A) rel 1pW	A m/s <sup>2</sup> value
105	110	11

El RD100 incluye una función de arranque suave de fácil acceso con una sola mano, lo que le permite trabajar de forma más precisa y facilita especialmente los trabajos de emboquillado. Para las situaciones en las que se necesite una mayor velocidad, el RD100 es uno de los martillos con más potencia del mercado.

Su sistema hidráulico ofrece una mayor velocidad de perforación que los sistemas eléctricos y consume una cantidad de energía significativamente menor que la de los martillos neumáticos. También protege su audición: el ruido percibido es aproximadamente un 50 % menor que el de una perforadora neumática. Una perforación de calidad significa que sólo se utiliza el agua necesaria para el barrido. El RD100 tiene un ajuste de agua de cinco pasos para utilizar la cantidad correcta de agua en cada paso y cuando detenga la perforación, el flujo también se detiene automáticamente. Por supuesto, sigue teniendo la capacidad de forzar el suministro de agua para purgar la perforadora si se atasca. Una cubierta de poliuretano proporciona resistencia y amortiguación de vibraciones. El RD100 se ha probado comprobando que soporta tanto un uso intensivo como caídas desde más de un metro de altura.

### **Energía con la PP100**

Para mantener la concentración, tiene que conservar su energía. La PP100 les cubre las espaldas y le permite ahorrar tiempo y dinero. La PP100 ha sido diseñada para mantener el peso al mínimo y lograr que tanto su elevación como su desplazamiento sean más sencillos. Gracias a su menor peso, podrá dedicar más tiempo y energía a perforar. También la hemos hecho lo más compacta posible para ofrecerle más espacio de carga. La PP100 puede incluso apilarse y manejarse boca abajo. Y cuando se pone en marcha, la unidad de potencia prácticamente funciona sola. Cuenta con funciones inteligentes que

controlan el flujo y la temperatura del aceite, y ayudan a evitar las averías por sobrecalentamiento.

Paquete de energía		PP100
Tamaño: L x W x H	mm	695 x 402 x 352
Rango de temperatura ambiente	°C	5 - 40
Rango de ambiente húmedo	%	10 - 95
Peso incluido aceite	kg	45
Flujo de aceite	L/min	38
Temperatura del aceite hidráulico	°C	20 - 60
Presión nominal	bar	120
Tipo de bomba		Helical rotor pump, directly driven from the motor shaft
Filtración		10µ filter in return line. Filter by-pass valve
Sistema de refrigeración		Water
Tipo de motor		Inverter controlled 3 phase PM motor
Potencia de entrada	kW	10
Fuente de alimentación		380/400V; 440V - 525V ± 10%, 50Hz, 12A - 480v
Enchufe		5 pole, 3P, pilot +E
Seguridad eléctrica		Earth supervision, earth in cable screen, installed with a residual current device
Clase IP		IP66
Número de piezas		380/400V: 8311 0304 50 440V: 8311 0304 60 480V: 8311 0304 65 525V: 8311 0304 20

#### Declaración de ruido

Presión sonora EN ISO 11023	Lp, r=1m	74
Nivel de potencia sonora garantizado (2000/14/EC)	Lw, dB(A)	87

Accesorios		Electric cable	Kit de manguera
Longitud	m	100	10
Tipo de manguera		-	2 mangueras hidráulicas, 1 manguera de agua
Paquete de energía		8311 0304 30	8311 0304 40

La unidad de potencia está equipada con refrigeración por agua y protección automática contra sobrecalentamiento. El volumen de aceite puede cambiar con la temperatura y la presión ambiental. Los componentes electrónicos de la PP100 controlan el volumen de aceite y compensan las diferencias de presión, así como los cambios en el entorno, lo que garantiza que permanezca dentro del rango correcto. La misma tecnología le permite trabajar con la PP100 en un ángulo de 45°, sin pérdida de potencia. Y si necesita un extra,

le proporcionamos herramientas sencillas que le permiten reponer el aceite hidráulico en el interior de mina.

### **Soporte accionado por agua con empujador PL100**

Los empujadores son accionados con la misma agua que enfría el equipo de potencia y se utiliza para el barrido. Todos nuestros empujadores de la PL100 se conectan al martillo perforador mediante un único puerto. Las patas de soporte son aptas para actividades mineras en espacios reducidos y pueden soportar las condiciones más extremas. Los dientes están fabricados en acero con carburo de tungsteno, que es mucho más rígido y resistente que el acero corriente. Un mango robusto facilita su transporte.

Fuente: Elaboración propia.

**Anexo 3. Registro de tiempos perforadora Jack Leg en el Taj250**

N° Taladros	Tiempo de Posición (min)	Tiempo de Penetración (min)				Tiempo de Salida y Empate (min)				Tiempo del Ciclo (min)	Longitud de Taladro (m)
		2'	4'	6'	8'	2'	4'	6'	8'		
1	00:00:53	00:00:43	00:01:01	00:01:03	00:00:56	00:00:32	00:00:22	00:00:28	00:00:45	00:06:43	1.85
2	00:00:36	00:00:56	00:01:07	00:00:58	00:00:41	00:00:17	00:00:18	00:00:28	00:00:18	00:05:39	2.06
3	00:00:21	00:01:01	00:01:04	00:00:55	00:00:42	00:00:19	00:00:23	00:00:31	00:00:20	00:05:36	1.88
4	00:00:32	00:01:28	00:00:51	00:01:07	00:01:13	00:01:08	00:00:28	00:00:32	00:00:15	00:07:34	1.94
5	00:00:28	00:01:08	00:00:47	00:00:54	00:00:49	00:00:19	00:00:21	00:00:47	00:00:32	00:06:03	2.20
6	00:00:35	00:01:19	00:00:31	00:01:04	00:00:54	00:00:20	00:00:37	00:00:35	00:00:19	00:06:13	2.28
7	00:00:19	00:00:53	00:00:36	00:01:07	00:01:22	00:00:21	00:00:21	00:00:20	00:00:23	00:05:42	2.33
8	00:00:26	00:00:42	00:01:00	00:01:05	00:00:43	00:00:15	00:00:24	00:00:27	00:00:19	00:05:20	2.03
9	00:00:19	00:00:38	00:00:43	00:01:03	00:00:48	00:00:18	00:00:12	00:00:18	00:00:14	00:04:31	2.07
10	00:00:22	00:00:59	00:00:47	00:00:52	00:00:59	00:00:16	00:00:11	00:00:14	00:00:12	00:04:52	1.78
11	00:00:52	00:01:01	00:01:03	00:00:58	00:01:09	00:00:21	00:00:19	00:00:13	00:00:15	00:06:12	2.18
12	00:00:37	00:00:46	00:00:43	00:00:49	00:00:58	00:00:22	00:00:21	00:00:12	00:00:14	00:05:00	2.29
13	00:00:22	00:00:48	00:00:55	00:00:50	00:01:10	00:00:23	00:00:13	00:01:15	00:00:12	00:06:08	2.21
14	00:00:20	00:00:44	00:01:03	00:01:05	00:00:46	00:00:15	00:00:15	00:00:18	00:00:17	00:05:02	2.31
15	00:00:12	00:00:58	00:01:00	00:01:02	00:00:47	00:00:12	00:00:11	00:00:23	00:00:12	00:04:57	2.28
16	00:00:21	00:00:45	00:00:52	00:01:23	00:00:50	00:00:14	00:00:19	00:00:16	00:00:20	00:05:19	2.09
17	00:00:16	00:01:00	00:01:02	00:00:53	00:01:08	00:00:19	00:00:13	00:00:11	00:00:10	00:05:13	2.28
18	00:00:20	00:00:49	00:01:00	00:00:56	00:00:53	00:01:09	00:00:14	00:00:17	00:00:13	00:05:51	2.00
19	00:00:43	00:00:44	00:01:06	00:00:59	00:01:09	00:00:18	00:00:16	00:00:15	00:00:12	00:05:42	2.02
20	00:00:25	00:00:47	00:01:03	00:01:01	00:01:00	00:00:24	00:00:11	00:00:14	00:00:16	00:05:21	2.31
21	00:00:38	00:00:40	00:01:00	00:00:53	00:00:47	00:00:23	00:00:16	00:00:17	00:00:12	00:05:05	2.33
22	00:00:31	00:01:07	00:00:57	00:01:00	00:00:58	00:00:12	00:00:18	00:00:14	00:00:13	00:05:31	2.14
23	00:00:27	00:01:03	00:00:56	00:01:07	00:01:01	00:00:18	00:00:20	00:00:21	00:00:27	00:06:00	2.14

24	00:00:40	00:01:09	00:01:01	00:00:47	00:00:46	00:00:15	00:00:18	00:00:23	00:00:28	00:05:46	2.29
25	00:00:33	00:00:58	00:01:03	00:01:08	00:00:48	00:00:21	00:00:16	00:00:17	00:00:12	00:05:36	2.23
26	00:00:18	00:01:07	00:00:49	00:00:54	00:00:57	00:00:12	00:00:11	00:00:18	00:00:16	00:05:02	2.06
27	00:00:15	00:01:11	00:01:00	00:00:45	00:01:13	00:00:16	00:00:13	00:00:25	00:00:15	00:05:33	2.12
28	00:00:17	00:01:07	00:01:06	00:01:07	00:01:08	00:00:20	00:00:15	00:00:18	00:00:17	00:05:55	2.26
29	00:00:46	00:00:47	00:00:59	00:01:09	00:01:00	00:00:13	00:00:16	00:00:14	00:00:13	00:05:37	2.19
30	00:00:30	00:01:12	00:01:05	00:00:54	00:00:47	00:00:25	00:00:13	00:00:19	00:00:17	00:05:42	2.09
31	00:00:18	00:01:15	00:00:47	00:01:08	00:00:49	00:00:21	00:00:23	00:00:34	00:00:11	00:05:45	2.08
32	00:00:11	00:01:06	00:00:52	00:00:56	00:00:57	00:00:17	00:00:21	00:00:31	00:00:12	00:05:24	2.12
33	00:00:19	00:00:57	00:01:09	00:01:02	00:01:10	00:00:26	00:00:16	00:00:30	00:00:15	00:06:04	2.21
34	00:00:23	00:01:06	00:00:58	00:01:01	00:01:03	00:00:13	00:00:17	00:00:18	00:00:21	00:05:41	2.00
35	00:00:22	00:00:48	00:00:55	00:00:50	00:01:10	00:00:23	00:00:13	00:01:15	00:00:12	00:06:08	2.21
36	00:00:20	00:00:44	00:01:03	00:01:05	00:00:46	00:00:15	00:00:15	00:00:18	00:00:17	00:05:02	2.31
37	00:00:35	00:01:33	00:00:26	00:00:58	00:00:43	00:00:15	00:00:20	00:00:18	00:00:39	00:05:46	1.38
38	00:00:17	00:01:07	00:01:06	00:01:07	00:01:08	00:00:20	00:00:15	00:00:18	00:00:17	00:05:55	2.26
39	00:00:25	00:00:47	00:01:03	00:01:01	00:01:00	00:00:24	00:00:11	00:00:14	00:00:16	00:05:21	2.31
40	00:00:38	00:00:40	00:01:00	00:00:53	00:00:47	00:00:23	00:00:16	00:00:17	00:00:12	00:05:05	2.33
41	00:00:31	00:01:07	00:00:57	00:01:00	00:00:58	00:00:12	00:00:18	00:00:14	00:00:13	00:05:31	2.14
42	00:00:27	00:01:03	00:00:56	00:01:07	00:01:01	00:00:18	00:00:20	00:00:21	00:00:27	00:06:00	2.14
43	00:00:11	00:01:06	00:00:52	00:00:56	00:00:57	00:00:17	00:00:21	00:00:31	00:00:12	00:05:24	2.12
44	00:00:19	00:00:57	00:01:09	00:01:02	00:01:10	00:00:26	00:00:16	00:00:30	00:00:15	00:06:04	2.21
45	00:00:23	00:01:06	00:00:58	00:01:01	00:01:03	00:00:13	00:00:17	00:00:18	00:00:21	00:05:41	2.00
46	00:00:22	00:00:48	00:00:55	00:00:50	00:01:10	00:00:23	00:00:13	00:01:15	00:00:12	00:06:08	2.21
47	00:00:20	00:00:44	00:01:03	00:01:05	00:00:46	00:00:15	00:00:15	00:00:18	00:00:17	00:05:02	2.31
48	00:00:35	00:01:33	00:00:26	00:00:58	00:00:43	00:00:15	00:00:20	00:00:18	00:00:39	00:05:46	1.38
<b>Total</b>	<b>00:20:59</b>	<b>00:46:59</b>	<b>00:44:56</b>	<b>00:48:04</b>	<b>00:45:45</b>	<b>00:16:25</b>	<b>00:13:44</b>	<b>00:19:29</b>	<b>00:14:07</b>	<b>04:30:28</b>	<b>101,87</b>
<b>Promedio</b>	<b>00:00:26</b>	<b>00:00:59</b>	<b>00:00:57</b>	<b>00:01:00</b>	<b>00:00:57</b>	<b>00:00:20</b>	<b>00:00:17</b>	<b>00:00:24</b>	<b>00:00:18</b>	<b>00:05:38</b>	<b>2.13</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Anexo 4. Registro de tiempos perforadora HRD100 en el Taj250**

N° Taladros	Tiempo de Posición (min)	Tiempo Efectivo Perforación (min)				Tiempo de Salida y Empate (min)				Tiempo del Ciclo (min)	Longitud de Taladro (m)
		2'	4'	6'	8'	2'	4'	6'	8'		
1	00:00:41	00:00:17	00:00:25	00:00:26	00:00:23	00:00:24	00:00:16	00:00:21	00:00:34	00:03:47	1.98
2	00:00:27	00:00:23	00:00:27	00:00:24	00:00:17	00:00:13	00:00:14	00:00:21	00:00:14	00:02:59	2.21
3	00:00:16	00:00:25	00:00:26	00:00:23	00:00:17	00:00:14	00:00:17	00:00:23	00:00:15	00:02:56	2.02
4	00:00:24	00:00:36	00:00:21	00:00:27	00:00:30	00:00:52	00:00:21	00:00:24	00:00:11	00:04:06	2.08
5	00:00:21	00:00:28	00:00:19	00:00:22	00:00:20	00:00:14	00:00:16	00:00:35	00:00:24	00:03:19	2.35
6	00:00:26	00:00:32	00:00:13	00:00:26	00:00:22	00:00:15	00:00:28	00:00:26	00:00:14	00:03:23	2.44
7	00:00:14	00:00:22	00:00:15	00:00:27	00:00:33	00:00:16	00:00:16	00:00:15	00:00:17	00:02:55	2.49
8	00:00:20	00:00:17	00:00:25	00:00:27	00:00:17	00:00:11	00:00:18	00:00:20	00:00:14	00:02:49	2.17
9	00:00:14	00:00:15	00:00:17	00:00:26	00:00:19	00:00:14	00:00:09	00:00:14	00:00:11	00:02:19	2.22
10	00:00:16	00:00:24	00:00:19	00:00:21	00:00:24	00:00:12	00:00:08	00:00:11	00:00:09	00:02:25	1.91
11	00:00:40	00:00:25	00:00:26	00:00:24	00:00:28	00:00:16	00:00:14	00:00:10	00:00:11	00:03:14	2.33
12	00:00:28	00:00:19	00:00:17	00:00:20	00:00:24	00:00:16	00:00:16	00:00:09	00:00:11	00:02:39	2.45
13	00:00:16	00:00:19	00:00:23	00:00:21	00:00:29	00:00:17	00:00:10	00:00:57	00:00:09	00:03:21	2.37
14	00:00:15	00:00:18	00:00:26	00:00:27	00:00:19	00:00:11	00:00:11	00:00:14	00:00:13	00:02:33	2.47
15	00:00:09	00:00:24	00:00:25	00:00:25	00:00:19	00:00:09	00:00:08	00:00:17	00:00:09	00:02:25	2.44
16	00:00:16	00:00:18	00:00:21	00:00:34	00:00:20	00:00:11	00:00:14	00:00:12	00:00:15	00:02:41	2.24
17	00:00:12	00:00:25	00:00:25	00:00:22	00:00:28	00:00:14	00:00:10	00:00:08	00:00:08	00:02:31	2.44
18	00:00:15	00:00:20	00:00:25	00:00:23	00:00:22	00:00:53	00:00:11	00:00:13	00:00:10	00:03:10	2.14
19	00:00:32	00:00:18	00:00:27	00:00:24	00:00:28	00:00:14	00:00:12	00:00:11	00:00:09	00:02:55	2.16
20	00:00:19	00:00:19	00:00:26	00:00:25	00:00:25	00:00:18	00:00:08	00:00:11	00:00:12	00:02:42	2.47
21	00:00:29	00:00:16	00:00:25	00:00:22	00:00:19	00:00:17	00:00:12	00:00:13	00:00:09	00:02:41	2.49
22	00:00:23	00:00:27	00:00:23	00:00:25	00:00:24	00:00:09	00:00:14	00:00:11	00:00:10	00:02:45	2.29

23	00:00:20	00:00:26	00:00:23	00:00:27	00:00:25	00:00:14	00:00:15	00:00:16	00:00:20	00:03:06	2.29
24	00:00:30	00:00:28	00:00:25	00:00:19	00:00:19	00:00:11	00:00:14	00:00:17	00:00:21	00:03:04	2.45
25	00:00:25	00:00:24	00:00:26	00:00:28	00:00:19	00:00:16	00:00:12	00:00:13	00:00:09	00:02:51	2.39
26	00:00:14	00:00:27	00:00:20	00:00:22	00:00:23	00:00:09	00:00:08	00:00:14	00:00:12	00:02:29	2.21
27	00:00:11	00:00:29	00:00:25	00:00:18	00:00:30	00:00:12	00:00:10	00:00:19	00:00:11	00:02:45	2.27
28	00:00:13	00:00:27	00:00:27	00:00:27	00:00:28	00:00:15	00:00:11	00:00:14	00:00:13	00:02:55	2.42
29	00:00:35	00:00:19	00:00:24	00:00:28	00:00:25	00:00:10	00:00:12	00:00:11	00:00:10	00:02:53	2.34
30	00:00:23	00:00:29	00:00:27	00:00:22	00:00:19	00:00:19	00:00:10	00:00:14	00:00:13	00:02:55	2.24
31	00:00:14	00:00:31	00:00:19	00:00:28	00:00:20	00:00:16	00:00:17	00:00:26	00:00:08	00:02:57	2.23
32	00:00:08	00:00:27	00:00:21	00:00:23	00:00:23	00:00:13	00:00:16	00:00:23	00:00:09	00:02:44	2.27
33	00:00:14	00:00:23	00:00:28	00:00:25	00:00:29	00:00:20	00:00:12	00:00:23	00:00:11	00:03:05	2.37
34	00:00:17	00:00:27	00:00:24	00:00:25	00:00:26	00:00:10	00:00:13	00:00:14	00:00:16	00:02:51	2.14
35	00:00:16	00:00:19	00:00:23	00:00:21	00:00:29	00:00:17	00:00:10	00:00:57	00:00:09	00:03:21	2.37
36	00:00:15	00:00:18	00:00:26	00:00:27	00:00:19	00:00:11	00:00:11	00:00:14	00:00:13	00:02:33	2.47
37	00:00:26	00:00:38	00:00:10	00:00:24	00:00:17	00:00:15	00:00:15	00:00:14	00:00:29	00:03:09	1.47
38	00:00:13	00:00:27	00:00:27	00:00:27	00:00:28	00:00:15	00:00:11	00:00:14	00:00:13	00:02:55	2.42
39	00:00:19	00:00:19	00:00:26	00:00:25	00:00:25	00:00:18	00:00:08	00:00:11	00:00:12	00:02:42	2.47
40	00:00:29	00:00:16	00:00:25	00:00:22	00:00:19	00:00:17	00:00:12	00:00:13	00:00:09	00:02:41	2.49
41	00:00:23	00:00:27	00:00:23	00:00:25	00:00:24	00:00:09	00:00:14	00:00:11	00:00:10	00:02:45	2.29
42	00:00:20	00:00:26	00:00:23	00:00:27	00:00:25	00:00:14	00:00:15	00:00:16	00:00:20	00:03:06	2.29
43	00:00:08	00:00:27	00:00:21	00:00:23	00:00:23	00:00:13	00:00:16	00:00:23	00:00:09	00:02:44	2.27
44	00:00:14	00:00:23	00:00:28	00:00:25	00:00:29	00:00:20	00:00:12	00:00:23	00:00:11	00:03:05	2.37
45	00:00:17	00:00:27	00:00:24	00:00:25	00:00:26	00:00:10	00:00:13	00:00:14	00:00:16	00:02:51	2.14
46	00:00:16	00:00:19	00:00:23	00:00:21	00:00:29	00:00:17	00:00:10	00:00:57	00:00:09	00:03:21	2.37
47	00:00:15	00:00:18	00:00:26	00:00:27	00:00:19	00:00:11	00:00:11	00:00:14	00:00:13	00:02:33	2.47
48	00:00:26	00:00:38	00:00:10	00:00:24	00:00:17	00:00:11	00:00:15	00:00:14	00:00:29	00:03:05	1.47
<b>Total</b>	<b>00:15:54</b>	<b>00:19:09</b>	<b>00:18:19</b>	<b>00:19:35</b>	<b>00:18:39</b>	<b>00:12:30</b>	<b>00:10:24</b>	<b>00:14:46</b>	<b>00:10:42</b>	<b>02:19:57</b>	<b>109,15</b>
<b>Promedio</b>	<b>00:00:20</b>	<b>00:00:24</b>	<b>00:00:23</b>	<b>00:00:24</b>	<b>00:00:23</b>	<b>00:00:15</b>	<b>00:00:13</b>	<b>00:00:18</b>	<b>00:00:13</b>	<b>00:02:55</b>	<b>2.28</b>

Fuente: Elaboración propia.