

Universidad Nacional de Ingeniería
Facultad de Ingeniería Geológica Minera y Metalúrgica



TESIS

**Variación de parámetros para controlar la trayectoria de sondajes
en máquinas diamantinas en un proyecto minero**

Para obtener el título profesional de Ingeniero de Minas.

Elaborado por

Tino Paolo Capari Anco

 [0009-0000-1481-2753](https://orcid.org/0009-0000-1481-2753)

Asesor

MSc. José Antonio Corimanya Mauricio

 [0000-0003-1078-4155](https://orcid.org/0000-0003-1078-4155)

LIMA – PERÚ

2024

Citar/How to cite	Capari Anco [1]
Referencia/Reference	[1] T. Capari Anco, " <i>Variación de parámetros para controlar la trayectoria de sondajes en máquinas diamantinas en un proyecto minero</i> " [Tesis de pregrado]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2024.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

Citar/How to cite	(Capari, 2024)
Referencia/Reference	Capari, T. (2024). <i>Variación de parámetros para controlar la trayectoria de sondajes en máquinas diamantinas en un proyecto minero</i> [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

Con mucho amor y cariño dedico este trabajo de tesis para:

*Mis padres Sr. Florentino Capari y Sra. Zoila Anco, y a mi
querida familia por su apoyo.*

Agradecimientos

Agradezco de corazón a Dios, a mi familia y todas aquellas personas que me brindaron su apoyo en las circunstancias difíciles de la vida, todo esto encaminó al logro de mi carrera profesional.

A mi querida Universidad Nacional de Ingeniería, a los estimados docentes que me guiaron en la formación académica adquirida.

Resumen

En el presente informe se describió un proyecto minero en la región Ayacucho en los años 2021 y 2022. Partiendo de la premisa real que todos los sondajes diamantinos presentan una desviación en la inclinación del taladro (Buzamiento, Azimut), el cual es medido desde un punto inicial y un punto final mediante coordenadas. En este proyecto nos enfocamos en la importancia de los sondajes diamantinos y el control de la desviación de estos sondajes mediante la utilización de parámetros operativos complementada por una medición de desviación de sondaje utilizando el equipo Champ Gyro, se tuvo como objetivo principal una adecuada utilización de estos parámetros en conjunto, para esto, esta investigación fue de tipo cuantitativa con diseño pre y post, experimental, en el cual se utilizó el software SPSS, el cual es un software estadístico que nos ayudó a determinar una variación de estos parámetros. Dentro de estos parámetros operativos mencionados se encuentran: profundidad del taladro (m), Velocidad de Rotación (RPM), Empuje (Pulldown). La muestra en estudio se realizó tomando 4 sondajes de un proyecto minero en una campaña de 5000 metros, en una empresa minera en Ayacucho. Los resultados obtenidos fueron interpretados de los cuadros estadísticos resultantes en el SPSS y van acorde a lo planteado en los objetivos; a pesar, que varían para los objetivos específicos propuestos.

Palabras claves — Sondaje diamantino, Champ Gyro, Parámetros Operativos, SPSS.

Abstract

This report describes a mining project in the Ayacucho region in the years 2021 and 2022. Starting from the real premise that all diamond drill holes present a deviation in the inclination of the drill (dip, azimuth), which is measured from an initial point and an end point by means of coordinates. In this project we focus on the importance of diamond drillings and the control of the deviation of these drillings through the use of operational parameters complemented by a measurement of drilling deviation using the Champ Gyro equipment, the main objective was the proper use of these parameters together, for this, this research was quantitative with pre and post, experimental design, in which SPSS software was used, which is a statistical software that helped us to determine a variation of these parameters. Among these operating parameters mentioned are: drill depth (m), Rotational Speed (RPM), Thrust (Pulldown). The sample under study was carried out taking 4 drillings of a mining project in a campaign of 5000 meters, in a mining company in Ayacucho. The results obtained were interpreted from the resulting statistical tables in SPSS and are in accordance with the objectives, although they vary for the specific objectives proposed.

Keywords — Drill Holes, Champ Gyro, Operational Parameters, SPSS.

Tabla de contenido

	Pág.
Resumen	v
Abstract	vi
Introducción	xiv
Capítulo I: Parte Introdutoria del trabajo.....	1
1.1 Generalidades	1
1.2 Antecedentes Referenciales.....	1
1.3 Descripción del problema de investigación.....	3
1.4 Objetivos	6
1.4.1 Objetivos Generales.....	6
1.4.2 Objetivos Específicos	6
1.5 Hipótesis	7
1.5.1 Hipótesis General.....	7
1.5.2 Hipótesis Específica	7
Capítulo II. Marcos teórico y conceptual	8
2.1 Marco teórico.....	8
2.1.1 Perforaciones Roto-Percusivas	8
2.1.2 Perforaciones Rotativas	11
2.1.3 Perforación diamantina.....	12
2.2 Bases conceptuales	35
2.2.1 Seguridad en Perforación Diamantina	35
2.2.2 Parámetros de perforación	37
2.2.3 Perforación Diamantina	38
2.2.4 Trayectoria de pozos	39
2.2.5 Estadística inferencial.....	43
2.2.6 Estadística paramétrica	43
2.2.7 Estadística no paramétrica	43

2.2.8	Spss	43
Capítulo III: Desarrollo del trabajo de investigación		44
3.1	Marco metodológico	44
3.1.1	Tipo de Investigación.....	44
3.1.2	Ámbito temporal y espacial.....	44
3.1.3	Población y muestra.....	44
3.1.4	Criterios de inclusión y exclusión.....	44
3.1.5	Métodos, materiales y técnicas e instrumentos para la recolección, procesamiento y análisis de datos	45
3.1.6	Métodos y técnicas para la presentación y análisis de datos.....	45
3.1.7	Análisis Cuantitativo	45
3.1.8	Operacionalización de Variables	46
3.2	Evaluación de la trayectoria del primer grupo de sondajes	46
	49	
3.3	Evaluación de la trayectoria para el segundo grupo de sondajes	50
3.4	Prueba de Normalidad.....	53
3.5	Prueba de Mann-Whitney:.....	54
3.6	Influencia de los parámetros operativos en la trayectoria de los sondajes.....	55
3.6.1	Influencia en el Buzamiento.....	55
3.6.2	Influencia en el Azimut	58
Capítulo IV: Análisis y discusión de resultados		60
4.1	Prueba de normalidad	60
4.1.1	Para el primer grupo.....	60
4.1.2	Para el segundo grupo.	60
4.2	Prueba de U de Mann Whitney.....	60
4.2.1	Para el primer grupo.....	60
4.2.2	Para el segundo Grupo.	61
4.3	Prueba de regresión Lineal Múltiple	62

4.3.1	Para el Buzamiento.....	62
4.3.2	Para el Azimut.....	62
4.4	Prueba de validación de hipótesis.....	62
	Conclusiones.....	64
	Recomendaciones.....	65
	Referencias bibliográficas.....	66
	Anexos.....	1

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1: Esquema general del conjunto de martillo en fondo con la broca.....	11
Tabla 2: Profundidad en la perforación con diferente varilla de perforación	14
Tabla 3: Fuerza motriz	14
Tabla 4: Par torsor y clasificación de RPM.....	15
Tabla 5: Nuevas técnicas de perforación diamantina de los últimos años y sus beneficios.	41
Tabla 6: Operacionalización de Variables	46
Tabla 7: Cuadro del Sondaje DDH 624-S21 con broca 7-10	48
Tabla 8: Cuadro estadístico descriptivo de la Inclinación y el Azimut del sondaje DDH624-S21.....	48
Tabla 9: Cuadro del Sondaje DDH 625-S25 con broca 7-10	49
Tabla 10: Cuadro estadístico descriptivo de la Inclinación y el Azimut del sondaje DDH625-S25.....	49
Tabla 11: Cuadro del Sondaje DDH 632-S37 con broca 7-10	51
Tabla 12: Cuadro estadístico descriptivo de la Inclinación y el Azimut del sondaje DDH632-S37.....	51
Tabla 13: Cuadro del Sondaje DDH 635-S41 con broca 7-10 y 4-7	52
Tabla 14: Cuadro estadístico descriptivo de la Inclinación y el Azimut del sondaje DDH635-S41.....	53
Tabla 15: Medidas de Tendencia Central del primer grupo	53
Tabla 16: Medidas de Tendencia Central del segundo grupo	53
Tabla 17: Rango Promedio y Suma de Rangos en las variables de inclinación medida y azimut medida	54
Tabla 18: Inclinación medida y Azimut Medida	54
Tabla 19: Rango Promedio y Suma de Rangos en las variables de inclinación medida y azimut medida	55
Tabla 20: Inclinación de medida y Azimut de Medida.....	55

Tabla 21: Resumen Modelo (Inclinación Medida) DDH624-S21	56
Tabla 22: Coeficiente RPM para la Inclinación Medida DDH624-S21	56
Tabla 23: Resumen Modelo (Inclinación Medida) DDH632-S37	56
Tabla 24: Coeficiente RPM para la Inclinación Medida DDH632-S37	56
Tabla 25: Resumen Modelo (Inclinación Medida) DDH625-S25	57
Tabla 26: Coeficiente Presión para la Inclinación Medida DDH625-S25	57
Tabla 27: Resumen Modelo (Inclinación Medida) DDH635-S41	57
Tabla 28: Coeficiente Presión para la Inclinación Medida DDH635-S41	57
Tabla 29: Resumen Modelo (Azimut Medida) DDH624-S21	58
Tabla 30: Coeficiente RPM para la Azimut Medida DDH624-S21	58
Tabla 31: Resumen Modelo (Azimut Medida) DDH635-S41	58
Tabla 32: Coeficiente RPM para la Azimut Medida DDH624-S21	58
Tabla 33: Resumen Modelo (Azimut Medida) DDH625-S25	59
Tabla 34: Coeficiente Presión para la Azimut Medida DDH624-S21	59
Tabla 35: Resumen Modelo (Azimut Medida) DDH632-S37	59
Tabla 36: Coeficiente Presión para la Azimut Medida DDH632-S37	59
Tabla 37: Resumen Estadístico.....	63

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1: Tipo de Muestreo Geológico	6
Figura 2: Equipo de perforación con roto percusión	8
Figura 3: Comparativo de perforación martillo en cabeza vs martillo de fondo.....	9
Figura 4: Esquema general del conjunto de martillo de fondo con la broca.....	10
Figura 5: Partes de una broca tricónica	12
Figura 6: Máquina LF #90.....	13
Figura 7: Comparación de tuberías de perforación diamantina	14
Figura 8: Equipo de Perforación en el proyecto	16
Figura 9: Esquema de perforación con corona de diamante	17
Figura 10: Coronas de diamante impregnadas	18
Figura 11: Coronas de diamante según el tipo de roca	19
Figura 12: Partes de una corona impregnada	20
Figura 13: Tipos de vías de agua.....	21
Figura 14: Corona con desgaste ideal	22
Figura 15: Desgaste de diámetro interior	22
Figura 16: Desgaste de diámetro exterior	23
Figura 17: Corona con diamante sobre expuesto.....	23
Figura 18: Corona con cara cristalizada.....	24
Figura 19: Corona con desgaste cóncavo de la cara	24
Figura 20: Corona con desgaste cóncavo de la cara	25
Figura 21: Corona con vías de agua fracturadas	25
Figura 22: Corona con cara quemada.....	26
Figura 23: Tablero de control de parámetros operativos para una LF# 90	27
Figura 24: Fluidos de Perforación	31
Figura 25: Tinajas de fluido de perforación de 1000 y 5000 L.....	33
Figura 26: Matriz de evaluación de riesgos.....	35

Figura 27: IPERC.....	36
Figura 28: Trayectoria de taladros perforados.....	40
Figura 29: Perforación diamantina convencional vs taladros direccionados.....	42

Introducción

La presente tesis de investigación se ha dividido en 04 capítulos, los cuales contiene:

El capítulo I, se describe la importancia de la minería en el Perú, asimismo, los patrones de producción y demanda de los minerales, además, la dificultad actual de los problemas en la exploración de yacimientos, los objetivos de la investigación, la hipótesis, y finalmente los antecedentes referenciales tomados como base para la investigación.

El capítulo II, muestra en el marco teórico, la información los tipos de perforación existentes, la perforación diamantina y su descripción detallada en dimensiones la forma de ejecución, los parámetros de operación en la perforación importantes para definir la orientación del sondaje diamantino, la seguridad en la perforación diamantina y el software SPSS utilizado en la investigación.

En el capítulo III, se desarrolla el trabajo de investigación, con el marco metodológico a detalle, evaluando la trayectoria de dos grupos de sondajes los cuales presentan un cambio en la desviación de la trayectoria proyectada; ya que, se utilizan diferentes parámetros operativos utilizados mediante un control exhaustivo por parte del equipo de medición de sondaje.

En el capítulo IV, se discuten y analizan los resultados obtenidos por el software SPSS mediante la prueba de normalidad, la prueba de la U de Mann Whitney y la prueba de regresión lineal múltiple, para determinar la influencia de los parámetros operativos entre los dos grupos de sondajes diamantinos.

Finalmente, se muestran las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos utilizados en el trabajo de investigación.

Capítulo I: Parte Introductoria del trabajo

1.1 Generalidades

Los patrones de producción y consumo actuales generados por la industria (incluida la minería), el transporte, la agricultura y la urbanización, generan una presión creciente sobre el ambiente y las sociedades. La economía de los países desarrollados está tan arraigada en las demandas de energía y materiales que promueve la expansión de nuevas fronteras extractivas (Schandl, 2018).

Por esto, es de gran importancia la minería en el País, la cual cuenta con etapas para lograr extraer el mineral del macizo rocoso. La primera etapa para la extracción de estos minerales es la exploración; a nivel nacional, en la actualidad existen 106 proyectos mineros de los cuales 60 se encuentran en fase de exploración y representan una inversión de 506 millones de dólares. Además, se registró un crecimiento de 125.6% en la exploración en el mes de agosto respecto al año anterior, a pesar de que, la minería a nivel nacional no se recupera completamente desde el 2019, debido a la pandemia (MINEM, 2021).

1.2 Antecedentes Referenciales

Serath Akin y Celal Karpuz (2008) mencionan en su investigación llamada, Estimación de parámetros de perforación para operaciones con broca de diamante utilizando redes neuronales artificiales, para la INTERNATIONAL JOURNAL OF GEOMECHANICS, que el papel de la perforación diamantina revolucionó la forma de exploración y que el principal desafío es mantener una alta tasa de penetración mientras se mantiene una alta recuperación de testigos, para esto se propone un nuevo enfoque en el cual aprovecha las redes neuronales en la perforación diamantina, para esto se utilizó la data de 6 años de los parámetros operativos de la Investigación y exploración de minerales de Turquía y se aplicó la ANN denominada red de retroalimentación en capas de retro propagación.

Se concluyó que el programa desarrollado podría ser un sistema de entrada y salida que ayuda a los ingenieros en la toma de decisiones para la selección de parámetros operativos.

Jorge Castilla y Juan Herrera (2012) en el paper llamado, El proceso de exploración minera mediante sondeos, describen las tareas previas al proyecto de explotación minera en la cual es importante la calidad de un mineral y de sus elementos adyacentes inherentes en el macizo rocoso, así como de características geotécnicas presentes para la selección del método de explotación aplicando técnicas de exploración de recursos minerales y métodos de evaluación de reservas.

Mantilla Tafur (2019) en su investigación titulada, "Control de la trayectoria de taladros variando tipo de broca y parámetros de perforación con sistema diamantina", en la universidad Privada del Norte, mostró en sus resultados, La medición de sondajes, tiene por finalidad lograr establecer el inicio y fin de la trayectoria del taladro perforado. Partiendo de la premisa real de que todos los taladros se desvían, es muy importante verificar la desviación e inclinación del taladro, esto nos permite saber un punto de origen (coordenada inicial) hasta llegar al fondo del taladro con un punto final (coordenada final). Las perforaciones diamantinas realizadas en estos dos sondajes mostraron de manera real que la variación de estos parámetros de perforación tiene relación directa con el control de la trayectoria (inclinación y azimut), evidenciadas en los resultados de las mediciones según el reporte de avance diario de perforación, y los datos estadísticos encontrados en el análisis.

Se concluye que al evaluar los resultados de la influencia del tipo de broca y los parámetros de perforación en la trayectoria del taladro, se evidencia que existe una contribución significativa conjunta de las variables independientes sobre la dependiente lo que queda en evidencia con el valor de p value menor a $\alpha=0.05$, en el cual se utilizó la regresión múltiple.

José Arana (2014) en su investigación titulada, Medición de la trayectoria de pozos de prospección geológica, en la Universidad Nacional de Cajamarca, mencionó en sus

resultados que, el estudio se basó en el Método Estándar de Medición de Pozos de Prospección Geológica, desarrollado con las normas peruanas vigentes medioambientales y de seguridad industrial. Además, mencionó que el mejor equipo de medición en ese momento fue el Gyro Reflex, gracias a su nanotecnología y equipado con 4 giroscopios que trabajan en serie.

Se concluye que al evaluar los datos numéricos y gráficos obtenidos presentan una desviación de 25.70 m con respecto al punto teórico. La longitud de diseño fue de 900 m; sin embargo, solo se logró avanzar 838.96 m, en otras palabras, no se llegó al objetivo por condiciones adversas, la inclinación final fue de un 70.44°, con respecto a un diseño de 65°, por ende, el pozo se desvió.

Erik Altamirano y Hugo Martinez (2020) en su investigación titulada, Influencia del tipo de broca y parámetros de perforación en la trayectoria de los taladros en la perforación diamantina de una unidad minera. Revisión sistemática entre 2010-2020, en la Universidad Privada del Norte, mencionan que los taladros siempre tienen una desviación sea mínima o máxima.

Se concluye que al analizar los trabajos de investigación pasados tienen un denominador común los cuales son los parámetros de perforación y el tipo de broca, ya que al desconocer de estos puede existir una amplia desviación en el azimut y el ángulo; sin embargo, si se aplican correctamente los parámetros y el tipo de broca solo se tendrá una desviación mínima, ideal en perforaciones diamantinas.

1.3 Descripción del problema de investigación

En la exploración, es la perforación diamantina la cual abarca una gran cantidad recursos de la inversión del proyecto, es considerado un método que se basa en extraer sondeo de perforación para analizarlo, de tal manera, que se determine la mayor información específica del macizo rocoso y del mineral presente, que otros métodos o estudios; además, en la etapa de la exploración es un método que determina la viabilidad del proyecto en términos económicos (Castilla & Herrera, 2012).

El distanciamiento del punto referencial por causa del sentido de rotación del sondaje y los parámetros de perforación es uno de los problemas frecuentes en la perforación diamantina (Salas, 2016).

A pesar que, se desconoce la causa puntual de la desviación, existen factores que influyen principalmente en el aumento o disminución de esta desviación como son: el tipo de broca, el peso de broca, la configuración del equipo y el tipo de macizo rocoso (Arana, 2014).

La causa principal por la cual existe un incremento de desviación en los sondajes es por la deficiente introducción de los parámetros de perforación diamantina; sin embargo, pueden existir otros factores controlables como el estado de la máquina diamantina, el tipo de broca y el tipo de barel, y no controlables como el macizo rocoso y la familia de discontinuidades que estas presentan.

Esto podría conllevar a incumplir la malla de perforación propuesta inicialmente por el geólogo; y para la contrata, al no cumplir con el rango de desviación solicitado por la empresa, no se realizaría el pago de los sondajes ejecutados por la contrata.

El área de las exploraciones realizadas presenta las siguientes coordenadas geográficas:

- Latitud Sur: 14°43'01.1"S
- Latitud Oeste: 72°21'42.6"W

El Perú, utiliza el sistema de coordenadas UTM, para lo referente a minería y concesiones mineras, teniendo como base el sistema PSAD 56.

- Coordenada Norte: 8370474.28.
- Coordenada Este: 779728.16.

El distrito minero de referencia, donde se realiza el proyecto se encuentra accesible desde la ciudad Arequipa, y el tiempo de viaje es aproximadamente 8 horas, los siguientes tramos son parte de la ruta, a continuación:

- Arequipa - Pampa Cañahuas: 95 km. Carretera asfaltada.
- Pampa Cañahuas - Sibayo: 53 km. Carretera afirmada.

- Pampa Sibayo - Caylloma: 69 km. Carretera afirmada.
- Caylloma - Arcata: 90 km. Carretera afirmada.
- Arequipa - Aplao - Orcopampa – Arcata: 360 km. Carretera asfaltada /afirmada.

Las temperaturas promedio máximo mensual oscila alrededor de 10°C y la temperatura mínima promedio que se da en los meses desde junio hasta agosto, llega a temperaturas de -20°C (Bajo Cero). Las precipitaciones se encuentran en un promedio anual de 750 mm y el medio ambiente tiene como característica un clima frígido y húmedo (Hernández Mamani, 2014).

La vegetación predominante en la zona son la ortiga, el ichu y la huayquera, estos pastos tienen un uso doméstico y también para la alimentación de las ovejas y los auquénidos (Hernández Mamani, 2014).

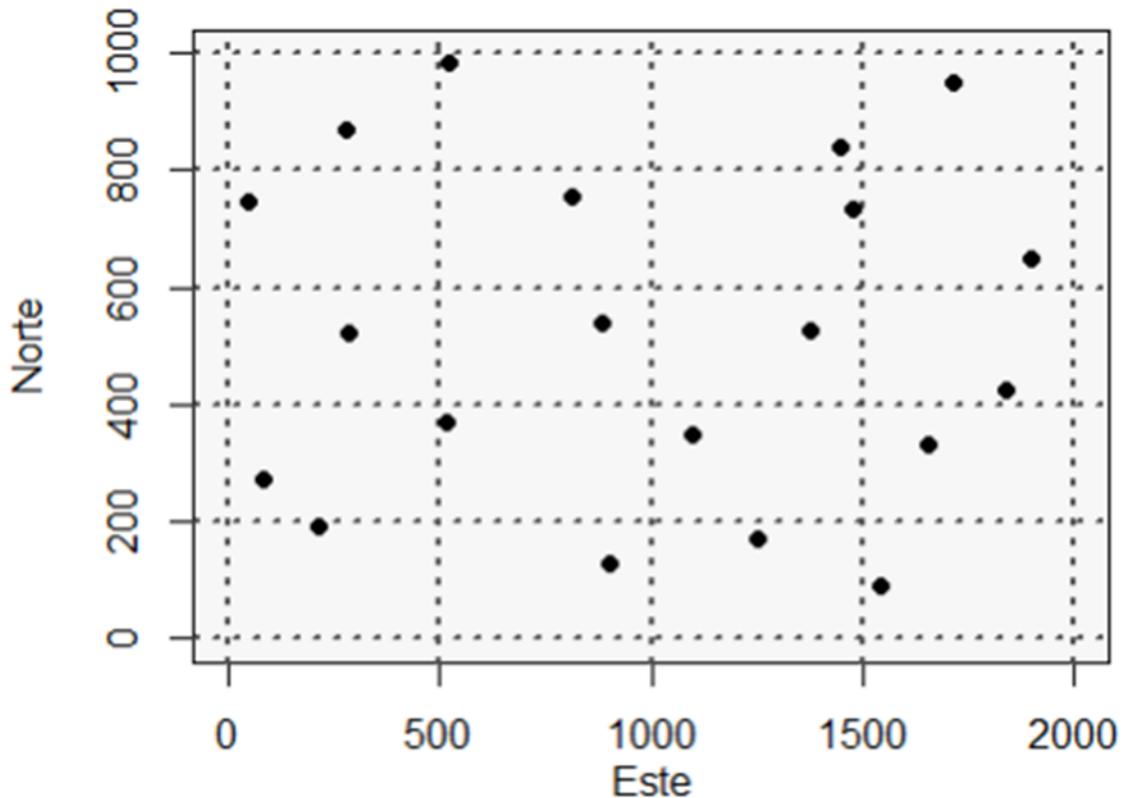
Los animales que habitan en esta zona son las alpacas, llamas, vizcachas, guanaco, taruca, venado, zorro andino, las aves como la pariguana, gaviota, etc (Hernández Mamani, 2014).

La empresa a analizar es una contrata que realiza actividades de perforación diamantina en un proyecto que se encuentra aproximadamente a 300 km de la ciudad de Arequipa con una altitud aproximada de 4600 m.s.n.m.

Se realizaron sondajes de perforación con máquinas diamantinas las cuales debían cumplir con un rango de desviación promedio aceptable para la malla de muestreo geológico; sin embargo, el cliente exigía una desviación de 0.7° cada 100 m, la cual, resulta, un desafío de control más estricto de lo promedio.

Figura 1

Tipo de Muestreo Geológico



Nota. Adaptado Diseño de Mallas de Muestreo en Presencia Anisotrópica (p. 10), por Héctor Vega, 2021, Universidad de Concepción.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivos Generales

- Determinar la variación de parámetros correcta para controlar la trayectoria de sondajes en máquinas diamantinas de un proyecto minero, utilizando la medición de desviación adecuadamente.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Determinar la influencia del parámetro velocidad de rotación sobre la inclinación del taladro (buzamiento) para el control de la trayectoria de sondaje, utilizando la medición de desviación adecuadamente.
- Determinar la influencia del parámetro carga aplicada o empuje sobre la inclinación del taladro (buzamiento) para el control de la trayectoria de sondaje, utilizando la medición de desviación adecuadamente.

- Determinar la influencia del parámetro velocidad de rotación sobre el azimut del taladro para el control de la trayectoria de sondaje, utilizando la medición de desviación adecuadamente.
- Determinar la influencia del parámetro carga aplicada o empuje sobre el azimut del taladro para el control de la trayectoria de sondaje, utilizando la medición de desviación adecuadamente.
- Determinar la influencia del tipo de broca en la trayectoria del taladro (buzamiento y azimut), utilizando la medición de desviación adecuadamente.

1.5 Hipótesis

1.5.1 Hipótesis General

- Existe la variación de parámetros en perforación adecuada para controlar la trayectoria de sondajes en máquinas diamantinas de un proyecto minero utilizando la medición de desviación adecuadamente.

1.5.2 Hipótesis Específica

- Existe una influencia del parámetro velocidad de rotación sobre la inclinación del taladro (buzamiento) para el control de la trayectoria de sondaje, utilizando la medición de desviación adecuadamente.
- Existe una influencia del parámetro carga aplicada o empuje sobre la inclinación del taladro (buzamiento) para el control de la trayectoria de sondaje, utilizando la medición de desviación adecuadamente.
- Existe una influencia del parámetro velocidad de rotación sobre el azimut del taladro para el control de la trayectoria de sondaje, utilizando la medición de desviación adecuadamente.
- Existe una influencia del parámetro carga aplicada o empuje sobre el azimut del taladro para el control de la trayectoria de sondaje, utilizando la medición de desviación adecuadamente.
- El tipo de broca presenta una influencia directa en la trayectoria de sondaje (buzamiento y azimut), utilizando la medición de desviación adecuadamente.

Capítulo II. Marcos teórico y conceptual

2.1 Marco teórico

2.1.1 Perforaciones Roto-Percusivas

El nombre de roto percusión indica que debe existir en la perforación un empuje y una rotación, teniendo como objetivo, una fragmentación adecuada de la roca, la cual se puede apreciar en la Figura 1 con un equipo de perforación con roto percusión (Castilla & Herrera, 2012).

Figura 2

Equipo de perforación con roto percusión



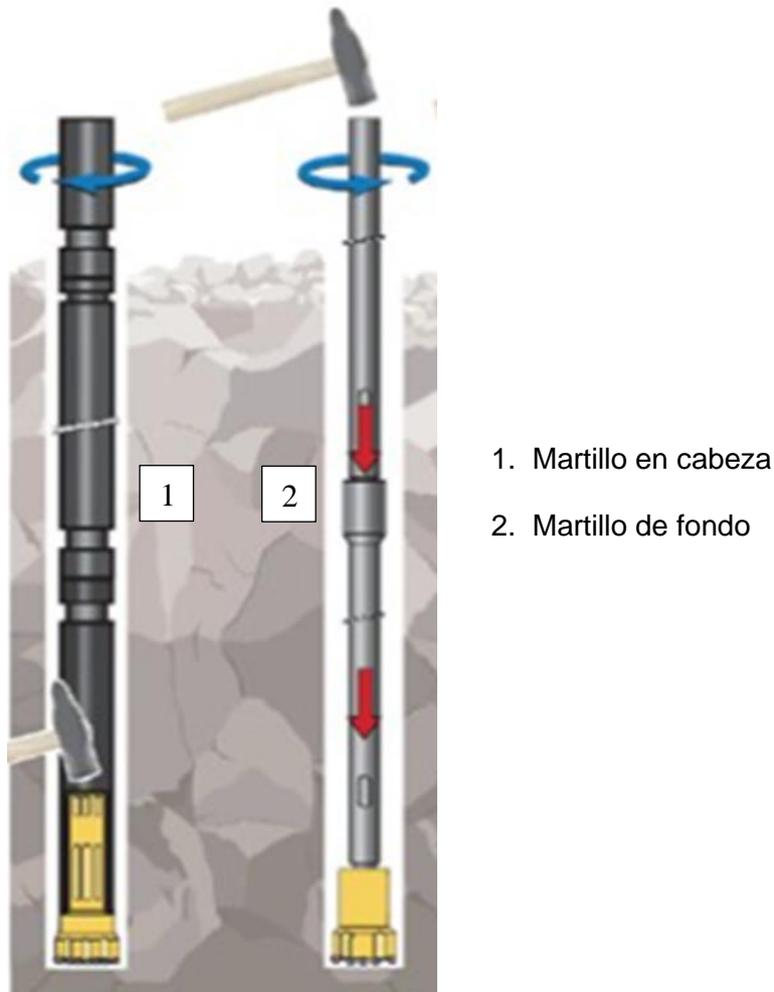
Nota. Adaptado Equipo de perforación con roto percusión [Fotografía], por Sandvik, 2020, Sandvik (<https://www.rocktechnology.sandvik/>)

El sistema de roto percusión es una técnica, la cual combina el empuje con la rotación; para obtener una adecuada fragmentación, aplicable a zonas con difícil acceso o recubrimiento, al producir polvo y trozos de roca no es posible extraer testigos continuos (Castilla & Herrera, 2012).

A continuación, mostraremos un comparativo ilustrativo de la perforación martillo en cabeza vs martillo de fondo, presente en la Figura 2.

Figura 3

Comparativo de perforación martillo en cabeza vs martillo de fondo



Nota. Adaptado Comparativo de perforación martillo en cabeza vs martillo de fondo. [Imagen], por Atlas Copco, 2022.

2.1.1.1. Martillo en cabeza. La perforadora presenta un martillo que es conocido como un elemento de percusión y rotación, estos se ubican en la propia perforadora cuando el martillo es en cabeza (Top Hammer Drilling); esto quiere decir, que al aumentarse las barras de perforación la energía transmitida a la broca será menor; ya que, el impacto se disipa por medio de las barras, como consecuencia, también afectará a la desviación de la perforación (Fernández, 2015).

El motor neumático proporciona el empuje, asimismo, el motor acciona una cadena que engancha al martillo y que desliza sobre la corredera, el cual por lo general todo el conjunto, se encuentra montado sobre un chasis (Castilla & Herrera, 2012).

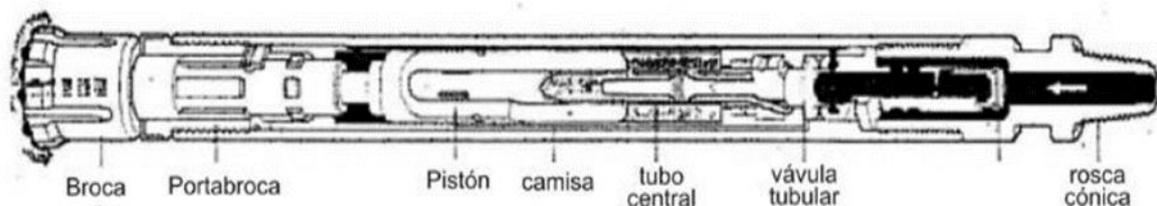
Para la percusión, el aire comprimido (neumático) proporcionado por un compresor incluido en el equipo de perforación es la fuente principal de energía (Castilla & Herrera, 2012).

2.1.1.2. Martillo de fondo. Para el caso del martillo de fondo (Down the hole), el elemento de percusión y rotación o martillo se encuentra en el fondo junto a la broca de perforación. De este modo, la disipación de energía se reduce, a pesar, que se aumenten las barras de perforación, además, también se reduce la desviación de la perforación (Castilla & Herrera, 2012).

La forma como la energía se transmite directamente sobre la broca es mediante aire comprimido (perforación neumática) o mediante aceite hidráulico (perforación hidráulica) ambos usan un pistón sobre el que se proporciona un movimiento oscilatorio adicional a un movimiento de rotación, gracias a esto se evitan las desviaciones, la disipación y las deformaciones en las barras de perforación son nulas. Se utilizan en profundidades menores a los 400 metros y su diámetro debe ser mayor de 3 pulgadas ya que debe haber espacio para alojar a los elementos del martillo que se muestran en la Figura 3 (Fernández, 2015).

Figura 4

Esquema general del conjunto de martillo de fondo con la broca



Nota. Adaptado de Apuntes Didácticos de Geología de Minas (p. 3), por Raúl Fernández, 2015.

Las velocidades ideales de rotación en campo, según del tipo roca en la perforación roto percusiva son:

Tabla 1

Esquema general del conjunto de martillo en fondo con la broca.

TIPO DE ROCA	VELOCIDAD DE ROTACIÓN (r.p.m.)
Muy blanda	40-60
Blanda	30-50
Media	20-40
Dura	10-39

Fuente: Instituto Geológico y Minero de España, 2000

2.1.2 Perforaciones Rotativas

El sistema de perforación a rotación, utiliza la rotación como elemento de corte el cual se realiza por cizalladura, para esto, se ejerce un empuje desde el extremo del varillaje; en consecuencia, al no tener el elemento de percusión se utiliza en macizos rocosos blandos con mayor frecuencia. La perforación rotativa es un método económico, dinámico y simple en la exploración minera (Castilla & Herrera, 2012).

Para el funcionamiento de la perforadora, es necesario su compresor que entrega un caudal y presión necesario para la perforación. La capacidad del compresor dependerá de la altitud y la baja presión; además, el compresor requiere de un potente motor diesel que brinda la energía para la activación de este y otros componentes como las bombas hidráulicas. Las maniobras de la perforadora a realizar generalmente son hidráulicas para el empuje, la rotación, la mesa de trabajo y para la colocación de barras (Fernández, 2015).

2.1.2.1. Broca Tricónica. La broca es el elemento de perforación que se ubica en el extremo inferior para realizar el corte del macizo rocoso, en el caso que posea triconos, se le denomina broca tricónica el cual es propio de la perforación rotativa.

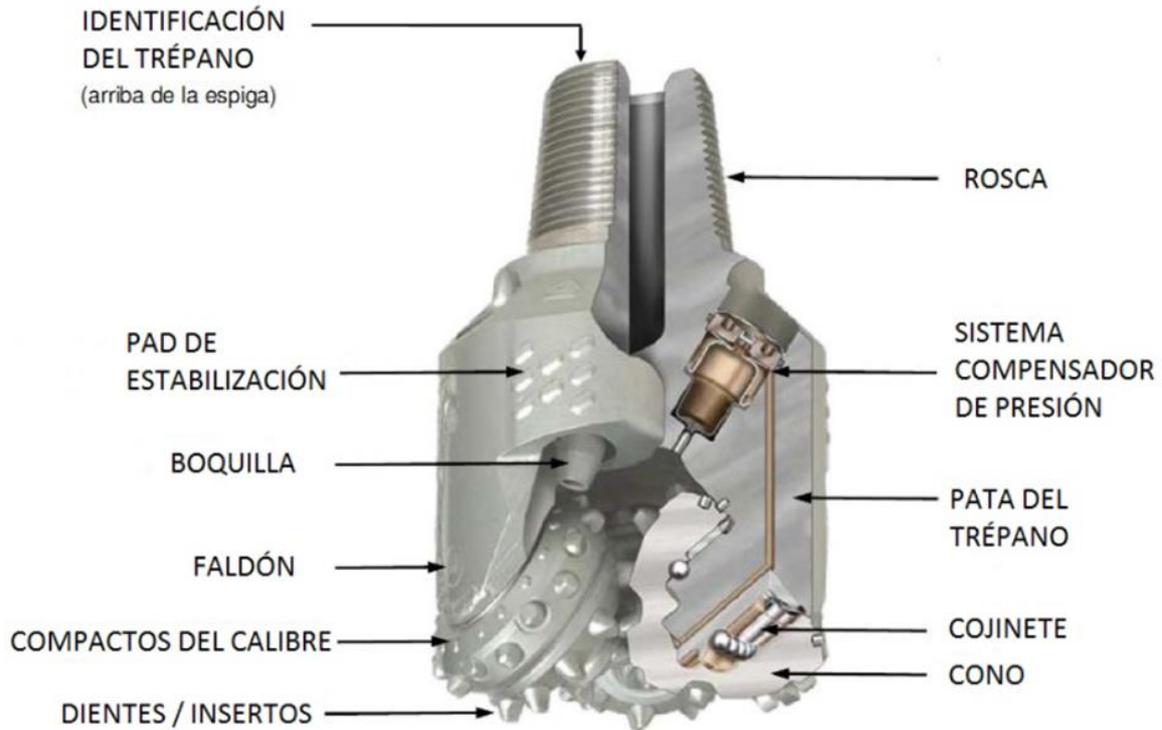
Un tricono es una herramienta formada por tres conos que poseen dientes de aleación dura (carburo de tungsteno), los cuales trituran la roca. Por medio de 3 boquillas se inyecta aire; los cuales cumplen la función de retirar los detritus, los 3 conos rotan y posee partes que se mostrarán en la Figura 5. Existe una variedad de triconos siendo los de 5 1/4 " y 5 3/4 " los más comunes en la etapa de la exploración (Fernández, 2015).

El tricono es un tipo de broca el cual tiene la función de triturar y atravesar el macizo rocoso mediante la perforación, está compuesto por tres conos con dientes o insertos de

aleación los cuales son de carburo de tungsteno, estos conos rotan libremente, dando la rotación a la broca. Al triturar la broca ingresan los detritos por el tubo interior el cual tiene un tamaño medio (3-5mm), lo cual dificulta su identificación (Fernández, 2015).

Figura 5

Partes de una broca tricónica



Nota. Adaptado de Perforación Rotativa con trépanos triturantes o triconos, por Víctor Yepes, 2014, Victoryepes.blogs (<http://procedimientosconstruccion.blogs.upv.es/files/2014/01/Tr%C3%A9pano.jpg>)

Al realizar la perforación es necesario evacuar correctamente los detritos mediante aire comprimido; ya que, su mala evacuación puede generar el desgaste excesivo de la broca tricónica. Para pozos de mayor diámetro y longitud es necesario realizar la limpieza de los detritos por medio de lodos de perforación (Castilla & Herrera, 2012).

2.1.3 Perforación diamantina

2.1.3.1. Perforadora. La máquina LF-90 diseñada con los conceptos de movilidad, confiabilidad y seguridad; cuenta con un diseño telescópico que permite replegarlo a un tamaño ideal durante el transporte, un diseño hidráulico para maniobrarlo fácilmente y teniendo en cuenta los estándares de seguridad exigidos por mina, esta puede ir montada

sobre un camión, una mini cargadora y orugas. Diseñado con gatos hidráulicos que lo elevan y sobre los cuales se apoya para trabajar (Boart Longyear, 2012).

Figura 6

Máquina LF #90



Nota. Adaptado de Distribuciones Pako entrega un Boart Longyear LF#90 (p.3), por Distribuciones Pako, 2013.

2.1.3.1.1. Dimensiones y Pesos.

- Peso: 8.392 kg
- Unidad de potencia Cummins QSB 6.7 L, Tier 3, 6 cilindros.
- Modulo hidráulico
- Sistema de tensión completo con guinche del cable de perforación menos el cable, guinche de la línea principal con cable de 16.000 lb
- Izaje hidráulico de mástil
- Conjunto de mástil telescópico
- Unidad de rotación completa con protector de cabezal/ PQ Nitro Chuck
- Bastidor Base

- Tanque de combustible (265 l/70 gal. EE. UU)
- Batería – 12 V
- Abrazadera de pie hidráulica – Capacidad HWT (Boart Longyear, 2012).

Tabla 2

Profundidad en la perforación con diferente varilla de perforación

VARILLA DE PERFORACIÓN	AGUJERO SECO		CON RETORNO DE FLUIDO	
	PROFUNDIDAD DE AGUJERO (METROS)			
BQ	1210		1385	
NQ	930		1064	
HQ	631		722	
PQ	417		476	

Nota. Adaptado de Equipo de perforación para superficie LF-90D (p.3), por Boart Longyear, 2012.

Figura 7

Comparación de tuberías de perforación



Nota. Adaptado de la perforación diamantina en la minería, César Meléndez Ramos, 1988.

Tabla 3

Fuerza motriz

	FUERZA MOTRIZ	
	Sistema Métrico	Sistema EE:UU.
Unidad estándar	Motor diesel Cummins QSB 6.7 L, refrigerado por líquido turboalimentado, postrefrigerado	
Desplazamiento	6.7 l	409 pulg3
Potencia a 2200 RPM	153 Kw	220 hp
Certificado a Emisiones	Stage III	Tier 3

Nota. Adaptado de Equipo de perforación para superficie LF-90D (p.3), por Boart Longyear, 2012.

Tabla 4*Par torsor y clasificación de RPM*

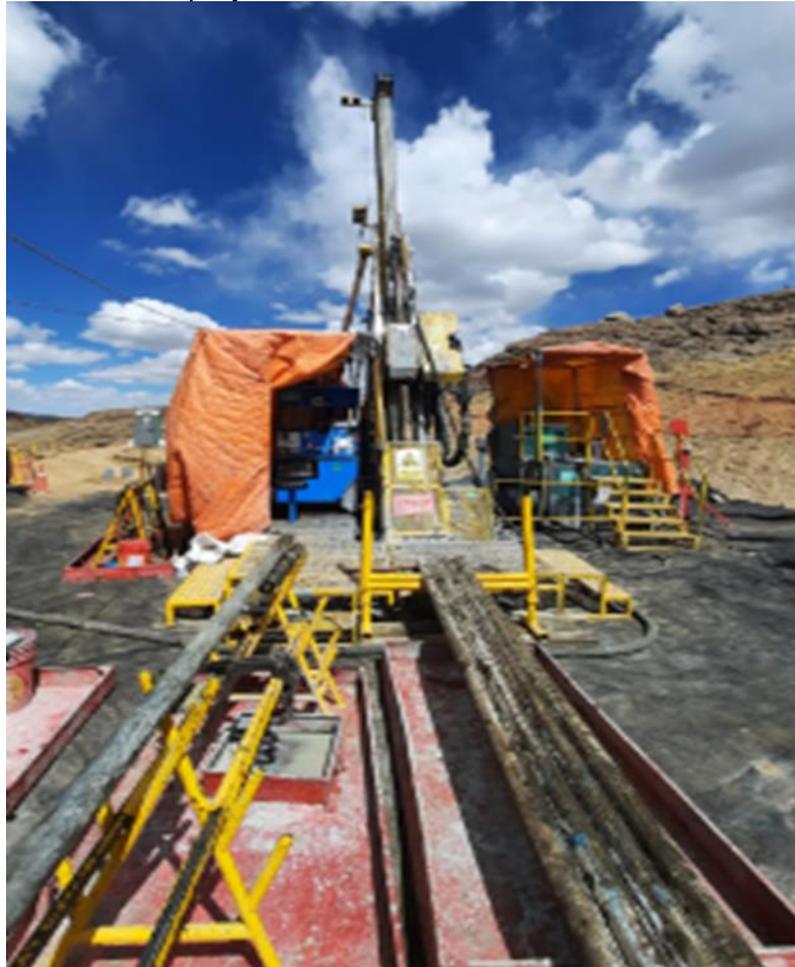
	Velocidad (sin carga)	Par torsor (calado)	
	RPM	Nm	Lb/pies
1ra marcha	122 – 199	5.322 – 3.254	3.925 -2.400 m
2da marcha	246 – 400	2.648 – 1.620	1.953 – 1.195 m
3ra marcha	439 – 714	1.486 – 908	1.096 - 670
4ta marcha	769 – 1.250	849 – 519	626 - 383

Nota. Adaptado de Equipo de perforación para superficie LF-90D (p.3), por Boart Longyear, 2012.

2.1.3.2. Ejecución de la perforación diamantina. La instalación del equipo de perforación diamantina debe realizarse en una superficie totalmente nivelada, se debe colocar debajo una geomembrana que debe cubrir la zona inferior de la sonda, de manera que, evite la contaminación. Luego de que este correctamente instalada y nivelada, se procede a la perforación, se introduce el tubo interior en el cual ingresará la muestra, cuando culmine la perforación o se llene el tubo interior se retirará esa muestra mediante el pescador, para llegar al fondo se necesitan barras de perforación que ingresan acopladas en orden descendente junto con el barel que se encuentra en el fondo de taladro con la corona diamantina, y se repite el procedimiento de perforación cíclicamente.

Figura 8

Equipo de Perforación en el proyecto



Nota. La figura representa el equipo de perforación, en el proyecto.

2.1.3.3. Perforaciones con corona diamantada (diamantina). Luego de realizar la etapa de la prospección es necesaria la validación de esta en la etapa de exploración mediante la extracción de muestras del macizo rocoso; para esto, es necesario la perforación diamantina, el cual es un sistema de perforación de recuperación de testigos (Castilla & Herrera, 2012).

Al ser uno de los tipos más comunes de perforación y permitirnos extraer un “core” o testigo prácticamente intacto, la perforación diamantina, nos brinda la representatividad e información, geotécnica (RQD) y química, del macizo rocoso y de sus estructuras. Como se indica en el nombre la herramienta de corte será una corona diamantada el cual puede estar hecho de diamantes naturales o sintéticos, los cuales están dentro de una matriz de aleación con tungsteno, el funcionamiento

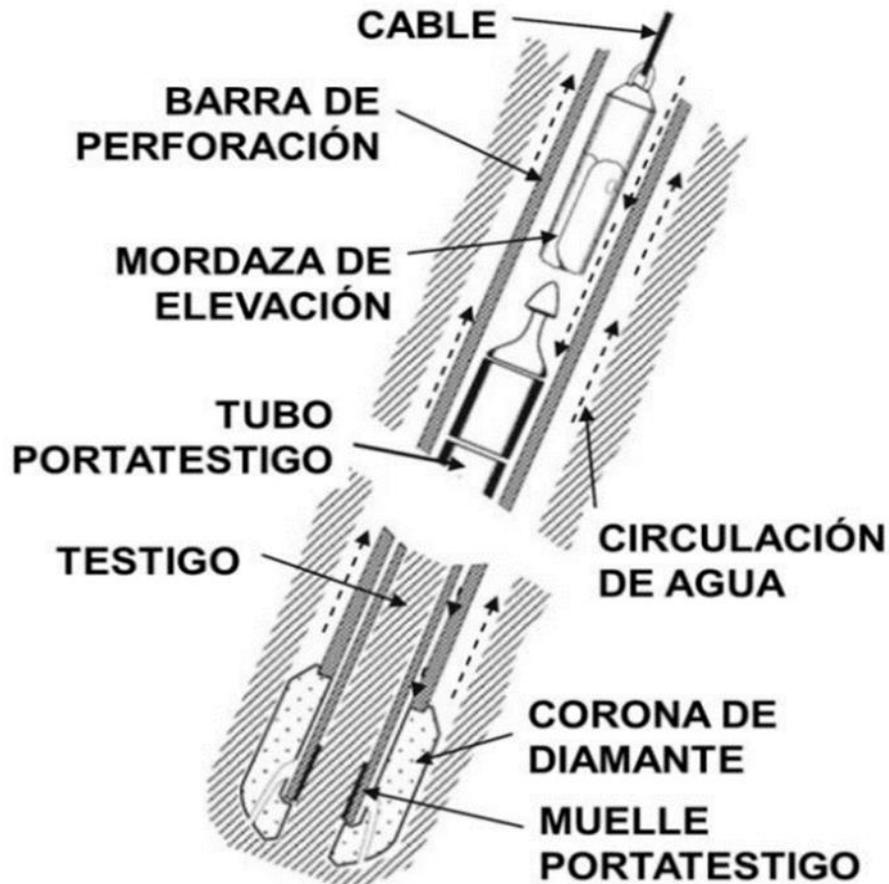
es mediante la presión de la broca diamantina la cual por rotación pulveriza la roca en la parte radial, quedando el cilindro interno intacto (no siempre) que viene a ser el testigo (Fernández, 2015).

En la perforación diamantina los fluidos de perforación son necesarios para expulsar los detritos, evitar el desgaste excesivo de la broca y generar una pared necesaria para los sondajes profundos, el lodo se bombea por el interior de la perforación y debe de salir por el espacio anular hacia la superficie hasta llegar a la tina de lodos para su recirculación (Castilla & Herrera, 2012).

El sistema por el cual se extrae el testigo es denominado tubo interior (Figura 5) el cual se ubica detrás de la corona de perforación y es extraído por medio de un cable denominado "wireline" el cual por medio de una mordaza debe "pescar" o anclarse al tubo interior (Castilla & Herrera, 2012).

Figura 9

Esquema de perforación con corona de diamante



Nota. Adaptado de Perforación Diamantina, por Marjoribanks, 2014.

2.1.3.4. Coronas. Las coronas vienen a ser una parte importante en la perforación diamantina; ya que, mediante estas se realiza la perforación diamantina, además, presenta un alto costo, por ende, su duración debe ser controlada y también los parámetros operativos a los que se expone a la broca (Fernández, 2015).

Un inadecuado control de parámetros en la puede perforación diamantina origina pérdidas monetarias acentuadas; ya que el costo de la broca es elevado y varía entre 1600\$ y 2100\$. (Fernández, 2015).

El tipo de corona se dividen en dos, insertadas e impregnadas en serie, las cuales veremos a continuación:

- Corona insertada o incrustada. Este tipo de coronas adquieren una capa de diamantes insertados sobre la superficie de la matriz, el campo de aplicación es en formaciones blandas y semiduras (Diamantina Christensen, 2017).
- Corona impregnada en serie. Este tipo de coronas están equipadas por una matriz la cual tienen una composición de polvos metálicos con diamantes sintéticos, estas coronas dan origen a diferentes series las cuales son recomendadas para diferentes tipos de terreno (Diamantina Christensen, 2017).

Figura 10

Coronas de diamante impregnadas

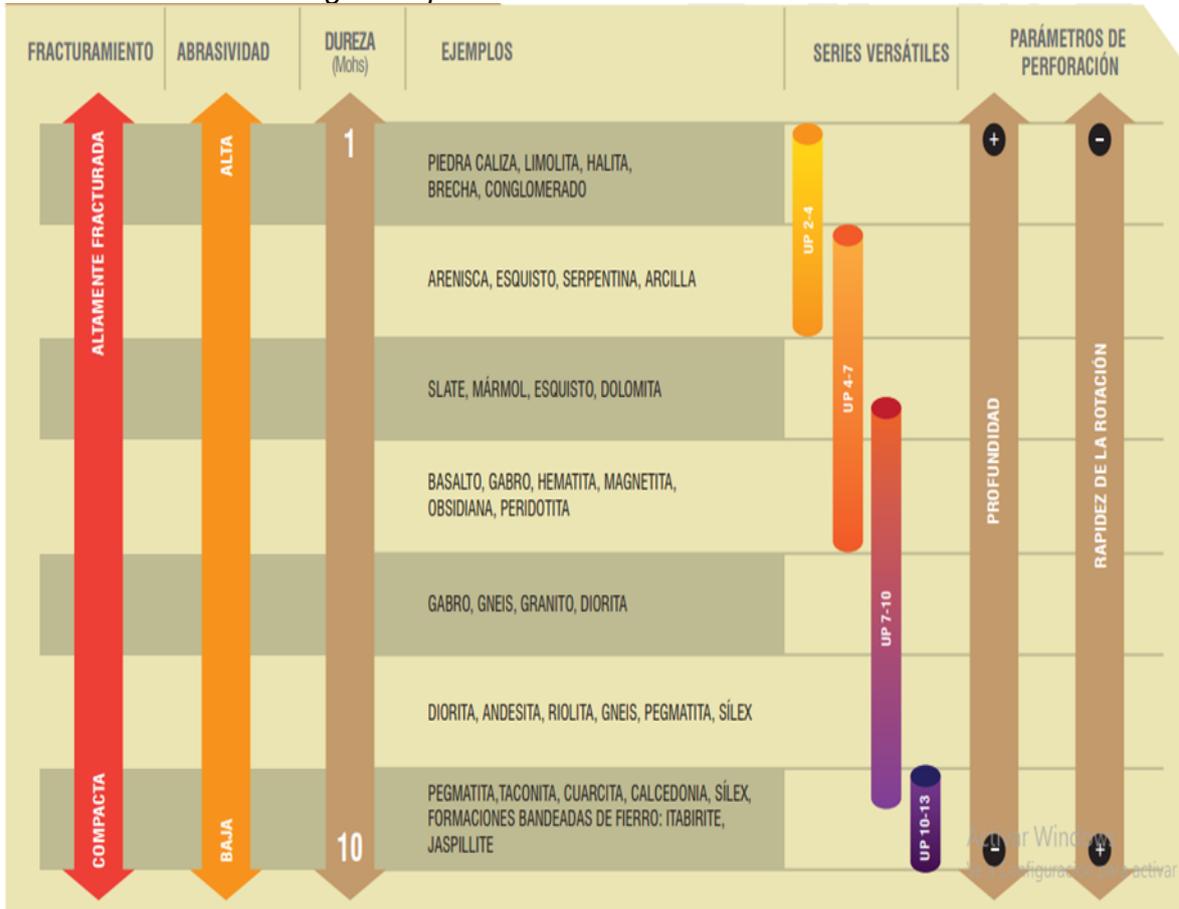


Nota. Adaptado de Serie de Coronas Boyles Bros [Fotografía], por Boyles Bros, 2017, Boyles (<https://www.boyles.com.pe/wp-content/uploads/2017/03/bro1.jpg>)

A continuación, se mostrarán las brocas en serie de acuerdo a la calidad de roca:

Figura 11

Coronas de diamante según el tipo de roca

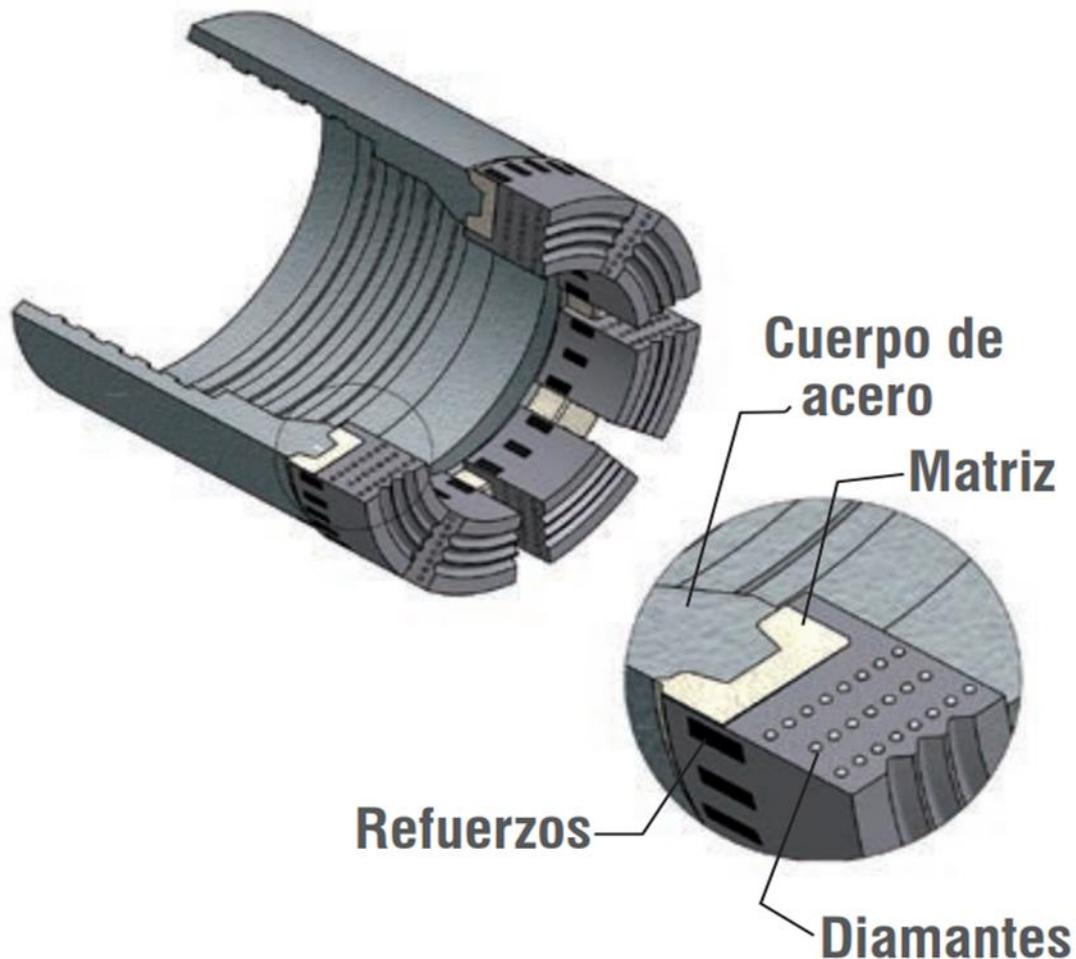


Nota. Adaptado de Manual del perforista (p.3) por Boyles Bros, 2017.

Las partes de una corona diamantada impregnada son: el cuerpo de acero, la matriz, las vías de aguas y el refuerzo de los diámetros; siendo la matriz parte principal al unir el cuerpo de acero de la corona y los diamantes en una unidad integral (Diamantina Christensen, 2017).

Figura 12

Partes de una corona impregnada



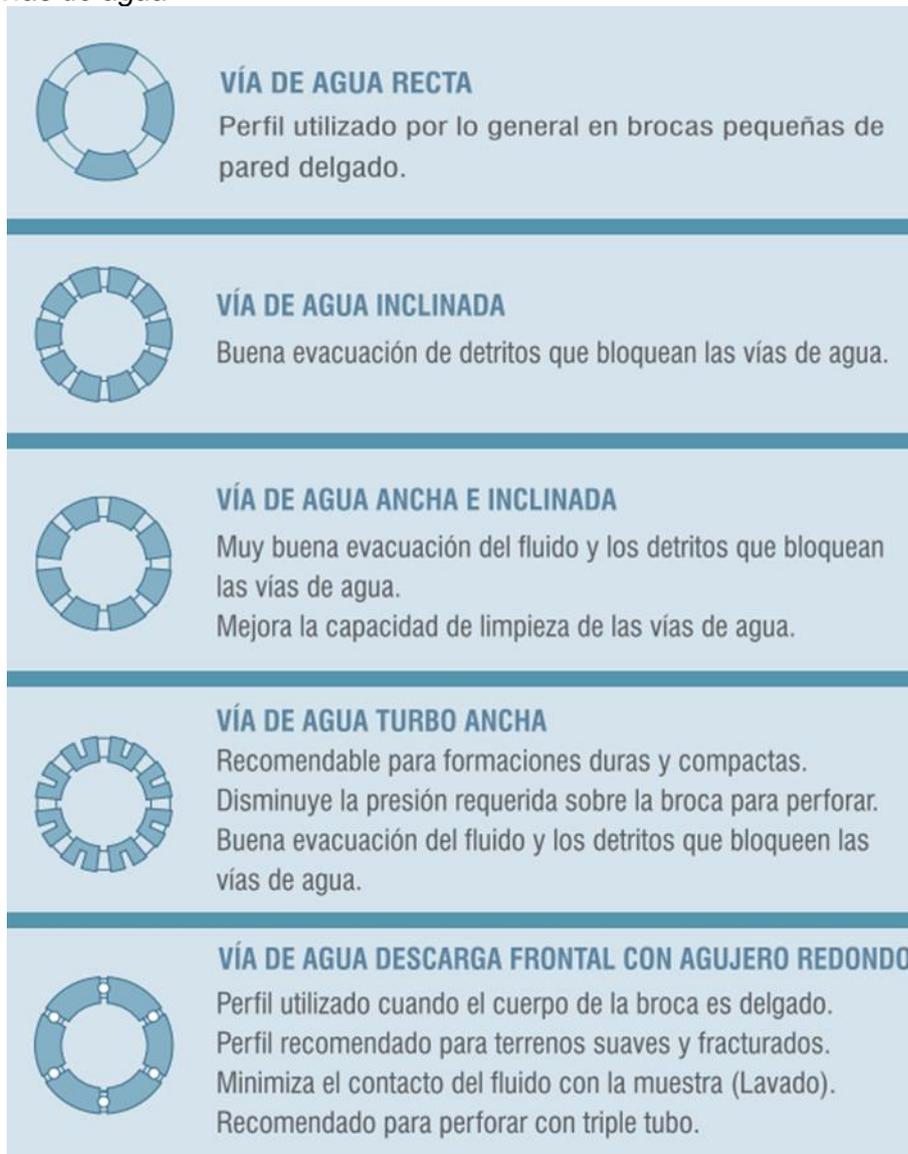
Nota. Adaptado de Manual del perforista (p.9) por Diamantina Christensen, 2017.

El desgaste de las coronas impregnadas o enserie, presenta patrones estudiados a lo largo de los años en la perforación diamantina, los cuales pueden darse por muchos factores como: el tipo de terreno, la velocidad de penetración, el caudal de agua (fluido de perforación), el tipo de matriz, la velocidad de rotación, entre otros; por ende, es necesario contar con un operador experimentado, y con los accesorios en buen estado para controlar el desgaste de las coronas diamantinas (Diamantina Christensen, 2017).

2.1.3.5. Vías de Agua. Tienen como función evitar el desgaste por quemadura o fundición de la broca mediante ranuras que permiten refrigerar y transportar fluido o lodo.

Figura 13

Tipos de vías de agua



Nota. Adaptado de Manual del perforista (p.11) por Diamantina Christensen, 2017.

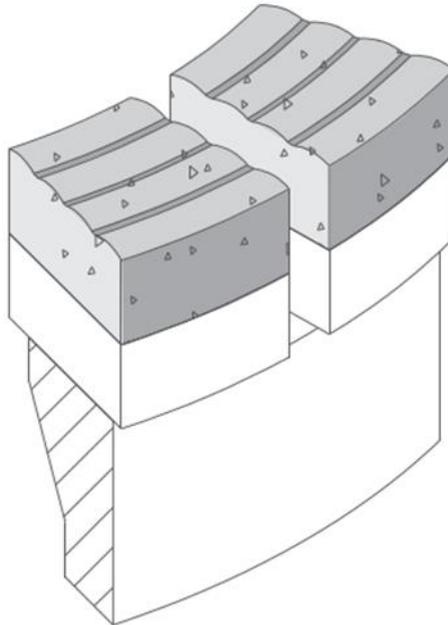
2.1.3.6. Desgaste de brocas. Los desgastes de brocas son el resultado de la operación, maximizar la vida útil dependerá del operador y de los parámetros operativos empleados para diferentes tipos de roca.

Los distintos tipos de desgaste son:

- **Corona con desgaste ideal.** Patrón de desgaste plano o relativamente plano, la matriz de corte se consume en su totalidad (Diamantina Christensen, 2017).

Figura 14

Corona con desgaste ideal

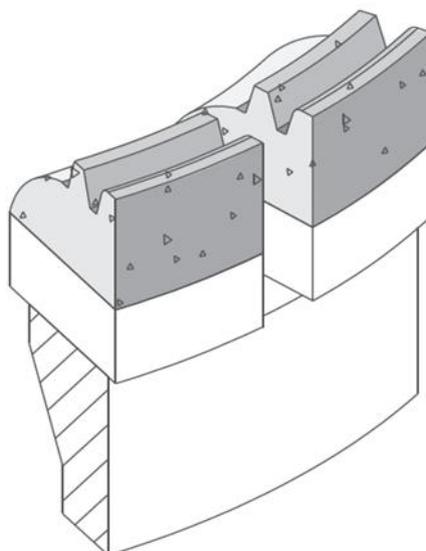


Nota. Adaptado de Manual del perforista (p.13) por Diamantina Christensen, 2017.

- **Corona con pérdida de diámetro interior.** Las causas se derivan por el tipo de terreno fracturado, caudal de agua bajo, por parámetros (velocidad de penetración de corona muy alta), perforación sobre testigo abandonado (Diamantina Christensen, 2017).

Figura 15

Desgaste de diámetro interior

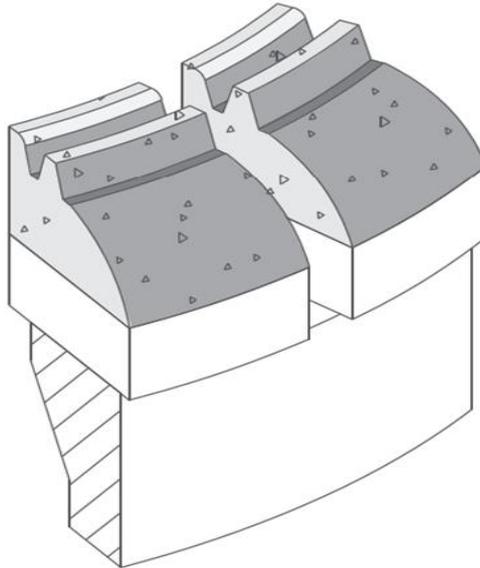


Nota. Adaptado de Manual del perforista (p.13) por Diamantina Christensen, 2017.

- **Corona con pérdida de diámetro exterior.** Las causas se derivan por caudal de agua bajo, por parámetros (velocidad de rotación muy alta), vibraciones (Diamantina Christensen, 2017).

Figura 16

Desgaste de diámetro exterior

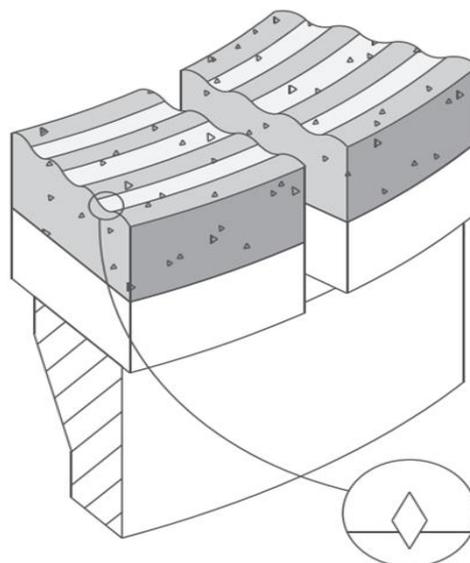


Nota. Adaptado de Manual del perforista (p.14) por Diamantina Christensen, 2017.

- **Corona con diamante sobre expuesto.** La matriz presenta un desgaste mayor que los diamantes, por el flujo de agua bajo, uso de coronas de serie alta, por parámetros (peso excesivo de la corona) (Diamantina Christensen, 2017).

Figura 17

Corona con diamante sobre expuesto

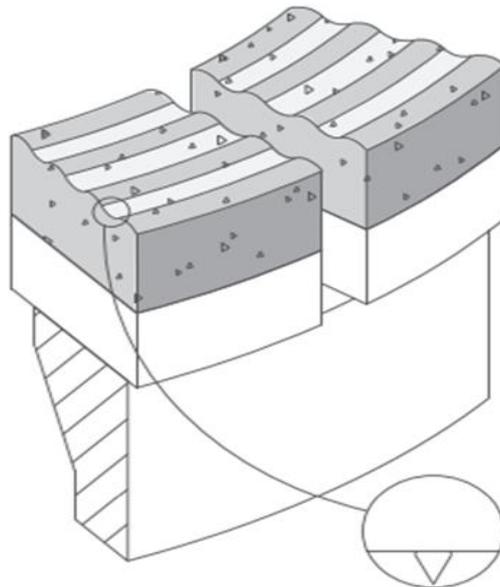


Nota. Adaptado de Manual del perforista (p.14) por Diamantina Christensen, 2017.

- **Corona con cara cristalizada.** Matriz y diamantes pulidos, por el flujo de agua elevado, uso de coronas de serie baja, por parámetros (bajo peso de la corona para la velocidad de rotación) (Diamantina Christensen, 2017).

Figura 18

Corona con cara cristalizada

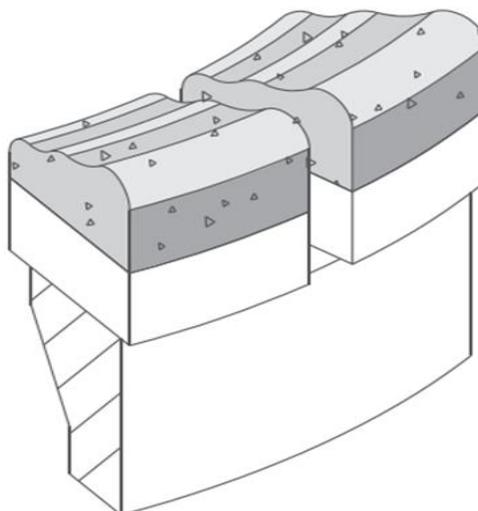


Nota. Adaptado de Manual del perforista (p.14) por Diamantina Christensen, 2017.

- **Corona con desgaste cóncavo de la cara.** Es generado por una reperfuración, desgaste del testigo, por parámetros (velocidad de penetración muy alta) (Diamantina Christensen, 2017).

Figura 19

Corona con desgaste cóncavo de la cara

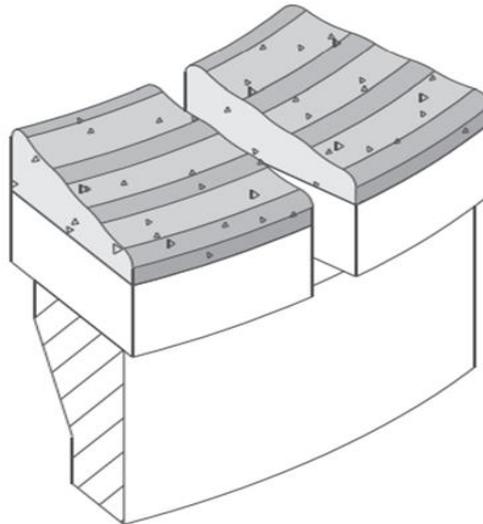


Nota. Adaptado de Manual del perforista (p.16) por Diamantina Christensen, 2017.

- **Corona con desgaste cóncavo de la cara.** Es generado por la fuga de las barras, caudal de agua bajo, los detritos permanecen en la parte externa produciendo desgaste (Diamantina Christensen, 2017).

Figura 20

Corona con desgaste cóncavo de la cara

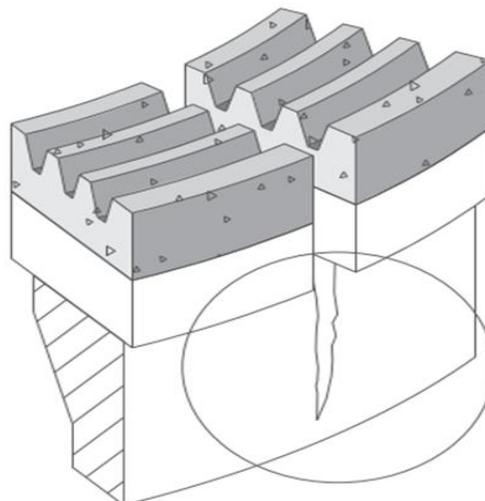


Nota. Adaptado de Manual del perforista (p.16) por Diamantina Christensen, 2017.

- **Corona con vías de agua fracturada.** La caída de barras en el pozo, el sujetador de barras (prensa de pie) aplastó la corona, por parámetros de perforación (peso excesivo sobre la corona), caída libre de tubo interior en un tubo seco (Diamantina Christensen, 2017)

Figura 21

Corona con vías de agua fracturadas

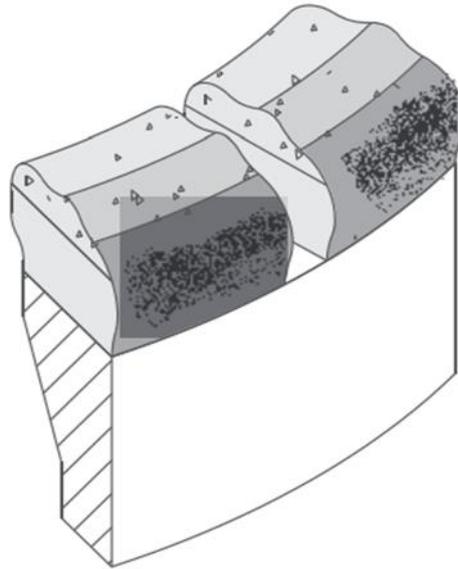


Nota. Adaptado de Manual del perforista (p.17) por Diamantina Christensen, 2017.

- **Corona con cara quemada o fundida.** Falla de operador (no abre la válvula de agua, corte de agua por fugas o fallas (Diamantina Christensen, 2017)

Figura 22

Corona con cara quemada



Nota. Adaptado de Manual del perforista (p.17) por Diamantina Christensen, 2017.

2.1.3.7. Sistema de inyección. Es independiente y trabaja con una bomba a partir de una tina con capacidad de 5000 L de preparación. Esta bomba debe tener la potencia para circular los detritos y recircular el lodo, proporcionalmente a su velocidad de avance, la cual es producida por la corona en el fondo del sondeo, además, es importante tener en cuenta el espacio anular de la pared y el tren de barras, junto con el diámetro y la profundidad del sondaje perforado (Fernández, 2015).

2.1.3.8. Parámetros de Operación. Los parámetros de operación a considerar para un correcto desempeño de la broca son: Velocidad de rotación de la tubería, Carga aplicada sobre la broca y Flujo de fluido. La consideración de estos parámetros y el tipo de formación a perforar, maximizará la ratio de penetración y la vida útil de la broca (Mantilla, 2019), pág. 27.

Figura 23

Tablero de control de parámetros operativos para una LF# 90



Nota. La figura representa el tablero de control de la LF#90.

El correcto control se realiza en el tablero de comando de la máquina perforadora, verificando que esté correctamente conectado el tablero, la velocidad de penetración de la corona debe aproximarse a los 10 m/hr.

Si la velocidad de penetración se encuentra en un rendimiento adecuado, se deben hacer los ajustes, usando la regla:

Peso sobre la corona x RPM = Constante

Los rangos de la constante deben estar entre 200 a 250 RPI, esto para lograr una correcta perforación que sea productiva, es decir, se debe verificar los parámetros de Peso sobre la corona y RPM.

2.1.3.8.1. RPM. Para evitar el desgaste de las coronas y prolongar su duración es necesario considerar la relación existente entre la velocidad de penetración y la velocidad de rotación (RPM), para esto es necesario fijar un rango óptimo teniendo en cuenta la velocidad de penetración, las condiciones del terreno, y el tipo de serie de la corona, por lo general las altas revoluciones pueden generar un máximo performance; sin embargo,

debemos considerar todos los problemas que acarrea no mantener los otros factores controlados (Diamantina Christensen, 2017).

2.1.3.8.2. Caudal o Flujo de Lodo. La función del fluido de broca es refrigerar a la broca y remover los detritos de la perforación, estos detritos ingresan por el espacio anular de manera eficiente. Por lo general los detritos deben tener una velocidad ascendente de 4 pulg / seg; además, la velocidad del fluido debe aumentar según aumenta el rango de penetración. Un buen control del fluido es importante para evitar el desgaste de forma prematura debido a la acción abrasiva de los detritos (Diamantina Christensen, 2017).

Por lo general, el lodo es reservado en tinas fluidos de perforación, los cuales son una mezcla de agua con aditivos, estas tinas tienen una capacidad de 1000 y 5000 L, como se muestra en la Figura 13.

Funciones de los aditivos. Los aditivos cumplen la función esencial de mantener la columna de perforación y el cuidado de los aceros para diferentes tipos de broca, entre estos aditivos tenemos.

- Viscosificadores. Productos usados para mejorar las propiedades reológicas de los fluidos
 - Bentonita (Milgel, aquagel, M-I Gel)
 - Atapulgita (Salt Water Gel, Salt Gel)
 - CMC, Carboximetil Celulosa
 - PAC, Celulosa Polianiónica
 - Extendedores de Bentonita
 - Polímeros: goma Xántica
- Densificadores Se utilizan materiales inertes, sirven para sostener las paredes del pozo controlar las presiones y facilitar la salida de la tubería seca.
 - Barita (Baroid, Mil-Bar, M-I Bar)
 - Hematita (Mil-Dense, Hi-Dense, Bargain)
 - Carbonato de Calcio (Baracab, W.O)
 - Oxidos de Hierro

- Aditivos de Alcalinidad. Se usan diferentes sales para incrementar o reducir el ph del fluido.
 - Soda Caústica
 - Potasa Caústica
 - Cal hidratada
 - Yeso
 - Soda Ash
 - Bicarbonato de sodio
 - Pirofosfato ácido de sodio (SAPP)
- Dispersantes. Utilizados para reducir la reología del lodo, modificando la relación de viscosidad y porcentaje de sólidos.
 - Taninos (Mil FLO)
 - Lignito (Ligco, Ligcon, Carbonox, Tannathin)
 - Lignosulfonato (Uni-cal, Setan, Q-Broxin, Spersene, VC-10)
 - Polifosfatos (sapp, Oilfos, Barafos)
 - Polímeros modificados (Desco, New-Thin)
- Reductores de Filtrado. Utilizados para reducir filtrado, formado una torta homogénea e impermealizable.
 - Bentotina (Natural Gel, Milgel, Aquagel, M-I Gel)
 - Lignito (Ligco, Ligcon, Carbonox, Tannathin)
 - PAC (Drispac, Mil-Pac, Pac R, Pac LV)
 - CMC (Cellex, CMC)
 - Polacrilato (Cypan, WL-100, SP-101, New-Trol)
 - Almidón Pregelatinizado (Stardrill)
- Floculantes. Usados para incrementar la viscosidad mediante la mejora del rendimiento de la bentonita. Se usan además para hacer dewatering a fluidos de bajos sólidos al ser usados para producir la floculación del fluido separando los sólidos de la fase líquida.

- Sal o salmuera
- Cal hidratada
- Cemento
- Yeso
- Bicarbonato de sodio
- Acrilamidas (Surfloc 2515, OFXC 1143, OFXC 1223)
- Inhibidores de arcillas. Se utilizan fuentes de calcio y potasio solubles, así como sales inorgánicas y compuestos orgánicos que evitan la hidratación.
 - Cloruro de potasio
 - Nitrato de potasio
 - Cloruro de potasio
 - Cal hidratada
 - Asfalto (Soltex, Protectomagic, AK-70, Stabil Hole)
 - PHAP (New-Drill, ID Bond, Poly-Plus RD)
 - Maxdrill (amina)
 - Glymax (glicol)
- Mat. para pérdida de circulación. Su función primaria es sellar la zona de pérdida para que se pueda continuar la operación sin pérdida del fluido de perforación.
 - Cascarilla de arroz
 - Mica
 - Mezcla de cáscaras de coco y nueces
 - Aserrín
 - Semilla algodón
 - Cemento.

Clasificación de los aditivos: Los sistemas definidos de fluidos son nueve, siendo seis de estos base agua; entre los restantes se clasifican los fluidos base aceite, aceites sintéticos y aireados espumas.

Figura 24

Fluidos de Perforación



Nota. Adaptado de Curso básico de fluidos de perforación por Coretech, 2020.

- Lodos base agua no dispersos. Son conocidos como lodos de inicio, lodos naturales, y presentan mínimo tratamiento, son utilizados para perforar pozos poco profundos o cuando se realiza la perforación inicial el pozo (Coretech, 2020).
- Lodos base agua dispersos. Utilizados para perforar pozos en grandes profundidades y problemáticos, se requiere para estos casos aumentar la densidad y en donde se encuentran arcillas que se disuelven fácilmente en el lodo estas no presentan hidratación e hinchamiento, el sistema se dispersa usando lignitos o tanitos y químicos potásicos para dar inhibición, así como productos que ayuden a mantener las propiedades (Coretech, 2020).
- Lodos Calados. Usados para inhibir las formaciones con alto contenido de arcillas y lutitas solubles e hidratables. Altos niveles de calcio ayudan a controlar la hidratación, previniendo el derrumbe de las formaciones arcillosas y el lavado del hueco, estos lodos son susceptibles a la gelificación o solidificación a altas temperaturas, además, son altamente resistentes a la contaminación por sal y anhídrita (Coretech, 2020).

- Lodos Poliméricos. Estos fluidos incorporan el uso de polímeros de cadena larga y alto peso molecular para:
 - Encapsular los sólidos perforados
 - Inhibir las formaciones perforadas
 - Incrementar la reología (Coretech, 2020).
- Lodos de bajo contenido de sólidos. Sistemas de lodos en los que la cantidad y tipo de sólidos son altamente controlados, el rango del volumen del sólido varía en un rango entre 6 a 10% vol (Coretech, 2020).
- Lodos de agua salada. Los sistemas salados son preparados en general de agua fresca o salmuera, adicionando sales de sodio o de potasio hasta obtener salinidad requerida. Productos como la Atapulgita, el CMC, el almidón y otros, son usados para incrementar la viscosidad ayudando en la limpieza del pozo y para reducir la pérdida de filtrado, los sistemas saturados son usados para perforar domos salinos, los sistemas salados son usados para controlar arcillas reactivas y los de agua de mar, por logística; en sitios donde la obtención de agua fresca es difícil y costosa (Coretech, 2020).

Figura 25

Tinas de fluido de perforación de 1000 y 5000 L



Nota. La figura representa las tinas de donde se almacena el fluido.

2.1.3.8.3. Peso sobre la Broca. El peso o la carga sobre la broca debe ser controlada efectivamente, es por esto que se requiere de un personal capacitado; ya que, una carga no controlada puede causar un desgaste en la broca, dañar la perforadora y desviar el taladro. Por lo general la carga es aplicada dependiendo de la velocidad y una carga muy alta también requiere una corona diamantada de serie más alta (Diamantina Christensen, 2017).

2.1.3.9. Tipos de Sondajes.

2.1.3.9.1. Sondajes de exploración. Se utilizan en lugares donde las otras técnicas de exploración no presentan alcance y son muy importantes en la obtención de datos y generación de recursos geológicos, presentan un carácter de pozo profundo

2.1.3.9.2. Sondajes Infill Drilling. Conocidos por presentar una mayor confiabilidad; ya que, mejoran la información de un recurso geológico. La malla que se realiza de perforación es de 30x30 cm, determinar con mayor exactitud los recursos dentro de una zona mineralizada o en los bordes de las reservas. (tesis seguridad)

2.1.3.9.3. Sondajes Remanentes. Aquellos que se realizan en sectores cercanos a la explotación, donde se infiere que puedan quedar recursos extraíbles de valor.

2.1.3.9.4. Sondajes de Reconocimiento. Los cuales se realizan para extraer una mayor información de los bloques pendientes y cercanos a estructuras reconocidas y permite detectar sub estructuras.

2.1.3.9.5. Sondajes de Comprobación. Realizados para extraer una información a detalle dentro de los modelos de reserva, bajo una malla de perforación de 30x30 o 15x15 metros, con estos sondajes se verifican la calidad de las reservas que se presentan, con esto se evita la disminución del efecto pepita producido por sondajes de aire reverso.

2.1.3.9.6. Sondajes de producción. Son sondajes que se utilizan para direccionar a la labor cuando se presentan fallas que pueden desplazar a las estructuras o ramificaciones mineralizadas de la estructura principal.

2.1.3.10. Medición de sondajes. Cuando se va a perforar un taladro o un conjunto de sondeos, se tiene un pliego de condiciones técnicas, las cuales indican características como la profundidad, la inclinación, etc. Sobre estos datos, es que se mide la desviación de uno o más taladros (López Marinas, 2002).

Las desviaciones importantes y que son materia de estudio, se presentan de manera impensada incluso en un macizo rocoso homogéneo; debido a, cualquier discontinuidad geológica como las fracturas o fallas, en profundidades con 100 m de tuberías de longitud, que cuenta con una rigidez propia de la tubería, queda aminorada al

alcanzarse longitudes importantes, para un pozo de 1600 m, se desvió 750 m de vertical en Oklahoma (López Marinas, 2002).

2.2 Bases conceptuales

2.2.1 Seguridad en Perforación Diamantina

2.2.1.1. Base Legal. El decreto supremo N°55-2010-EM, aprueba el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería, el cual promueve una cultura de prevención para riesgos laborales en el sector minero; asimismo, este decreto, se complementa con la Ley de Seguridad y Salud en el trabajo, la cual precisa el rol participativo de fiscalización y control del estado, adicional a esto, en el artículo 2, la dirección de la aplicación de la ley para todos los sectores económicos y de actividad privada incluyendo la minería, Véase Anexo 1.(D.S 024).

2.2.1.2. IPERC. Herramienta de gestión utilizada para identificar peligros y evaluar riesgos

2.2.1.2.1. Matriz de evaluación de riesgos. Es la matriz donde existe la permutación de los datos de probabilidad y frecuencia obteniendo los distintos tipos de riesgo los cuales son:

- Riesgo Bajo
- Riesgo Medio
- Riesgo Alto (Barreto, 2018).

Figura 26

Matriz de evaluación de riesgos

MATRIZ BÁSICA DE EVALUACIÓN DE RIESGOS								DESCRIPCIÓN	PLAZO DE MEDIDA CORRECTIVA		
SEVERIDAD	Catastrófico	1	1	2	4	7	11	ALTO Riesgo intolerable, requiere controles inmediatos. Si no se puede controlar el PELIGRO, se paralizan los trabajos	0 - 24 horas		
	Mortalidad	2	3	5	8	12	16			MEDIO Iniciar medidas para eliminar/reducir el riesgo. Evaluar si la acción se puede ejecutar de manera inmediata	0 - 72 horas
	Permanente	3	6	9	13	17	20	BAJO Este riesgo puede ser tolerable.	1 mes		
	Temporal	4	10	14	18	21	23				
	Menor	5	15	19	22	24	25				
			A	B	C	D	E				
			Común	Ha sucedido	Podría suceder	Raro que suceda	Prácticamente imposible que suceda				
			PROBABILIDAD								

Fuente: Reglamento de seguridad DS-023-2017

Tipo de Control. Definido el nivel de riesgo se propone los controles necesarios para minimizar el nivel de riesgo, estos tipos de control son:

- Eliminar
- Sustituir
- Control de Ingeniería
- Controles Administrativos
- EPP'S (Barreto, 2018).

Véase Anexo 2.

Riesgo Residual. Luego de definir el tipo de control a implementar se vuelve a aplicar la evaluación de riesgos para así determinar el riesgo residual, el cual, es aquel riesgo latente luego de tomar las medidas de control necesarias (Barreto, 2018).

Figura 27

IPERC

IPERC CONTINUO				MATRIZ BASICA DE EVALUACION DE RIESGOS						SISSOMAC					
Identificación de Peligros, Evaluación de Riesgos y Determinación de Controles										Código: PG-GI-6-F2 Ver. 4					
FECHA:	LUGAR/LABOR:	NIVEL:		SEVERIDAD	Catastrófico	1	2	4	7	11	PROBABILIDAD	FRECUENCIA DE EXPOSICIÓN			
14-02-23	9290	3220			Mortalidad	2	3	5	8	12			16	Común (muy probable)	Sucede con demasiada frecuencia.
DESCRIBA LA ACTIVIDAD:					Permanente	3	6	9	13	17			20	Ha sucedido (probable)	Sucede con frecuencia.
Perforación de canchales					Temporal	4	10	14	18	21			23	Podría suceder (posible)	Sucede ocasionalmente.
HORA					Menor	5	15	19	22	24			25	Prácticamente imposible que ocurra	Muy rara vez ocurre. Improbable que ocurra.
NOMBRES Y APELLIDOS				A		B		C		D		E			
FIRMA				Común		Ha sucedido		Podría suceder		Raro que suceda		Prácticamente imposible que suceda			
				Frecuencia		Común		Ha sucedido		Podría suceder		Raro que suceda			
				Prácticamente imposible que ocurra.		Muy rara vez ocurre. Improbable que ocurra.		Focas (1 a 2) personas expuestas varias veces al día.		Moderado (3 a 5) personas expuestas ocasionalmente.		Focas (1 a 2) personas expuestas ocasionalmente.			
Peligro	Riesgo	EVALUACION RIESGO BASE	Controles	PRIORIDAD DE APLICACION DE CONTROLES	EVALUACION RIESGO RESIDUAL										
vias de acceso	apretamiento de botellas	8	uso de de Resguardo cruceros Respetar Zonas Señaladas EPPS: Lentes	4 4 5	16										
Rocas fracturadas	aplastamiento muerte	8	inspección de gramicometas Techos y techos uso de botellas para el desalojo EPPS: guantes botas Lentes	4 3 4	12										
presencia de gases en mina	intoxicación de gases intoxicación	8	monitoreo con el detector de gases (altavoz) Evacuación Zonas Ventiladas Seguras EPPS: Respirador Lentes	3 4 5	12										
manejo de Tubo No 7	Contagio Amputaciones fractura corte	1/3	uso del ST/lan 5. Red lifter el buen posturo. al manipular y la comunicación EPPS: guantes botas	3 4 3	17										
Energía eléctrica	contacto con energía quemaduras electrocución	8	trabajar con el detector de energía eléctrica inspección al cableado aisladores en buenas condiciones EPPS: guantes botas	3 4 5	12										
HORA				MEDIDAS CORRECTIVAS ADICIONALES (Si no recomienda nuevos controles, refuerce los existentes)		FIRMA									
11:44				Implementar, por donde para los herramientos mejorar el sistema de IPER		[Firma]									
11:50				Usar EPPS		[Firma]									

Fuente: Propia

2.2.1.3. Estándares de Trabajo. La realización de las actividades en mina está definida de forma adecuada y correcta, de manera que, se permita controlar y minimizar los riesgos, esto se logra con los estándares de trabajo cuyo propósito es establecer un estándar de trabajo para las labores de sondajes diamantinos los cuales permiten asegurar la calidad de los trabajos, la seguridad de las personas y el medio ambiente (Barreto, 2018).

2.2.1.3.1. Responsables del personal de línea de mando. Para una adecuada y correcta información de los responsables de líneas de mando en la mina, sobre la asignación de responsabilidad corresponderá los siguientes departamentos.

- Residente de Obra
- Administrador de obra
- Supervisor de Operaciones
- Perforista
- Ayudantes, (Barreto, 2018).

2.2.2 Parámetros de perforación

Los parámetros de perforación en sistema diamantina tienen una gran influencia en la trayectoria de los taladros (desviación), es decir al variar o no aplicar correctamente los parámetros, también varían la trayectoria del taladro perforado. Así mismo también mencionar que los parámetros también repercuten en el azimut del taladro. Entonces podemos decir que los parámetros juegan un papel importante en la perforación de taladros, es por ello que siempre se debe tener en cuenta esto (Mantilla, 2019).

Para la perforación, la búsqueda de la optimización, la cual conlleva a la disminución de tiempos, costos y el aumento del desempeño en la operación, necesita de la comparación de los parámetros de perforación en campo mediante relaciones matemáticas, propiedades mecánicas de la roca y resistencia a la compresión confinada, teniendo en cuenta todos estos parámetros se puede proveer una herramienta de predicción del comportamiento de la perforación y su desviación del taladro respecto a la inclinación proyectada. (Esteban Portilla, Fernando Suárez, & Reinel, 2012)

La perforación diamantina se usa esencialmente en la actividad de exploración luego de la prospección; ya que, como beneficios posee una recuperación de testigo a altas profundidades y una baja probabilidad de desviación del taladro. Los parámetros de la perforación diamantina se encuentran vinculados directamente con propiedades geomecánicas del macizo rocoso, la planificación y la ejecución de estos parámetros de acuerdo al tipo de terreno es producto del estudio y la información del vínculo anteriormente mencionado, los resultados tienen altas probabilidades de disminuir considerablemente la desviación del sondaje (Akin, 2008)

Para una zona con cierta composición de roca el análisis de esta es una herramienta útil por su fácil aplicación y la reducción de costos en la aplicación de parámetros operativos. Esto se da en la perforación diamantina la cual presenta relaciones esenciales entre la composición de las rocas con su respectiva resistencia y los parámetros operacionales presentes, esta relación, se compara y se aplica de acuerdo al tipo de zona que se quiere analizar (Carrillo, D. 2012).

La relación existente entre los parámetros y los demás factores de la perforación son parte del aprendizaje por ensayo y error de otras épocas, en la actualidad esta relación es fundamental. Los equipos de perforación diamantina llevan a cabo la ejecución de los parámetros de perforación, las cuales se definen, por razones físicas, los parámetros dependen conjuntamente de la dureza del macizo rocoso a perforar, el cual es un factor externo a estos parámetros (Andrade & Sarango, 2015)

2.2.3 Perforación Diamantina

En el rubro minero una herramienta importante y necesaria para la exploración son los sondajes de perforación diamantina, específicamente para la exploración de cuerpos mineralizados de grandes dimensiones, gracias a los sondajes podemos corroborar a cierta escala o desmentir las interpretaciones geológicas. Al obtener muestras sólidas por la recuperación de testigos a distintas profundidades, para luego analizarlas en un laboratorio se logran las interpretaciones ya mencionadas (Candori, C. 2015).

La comprobación de cuerpos mineralizados y la verificación de leyes se pueden contemplar de forma temprana mediante la perforación diamantina en la etapa de la exploración. Para etapas posteriores la perforación diamantina puede ser usada para ampliar los recursos y las reservas existentes para su respectiva cubicación, asimismo, contemplar con exactitud la forma del cuerpo mineralizado para la cubicación de este (Zuñiga, C. 2017).

Los afloramientos de rocas se pueden localizar mediante los sondajes de perforación diamantina. Por ende, la técnica de la perforación diamantina tiene gran importancia en el inicio y durante las actividades en minería y es fundamental para que el proyecto se lleve a cabo. La perforación diamantina es uno de los pilares en la minería para el desarrollo minero, la cual se encuentra en continuo crecimiento (Ticona, J. 2015).

Existen parámetros que se tienen en consideración para una perforación adecuada los cuales son: velocidad de rotación (rpm), flujo de fluido (gal/min), carga sobre la broca (lb), ratio de penetración (pulg/min). El tamaño de broca hace variar a los parámetros ya mencionados. Otros factores importantes a considerar son la abrasividad y la dureza del macizo rocoso a perforar, ya que determinan igualmente como el tamaño de broca un cambio significativo en los parámetros, un buen rendimiento no solo está influenciado por todos los factores y parámetros ya mencionados anteriormente, además, debe de considerar las condiciones operativas: las cuales son el uso de aditivos, la fuerza de empuje y no sobrecargar la corona las cuales dependen del criterio del perforista (Durexa Drilling. 2019).

2.2.4 Trayectoria de pozos

Existe una relación de la trayectoria de los taladros de perforación diamantina y los parámetros de perforación la cual es considerada directa. Para la Figura 13 se observa la reducción de la desviación en el lado izquierdo; ya que, se aplicó correctamente los parámetros operativos, a diferencia de, el lado derecho en el cual se puede observar una incorrecta aplicación de parámetros de perforación. El diseño de una trayectoria de un pozo debe contemplar los parámetros de perforación como base, la información de un pozo

vecino ya perforado es fundamental y se debe sumar al diseño de trayectoria; ya que, esta información brinda una eficiencia mecánica altamente probable del sistema de perforación para pozos futuros. Se tiene que tener conocimiento de la trayectoria de un pozo; ya que, esto incrementa las posibilidades de precisión en la perforación. Adicionalmente, la consideración de parámetros operativos, nos permite tener un correcto desempeño de la broca (Arana, 2014)

Es fundamental conocer la trayectoria adecuada y la ejecución de esta trayectoria correctamente, para tener certeza en la confirmación o descarte de riquezas minerales (cuerpos mineralizados) y la búsqueda correcta de estos recursos. Los parámetros adecuados no garantizan que se siga la trayectoria correcta, es decir, debe ser complementado, para el éxito en el proceso de exploración (Altamirano & Martinez, 2020).

Figura 28

Trayectoria de taladros perforados



Nota. Adaptado de Control de la trayectoria de taladros variando tipo de broca y parámetros de perforación con sistema diamantina (p. 34), por Mantilla Tafur, 2019, Universidad Privada del Norte.

La trayectoria de un pozo está influenciada de manera significativa por los parámetros de perforación, en la operación el criterio de un perforista permite la aplicación de manera correcta y adecuada de los parámetros, de lo contrario, la trayectoria puede desviarse. Los taladros direccionados (Tabla 2), es una variante de la perforación diamantina, en la cual, la desviación es intencionada desde punto inicial hacia un punto final, los parámetros deben ser precisos y con anterioridad ya deben ser definidos en el proyecto, es una técnica moderna que se viene dando en los últimos años (Alfonso, E. 2015).

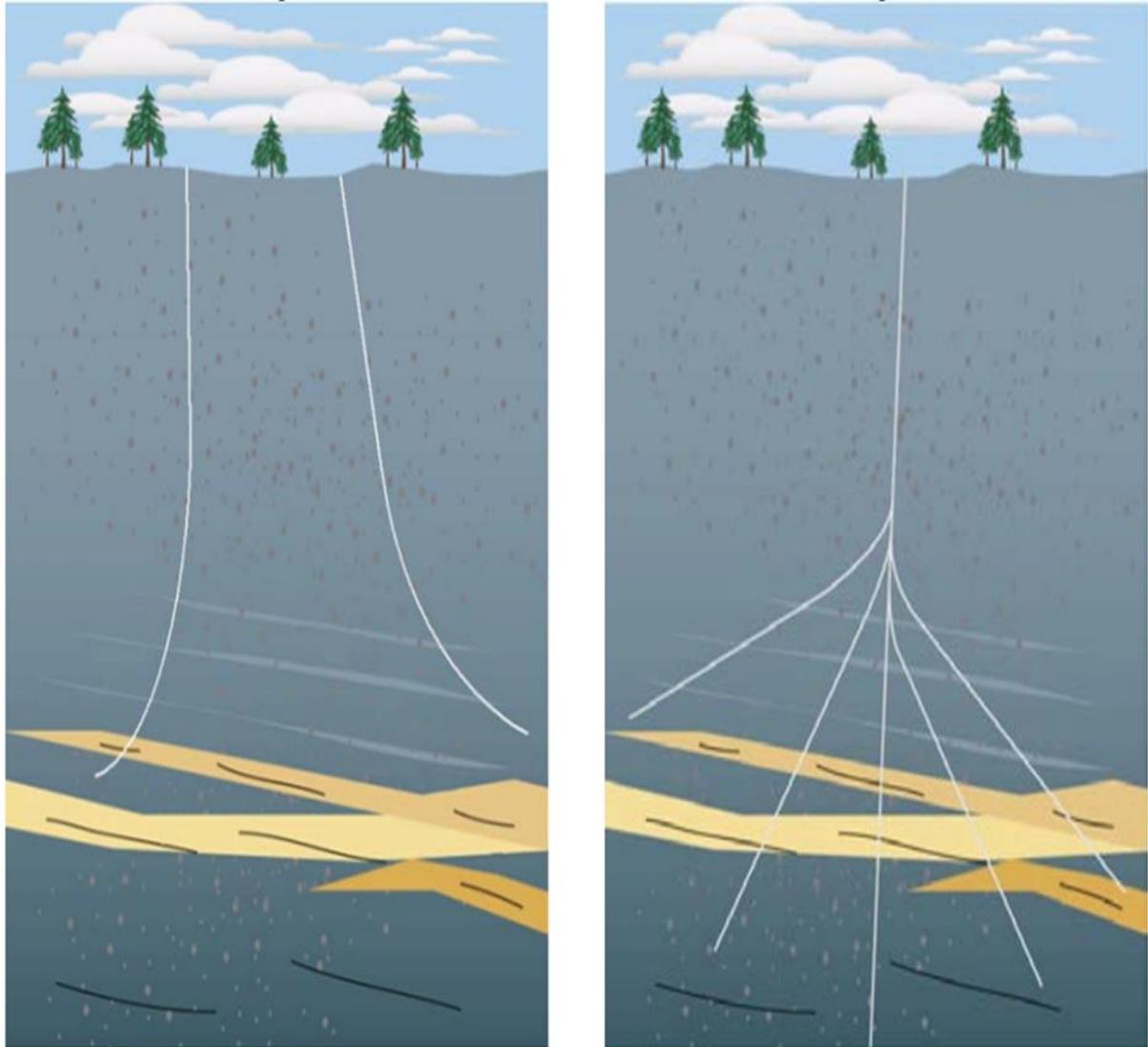
Tabla 5

Nuevas técnicas de perforación diamantina de los últimos años y sus beneficios

Nuevas Técnicas	Beneficios
	Permite mayor precisión en la ruta de la perforación.
Taladros Direccionados	Hace posible que la perforación diamantina sea encaminada y controlada tanto en la trayectoria como en la inclinación
	Permite menor interacción con los equipos y mayor seguridad para los colaboradores.
	Permite tener muestra del suelo perforado para realizar los ensayos geotécnicos correspondientes.
Perforación Geotécnica	Permite revisar las condiciones del suelo perforado, tanto geológicas como hidrogeológica
	Permite definir la tipología y dimensión de una obra.

Figura 29

Perforación diamantina convencional vs taladros direccionados



Nota. Adaptado de Perforación direccional con extracción de testigos [Imagen], por Devico, <https://www.youtube.com/watch?v=Pad-BinTyQ4>.

Los estudios de la composición y la estructura del macizo rocoso que se perforará en el campo se deben considerar como factores para tener mejores resultados en el cumplimiento de la trayectoria planificada inicialmente, en base a los estudios mencionados, deberá aplicarse los parámetros y utilizarse una broca adecuada para disminuir la desviación del sondaje diamantino. Es también una alternativa operativa el criterio del perforista según su experiencia, el método carece de confiabilidad, y presenta pocas probabilidades de éxito debido sino se complementa la información, estos

problemas pueden ocasionar atrapamiento de tubería, desgaste de broca, daño al equipo, etc (Altamirano & Martinez, 2020).

El diseño de la trayectoria en la planificación de la perforación en 2D o en 3D es lo principal en la perforación diamantina, la utilización de la información de pozos perforados adyacentes se recaba siempre y cuando estos tengan el mismo tipo de terreno, y se utiliza información geológica y geomecánica. Una buena trayectoria anterior nos permitirá recolectar información valiosa y precisa que posteriormente servirán de localizar con exactitud el yacimiento y su composición (Altamirano & Martinez, 2020).

2.2.5 Estadística inferencial

Conocida como Inferencia Estadística, esta presenta métodos estadísticos los cuales infieren una distribución poblacional bajo estudio adecuada; a partir de, una muestra representativa, la cual proviene de dicha población (Nolberto & Ponce, 2008).

2.2.6 Estadística paramétrica

Se presenta en los test estadísticos los cuales exigen requisitos puntuales como: normalidad de la población, variables de intervalo y homogeneidad en su varianza (Sierra, 2001).

2.2.7 Estadística no paramétrica

Se presenta en los test estadísticos los cuales no exigen requisitos a diferencia de los test estadísticos paramétricos, estos presentan tipos de test como: el chi cuadrado y la significación de los cambios (Sierra, 2001).

2.2.8 Spss

El Software IBM SPSS brinda un conjunto de características estadísticas que maximizan el uso de información de una empresa, Vease Anexo 3, el correcto manejo de información con estadística mejora la toma de decisiones, mejora los resultados de la investigación, asegurando un correcto cumplimiento normativo. (IBM, 2021).

Capítulo III: Desarrollo del trabajo de investigación

3.1 Marco metodológico

A través del presente capítulo se elabora una breve reseña explicativa de la metodología empleada para la elaboración del presente estudio, con el fin de cumplir con los propósitos propuestos:

3.1.1 *Tipo de Investigación*

Es una investigación de tipo cuantitativo con diseño pre y post, experimental; ya que, este se desarrolla por la variación de parámetros y la recolección de información (Prospectivos).

3.1.2 *Ámbito temporal y espacial*

La investigación fue realizada en una mina ubicada al sur en el departamento de Arequipa, en el cual la recolección de información se realizó en el año 2021.

3.1.3 *Población y muestra*

La población:

- Mina Crespo

Muestra:

- Perforadoras diamantinas con uso de taladros bajo el control del equipo de medición Champ Gyro.

3.1.4 *Criterios de inclusión y exclusión*

Criterios de inclusión:

- Sondaje diamantino.

Criterios de exclusión:

- Sondajes diamantinos con macizo rocoso cubierto por capas de hielo.
- Sondajes diamantinos con fallas en la máquina perforadora.

3.1.5 Métodos, materiales y técnicas e instrumentos para la recolección, procesamiento y análisis de datos

Con el objeto de lograr los propósitos de este estudio, se emplearon instrumentos y técnicas orientadas a obtener información o datos a través de las siguientes técnicas:

- Observación de los medidores en el tablero de comando.
- Recopilación de Información operativa.
- Medición con el equipo Champ Gyro.

En la presente investigación se tomará las muestras objeto de estudio, con el propósito de obtener sus resultados acerca de la temática planteada.

3.1.6 Métodos y técnicas para la presentación y análisis de datos

Constituye una primera parte inicial de la investigación formal, y consta básicamente de la observación de los procesos de trabajo, la recolección de datos de avance de perforación en la perforación diamantina y la obtención de información con el equipo Champ Gyro.

3.1.7 Análisis Cuantitativo

El análisis cuantitativo deberá ser un método estructurado que permita administrar, manejar y resolver acciones correctivas orientadas a controlar la desviación del sondaje. Dichas acciones correctivas pueden derivarse de una diversidad de fuentes, observaciones, resultados de monitoreo, etc.

Trabajo de campo:

- Análisis operacional.
- Obtención de datos.
- Recopilación de la información operacional.

Trabajo de gabinete:

- Análisis de los datos obtenidos.
- Evaluación de los datos.
- Aplicación de los procedimientos

Análisis de datos. Para el análisis de datos fue utilizada la prueba U de Mann Whitney, la cual realizó un comparativo pre y post test para un grupo experimental de sondajes, los cuales determinaron estadísticamente la variación de parámetros operativos y su influencia en la desviación de sondaje, adicional a esto, se utilizó el modelo de regresión lineal para las hipótesis específicas; para esto, se aplicaron conceptos estadísticos como el valor crítico, y la confiabilidad mediante la tabla U de Mann Whitney, la cual debe ser mayor o igual al 95% de confianza.

Por otro lado, si no existen diferencias acentuadas o menores entre los dos grupos pre y post test, el intervalo de confianza deberá ser menor o igual al 95% (t inferior al crítico).

3.1.8 Operacionalización de Variables

Tabla 6

Operacionalización de Variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES
TRAYECTORIA DE SONDAJE	Es la dirección en 3 dimensiones que toma el sondaje diamantino, se mide por medio del equipo de medición Champ Gyro.	AZIMUT	Ángulo de dirección de orientación
		BUZAMIENTO	Ángulo de dirección de inclinación
PARÁMETROS DE PERFORACIÓN	Son aquellos parámetros operativos capaces de orientar al taladro, se caracterizan por ser controlables.	VELOCIDAD DE ROTACIÓN	RPM
		CAUDAL DE FLUJO	Pulg/seg
		PESO SOBRE LA BROCA	Empuje (PSI)
BROCA DIAMANTINA	Estructura de acero dentado en polvo de diamante, la cual se utiliza para perforar y extraer núcleos de roca.	CONFIGURACIÓN DE LA BROCA DIAMANTINA	TIPO DE BROCA

3.2 Evaluación de la trayectoria del primer grupo de sondajes

Se realizó la comparación de dos sondajes, DDH 624-S21 y DDH 625-S25 como primer grupo de prueba, para esto se tiene en consideración:

El tipo de broca para este primer grupo es el mismo.

Las mediciones de desviaciones de sondaje fueron tomadas cada 50 m.

El azimut y buzamiento programado para fin de proyecto es similar, DDH 624-S21-550 mtrs (-67° y 330°) respectivamente y DDH 625-S25-500 mtrs (-67° y 331°).

Los sondeos tuvieron similar tipo de terreno; ya que, fueron tomados a menos de 25 m de distancia.

Para el primer grupo se realizaron las mediciones de sondeos cada 50 metros; ya que, las mediciones de control de sondeo no fueron exhaustivas.

Tabla 7

Cuadro del Sondaje DDH 624-S21 con broca 7-10

Fecha	Sondaje	Profundidad	Broca	Inclinación Prog.	Inclinación Medida.	Azimut Prog.	Azimut Medida	RPM	PRESIÓN (PSI)	RQD%
16/08/2021	DDH624-S21	0	7-10	-67.00	-67.30	330.00	330.14	650	900	45
16/08/2021	DDH624-S21	25	7-10	-67.00	-67.16	330.00	329.79	650	900	41
17/08/2021	DDH624-S21	50	7-10	-67.00	-67.04	330.00	329.87	700	850	59
17/08/2021	DDH624-S21	75	7-10	-67.00	-67.01	330.00	329.63	700	850	68
18/08/2021	DDH624-S21	100	7-10	-67.00	-67.06	330.00	329.98	750	850	72
18/08/2021	DDH624-S21	125	7-10	-67.00	-67.16	330.00	330.24	750	850	79
22/08/2021	DDH624-S21	150	7-10	-67.00	-67.25	330.00	330.64	800	800	82
22/08/2021	DDH624-S21	175	7-10	-67.00	-67.39	330.00	330.79	850	800	76
22/08/2021	DDH624-S21	200	7-10	-67.00	-67.54	330.00	330.97	800	800	80
24/08/2021	DDH624-S21	225	7-10	-67.00	-67.79	330.00	330.58	700	800	86
24/08/2021	DDH624-S21	250	7-10	-67.00	-67.92	330.00	330.33	700	800	76
25/08/2021	DDH624-S21	275	7-10	-67.00	-68.27	330.00	330.65	750	850	79
25/08/2021	DDH624-S21	300	7-10	-67.00	-68.36	330.00	330.72	750	850	83
26/08/2021	DDH624-S21	325	7-10	-67.00	-68.42	330.00	330.24	650	900	29
27/08/2021	DDH624-S21	350	7-10	-67.00	-68.51	330.00	329.91	650	900	39
28/08/2021	DDH624-S21	375	7-10	-67.00	-68.59	330.00	329.99	700	900	56
29/08/2021	DDH624-S21	400	7-10	-67.00	-68.66	330.00	329.87	700	850	63
29/08/2021	DDH624-S21	425	7-10	-67.00	-69.84	330.00	330.28	750	850	70
29/08/2021	DDH624-S21	450	7-10	-67.00	-69.92	330.00	330.39	750	900	67
30/08/2021	DDH624-S21	475	7-10	-67.00	-69.51	330.00	330.96	800	850	46
30/08/2021	DDH624-S21	500	7-10	-67.00	-69.58	330.00	331.22	800	750	83
31/08/2021	DDH624-S21	525	7-10	-67.00	-69.75	330.00	330.91	750	750	76
31/08/2021	DDH624-S21	550	7-10	-67.00	-69.92	330.00	331.34	750	750	78

Tabla 8

Cuadro estadístico descriptivo de la Inclinación y el Azimut del sondaje DDH624-S21

	Estadísticos Descriptivos						
	N	Rango	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Tip	Varianza
Inclinación Medida	22	2.91	-69.92	-67.01	-68.2982	1.05954	1.123
Azimut Medida	22	1.71	329.63	331.34	330.3932	0.48590	0.236
N válido (según lista)	22						

Tabla 9

Cuadro del Sondaje DDH 625-S25 con broca 7-10

Fecha	Sondaje	Profundidad	Broca	Inclinación Prog.	Inclinación Medida.	Azimut Prog.	Azimut Medida	RPM	PRESIÓN (PSI)	RQD%
3/09/2021	DDH625-S25		7-10	-67.00	-66.89	331.00	331.02	700	900	36
4/09/2021	DDH625-S25	25	7-10	-67.00	-66.80	331.00	330.73	700	900	42
5/09/2021	DDH625-S25	50	7-10	-67.00	-66.76	331.00	331.12	750	850	58
5/09/2021	DDH625-S25	75	7-10	-67.00	-67.12	331.00	331.45	750	850	62
7/09/2021	DDH625-S25	100	7-10	-67.00	-67.32	331.00	331.13	700	850	65
7/09/2021	DDH625-S25	125	7-10	-67.00	-67.39	331.00	330.79	700	850	70
8/09/2021	DDH625-S25	150	7-10	-67.00	-67.25	331.00	331.17	750	800	75
8/09/2021	DDH625-S25	175	7-10	-67.00	-67.51	331.00	331.44	750	800	79
9/09/2021	DDH625-S25	200	7-10	-67.00	-67.79	331.00	332.02	800	800	76
9/09/2021	DDH625-S25	225	7-10	-67.00	-68.05	331.00	332.49	800	800	75
10/09/2021	DDH625-S25	250	7-10	-67.00	-68.29	331.00	331.96	700	800	80
10/09/2021	DDH625-S25	275	7-10	-67.00	-68.51	331.00	331.62	700	800	84
11/09/2021	DDH625-S25	300	7-10	-67.00	-68.74	331.00	331.93	750	800	76
11/09/2021	DDH625-S25	325	7-10	-67.00	-68.80	331.00	332.30	750	800	39
12/09/2021	DDH625-S25	350	7-10	-67.00	-68.95	331.00	331.85	650	900	46
12/09/2021	DDH625-S25	375	7-10	-67.00	-68.82	331.00	331.31	650	900	56
13/09/2021	DDH625-S25	400	7-10	-67.00	-68.76	331.00	331.32	700	850	52
13/09/2021	DDH625-S25	425	7-10	-67.00	-68.92	330.00	331.23	700	850	62
15/09/2021	DDH625-S25	450	7-10	-67.00	-69.19	331.00	331.54	750	850	71
16/09/2021	DDH625-S25	475	7-10	-67.00	-69.42	331.00	331.86	750	850	79
16/09/2021	DDH625-S25	500	7-10	-67.00	-69.76	331.00	332.39	800	850	82

Tabla 10

Cuadro estadístico descriptivo de la Inclinación y el Azimut del sondaje DDH625-S25

	Estadísticos Descriptivos						
	N	Rango	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Tip	Varianza
Inclinación Medida	21	3.00	-69.76	-66.76	-68.1448	0.9275	0.864
Azimut Medida	21	1.76	330.73	332.49	331.5557	0.50730	0.257
N válido (según lista)	21						

3.3 Evaluación de la trayectoria para el segundo grupo de sondajes

Se realizó la comparación de dos sondajes, DDH 632-S37 y DDH 635-S41 para el segundo grupo de prueba, para esto se tiene en consideración:

- El tipo de broca para este segundo grupo varía, según la desviación operativa presentada.
- Las mediciones de desviaciones de sondaje fueron tomadas cada 50 m para el DDH632-S37 y cada 25 m para el DDH 635-S41.
- El azimut y buzamiento programado para fin de proyecto es similar, DDH 632-S37 (43° y 187°) con una profundidad de 300 m y DDH 635-S41 (46° y 188°) con una profundidad de 350 m.
- Los sondajes tuvieron el mismo tipo de terreno; ya que, fueron tomados a menos de 25 m de distancia.
- Para el segundo grupo se realizaron las mediciones de sondaje del DDH 635-S41 cada 25 metros; ya que, las mediciones de desviación de control de sondaje fueron realizadas con mayor rigor.

Tabla 11

Cuadro del Sondaje DDH 632-S37 con broca 7-10

Fecha	Sondaje	Profundidad	Broca	Inclinación Prog.	Inclinación Medida.	Azimut Prog.	Azimut Medida	RPM	PRESIÓN (PSI)	RQD%
22/09/2021	DDH632-S37	0	7-10	-43.00	-42.80	187.00	186.88	700	800	62
22/09/2021	DDH632-S37	25	7-10	-43.00	-42.75	187.00	186.65	700	800	53
23/09/2021	DDH632-S37	50	7-10	-43.00	-42.48	187.00	186.34	700	850	46
23/09/2021	DDH632-S37	75	7-10	-43.00	-42.21	187.00	186.10	700	850	76
24/09/2021	DDH632-S37	100	7-10	-43.00	-41.92	187.00	185.63	600	900	23
25/09/2021	DDH632-S37	125	7-10	-43.00	-42.54	187.00	185.22	600	900	78
25/09/2021	DDH632-S37	150	7-10	-43.00	-42.20	187.00	185.11	700	850	69
26/09/2021	DDH632-S37	175	7-10	-43.00	-41.96	187.00	185.04	700	850	63
26/09/2021	DDH632-S37	200	7-10	-43.00	-41.77	187.00	185.75	750	850	51
27/09/2021	DDH632-S37	225	7-10	-43.00	-41.53	187.00	186.36	750	850	24
28/09/2021	DDH632-S37	250	7-10	-43.00	-41.95	187.00	186.19	700	700	76
28/09/2021	DDH632-S37	275	7-10	-43.00	-42.53	187.00	186.02	700	700	82
29/09/2021	DDH632-S37	300	7-10	-43.00	-42.68	187.00	185.84	700	750	80
30/09/2021	DDH632-S37	325	7-10	-43.00	-42.85	187.00	185.67	700	750	86
01/10/2021	DDH632-S37	350	7-10	-43.00	-43.09	187.00	187.41	700	850	79
02/10/2021	DDH632-S37	375	7-10	-43.00	-43.16	187.00	187.09	700	850	75
03/10/2021	DDH632-S37	400	7-10	-43.00	-43.29	187.00	187.63	900	900	77
03/10/2021	DDH632-S37	425	7-10	-43.00	-43.26	187.00	188.15	900	950	49
04/10/2021	DDH632-S37	450	7-10	-43.00	-43.35	187.00	187.62	700	950	46
04/10/2021	DDH632-S37	475	7-10	-43.00	-43.66	187.00	187.23	700	900	76
05/10/2021	DDH632-S37	500	7-10	-43.00	-44.05	187.00	187.61	900	900	78
05/10/2021	DDH632-S37	525	7-10	-43.00	-44.49	187.00	188.09	900	900	72
06/10/2021	DDH632-S37	550	7-10	-43.00	-44.92	187.00	188.13	800	900	68
06/10/2021	DDH632-S37	575	7-10	-43.00	-45.17	187.00	187.46	700	950	46
07/10/2021	DDH632-S37	600	7-10	-43.00	-45.49	187.00	186.85	700	950	40

Tabla 12

Cuadro estadístico descriptivo de la Inclinación y el Azimut del sondaje DDH632-S37

	Estadísticos Descriptivos						
	N	Rango	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Tip	Varianza
Inclinación Medida	25	3.96	-45.49	-41.53	-43.0440	1.07687	1.160
Azimut Medida	25	3.11	185.04	188.15	186.6428	0.97380	0.948
N válido (según lista)	25						

Tabla 13

Cuadro del Sondaje DDH 635-S41 con broca 7-10 y 4-7

Fecha	Sondaje	Profundidad	Broca	Inclinación Prog.	Inclinación Medida.	Azimut Prog.	Azimut Medida	RPM	PRESIÓN (PSI)	RQD%
09/10/2021	DDH635-S41	0	7-10	-46.00	-46.10	188.00	187.76	700	850	62
09/10/2021	DDH635-S41	25	7-10	-46.00	-45.81	188.00	187.49	650	850	54
10/10/2021	DDH635-S41	50	7-10	-46.00	-45.43	188.00	187.01	600	900	47
11/10/2021	DDH635-S41	75	7-10	-46.00	-46.02	188.00	187.56	800	700	77
11/10/2021	DDH635-S41	100	7-10	-46.00	-45.41	188.00	187.05	600	950	25
12/10/2021	DDH635-S41	125	7-10	-46.00	-45.97	188.00	187.13	700	700	76
12/10/2021	DDH635-S41	150	7-10	-46.00	-45.74	188.00	187.39	750	850	59
13/10/2021	DDH635-S41	175	7-10	-46.00	-45.61	188.00	187.51	750	850	72
13/10/2021	DDH635-S41	200	7-10	-46.00	-45.53	188.00	187.72	750	850	53
14/10/2021	DDH635-S41	225	7-10	-46.00	-45.47	188.00	187.38	650	900	24
15/10/2021	DDH635-S41	250	7-10	-46.00	-45.88	188.00	187.45	700	700	78
15/10/2021	DDH635-S41	275	7-10	-46.00	-46.46	188.00	187.29	700	700	76
16/10/2021	DDH635-S41	300	7-10	-46.00	-46.54	188.00	187.04	700	850	80
16/10/2021	DDH635-S41	325	7-10	-46.00	-46.68	188.00	186.87	700	900	86
17/10/2021	DDH632-S37	350	7-10	-46.00	-46.96	188.00	186.79	700	900	84
18/10/2021	DDH632-S37	375	7-10	-46.00	-47.29	188.00	187.42	900	900	82
19/10/2021	DDH632-S37	400	4-7	-46.00	-47.06	188.00	187.71	900	900	75
20/10/2021	DDH632-S37	425	4-7	-46.00	-46.83	188.00	187.25	700	950	49
20/10/2021	DDH632-S37	450	4-7	-46.00	-46.61	188.00	187.08	700	950	40
22/10/2021	DDH632-S37	475	4-7	-46.00	-46.64	188.00	187.66	900	850	76
23/10/2021	DDH632-S37	500	4-7	-46.00	-46.73	188.00	187.48	850	850	80
25/10/2021	DDH632-S37	525	4-7	-46.00	-46.64	188.00	187.32	800	900	64
27/10/2021	DDH632-S37	550	4-7	-46.00	-46.59	188.00	187.57	800	900	52
28/10/2021	DDH632-S37	575	4-7	-46.00	-46.48	188.00	187.34	700	950	46
29/10/2021	DDH632-S37	600	4-7	-46.00	-46.39	188.00	187.23	700	950	40

Tabla 14

Cuadro estadístico descriptivo de la Inclinación y el Azimut del sondaje DDH635-S41

Estadísticos Descriptivos							
	N	Rango	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Tip	Varianza
Inclinación Medida	25	1.88	-47.29	-45.41	-46.2748	0.55479	0.308
Azimut Medida	25	0.97	186.79	187.76	187.34	0.26585	0.071
N válido (según lista)	25						

3.4 Prueba de Normalidad

Utilizamos la prueba de normalidad para determinar, si el conjunto de datos de Inclinación Medida y Azimut Medida de todos los sondajes son paramétricos o no paramétricos.

Para esto, se requiere utilizar el método analítico que requiere medidas de tendencia central.

Esta prueba se realizará, a continuación:

- **Primer Grupo:**

Tabla 15

Medidas de Tendencia Central del primer grupo

Estadísticos				
	Inclinación Medida	Azimut Medida	RPM	Presión
N válidos	43	43	43	43
N perdidos	0	0	0	0
Media	-68.2233	330.9609	727.907	840.698
Mediana	-68.2900	330.9700	750.000	850.000
Moda	-69.92	329.87	750.0	850.0
Asimetría	-0.208	0.141	-0.085	-0.278
Error típ. De asimetría	0.361	0.361	0.361	0.361
Curtosis	-1.206	-0.818	-0.783	-0.588
Error típ. de curtosis	0.709	0.709	0.709	0.709

- **Segundo grupo:**

Tabla 16

Medidas de Tendencia Central del segundo grupo

Estadísticos				
	Inclinación Medida	Azimut Medida	RPM	Presión
N válidos	50	50	50	50
N perdidos	1	1	1	1
Media	-43.1594	186.4914	734.000	859.000
Mediana	-43.0950	186.3850	700.000	850.000
Moda	-43.64	186.34	700.000	850.000
Asimetría	-0.556	0.504	0.833	-0.933
Error típ. De asimetría	0.337	0.337	0.337	0.337
Curtosis	0.392	0.279	0.117	0.117
Error típ. de curtosis	0.662	0.662	0.662	0.662

3.5 Prueba de Mann-Whitney:

- **Primer Grupo:**

Para el primer grupo la prueba de Mann Whitney arroja los siguientes resultados:

Tabla 17

Rango Promedio y Suma de Rangos en las variables de inclinación medida y azimut medida

Rangos				
	Sondaje	N	Rango Promedio	Suma de Rangos
INCLINACIÓN MEDIDA	1.0	22	21.48	472.50
	2.0	21	22.55	473.50
	Total	43		
AZIMUT MEDIDA	1.0	22	12.45	274.00
	2.0	21	32.00	672.00
	Total	43		
RPM	1.0	22	21.95	483.00
	2.0	21	22.05	463.00
	Total	43		
PRESIÓN	1.0	22	21.95	483.00
	2.0	21	21.45	450.50
	Total	43		
BROCA	1.0	22	22.00	484.00
	2.0	21	22.00	462.00
	Total	43		

Tabla 18

Inclinación medida y Azimut Medida

Estadísticos de Contraste					
	Inclinación Medida	Azimut Medida	RPM	Presión	Broca
U de Mann-Whitney	219.500	21.000	230.000	219.500	231.000
W de Wilcoxon	472.500	274.000	483.000	450.500	462.000
Z	-0.279	-5.103	-0.026	-0.296	0.000
Sig. Asintót. (bilateral)	0.780	0.180	0.980	0.867	1.000

- **Segundo Grupo:**

Para el segundo grupo la prueba de Mann Whitney arroja los siguientes resultados:

Tabla 19

Rango Promedio y Suma de Rangos en las variables de inclinación medida y azimut medida.

	Rangos			
	Sondaje	N	Rango Promedio	Suma de Rangos
INCLINACIÓN MEDIDA	1.0	25	28.78	719.50
	2.0	25	22.22	555.50
	Total	50		
AZIMUT MEDIDA	1.0	25	27.46	686.50
	2.0	25	23.54	588.50
	Total	50		
RPM	1.0	25	25.02	625.50
	2.0	25	25.98	649.50
	Total	50		
PRESIÓN	1.0	25	24.44	611.00
	2.0	25	26.56	664.00
	Total	50		
BROCA	1.0	25	21.00	525.00
	2.0	25	30.00	750.00
	Total	50		

Tabla 20

Inclinación de medida y Azimut de Medida.

	Estadísticos de Contraste				
	Inclinación Medida	Azimut Medida	RPM	Presión	Broca
U de Mann-Whitney	230.500	263.500	300.500	286.000	200.000
W de Wilcoxon	555.500	588.500	625.500	611.000	525.000
Z	-1.591	-0.951	-0.254	-0.532	-3.280
Sig. Asintót. (bilateral)	0.037	0.001	0.799	0.594	0.001

3.6 Influencia de los parámetros operativos en la trayectoria de los sondajes

3.6.1 Influencia en el Buzamiento

3.6.1.1. Variación del RPM

- **Variación del Sondaje DDH624-S21**

Para el sondaje DDH624-S21, se presentan los siguientes resultados.

Tabla 21*Resumen Modelo (Inclinación Medida) DDH624-S21*

Estadísticos del modelo									
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Estadísticos de cambio				
					Cambio en R cuadrado	Cambio en F	GI1	GI2	Sig. Cambio en F
1	0.314	0.099	0.054	1.03063	0.099	2.194	1	20	0.154

Tabla 22*Coefficiente RPM para la Inclinación Medida DDH624-S21*

Estadísticos de modelo								
Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados		t.	Sig.	Estadísticos de colinealidad	
	B	Error típ.	Beta	Tolerancia			FIV	
1	(Constante)	-63.504	3.244	-	-19.576	0.000	-	-
	RPM	-0.007	0.004	-0.314	-1.481	0.154	1.000	1.000

a. Variable Independiente: INCLINACIÓNMEDIDA

- **Sondaje DDH632-S37**

Tabla 23*Resumen Modelo (Inclinación Medida) DDH632-S37*

Estadísticos del modelo									
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Estadísticos de cambio				
					Cambio en R cuadrado	Cambio en F	GI1	GI2	Sig. Cambio en F
1	0.461	0.213	0.179	0.97603	0.213	6.216	1	23	0.020

Tabla 24*Coefficiente RPM para la Inclinación Medida DDH632-S37*

Estadísticos de modelo								
Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados		t.	Sig.	Estadísticos de colinealidad	
	B	Error típ.	Beta	Tolerancia			FIV	
1	(Constante)	-38.736	1.739	-	-22.275	0.000	-	-
	RPM	-0.006	0.002	-0.461	-2.493	0.020	1.000	1.000

a. Variable Independiente: INCLINACIÓNMEDIDA

3.6.1.2. Variación del Empuje

▪ Sondaje DDH625-S25.

Tabla 25

Resumen Modelo (Inclinación Medida) DDH625-S25

Estadísticos del modelo									
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Estadísticos de cambio				
					Cambio en R cuadrado	Cambio en F	GI1	GI2	Sig. Cambio en F
1	0.065	0.004	-0.048	0.95190	0.004	0.080	1	19	0.781

Tabla 26

Coefficiente Presión para la Inclinación Medida DDH625-S25

Estadísticos de modelo								
Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t.	Sig.	Estadísticos de colinealidad	
		B	Error típ.	Beta			Tolerancia	FIV
1	(Constante)	-69.492	4.778	-	-14.545	0.000	-	-
	Presión	0.002	0.006	0.065	0.282	0.781	1.000	1.000

a. Variable Independiente: INCLINACIÓNMEDIDA

▪ Sondaje DDH635-S41.

Tabla 27

Resumen Modelo (Inclinación Medida) DDH635-S41

Estadísticos del modelo									
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Estadísticos de cambio				
					Cambio en R cuadrado	Cambio en F	GI1	GI2	Sig. Cambio en F
1	0.229	0.052	0.011	0.55167	0.052	1.272	1	23	0.271

Tabla 28

Coefficiente Presión para la Inclinación Medida DDH635-S41

Estadísticos de modelo								
Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t.	Sig.	Estadísticos de colinealidad	
		B	Error típ.	Beta			Tolerancia	FIV
1	(Constante)	-44.919	1.208	-	-37.199	0.000	-	-
	Presión	0.002	0.001	-0.229	-1.128	0.271	1.000	1.000

a. Variable Independiente: INCLINACIÓNMEDIDA

3.6.2 Influencia en el Azimut

3.6.2.1. Variación del RPM

- **Sondaje DDH624-S21.**

Para el sondaje DDH624-S21, se presentan los siguientes resultados:

Tabla 29

Resumen Modelo (Azimut Medida) DDH624-S21

Estadísticos del modelo									
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Estadísticos de cambio				
					Cambio en R cuadrado	Cambio en F	GI1	GI2	Sig. Cambio en F
1	0.707	0.500	0.475	0.35212	0.500	19.988	1	20	0.000

Tabla 30

Coefficiente RPM para la Azimut Medida DDH624-S21

Estadísticos de modelo								
Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados		t.	Sig.	Estadísticos de colinealidad	
	B	Error típ.	Beta	Tolerancia			FIV	
1	(Constante)	325.450	1.108	-	293.647	0.000	-	-
	Presión	0.007	0.002	0.707	4.471	0.000	1.000	1.000

a. Variable Independiente: AZIMUTMEDIDA

- **Sondaje DDH 635-S41.**

Para el sondaje DDH635-S41, se presentan los siguientes resultados.

Tabla 31

Resumen Modelo (Azimut Medida) DDH635-S41

Estadísticos del modelo									
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Estadísticos de cambio				
					Cambio en R cuadrado	Cambio en F	GI1	GI2	Sig. Cambio en F
1	0.555	0.308	0.278	0.22583	0.308	10.258	1	23	0.004

Tabla 32

Coefficiente RPM para la Azimut Medida DDH624-S21

Estadísticos de modelo								
Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados		t.	Sig.	Estadísticos de colinealidad	
	B	Error típ.	Beta	Tolerancia			FIV	
1	(Constante)	186.059	0.403	-	462.118	0.000	-	-
	Presión	0.002	0.001	0.555	3.203	0.004	1.000	1.000

a. Variable Independiente: AZIMUTMEDIDA

3.6.2.2. Variación del Empuje.

- **Sondaje DDH625-S25.**

Tabla 33

Resumen Modelo (Azimut Medida) DDH625-S25

Estadísticos del modelo									
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Estadísticos de cambio				
					Cambio en R cuadrado	Cambio en F	GI1	GI2	Sig. Cambio en F
1	0.499	0.249	0.210	0.45097	0.249	6.308	1	19	0.021

Tabla 34

Coefficiente Presión para la Azimut Medida DDH624-S21

Estadísticos de modelo									
Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados		t.	Sig.	Estadísticos de colinealidad	
		B	Error típ.	Beta				Tolerancia	FIV
1	(Constante)	337.235	2.263	-		148.992	0.000	-	-
	Presión	-0.007	0.003	0.499		-2.512	0.021	1.000	1.000

a. Variable Independiente: AZIMUTMEDIDA

- **Sondaje DDH 632-S37.**

Tabla 35

Resumen Modelo (Azimut Medida) DDH632-S37

Estadísticos del modelo									
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Estadísticos de cambio				
					Cambio en R cuadrado	Cambio en F	GI1	GI2	Sig. Cambio en F
1	0.455	0.207	0.173	0.53862	0.207	6.004	1	23	0.022

Tabla 36

Coefficiente Presión para la Azimut Medida DDH632-S37

Estadísticos de modelo									
Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados		t.	Sig.	Estadísticos de colinealidad	
		B	Error típ.	Beta				Tolerancia	FIV
1	(Constante)	183.119	1.195	-		153.297	0.000	-	-
	Presión	0.003	0.001	0.455		2.450	0.022	1.000	1.000

a. Variable Independiente: AZIMUTMEDIDA

Capítulo IV: Análisis y discusión de resultados

Para escoger correctamente el modelo estadístico inferencial para dos muestras independientes, se utiliza la prueba de normalidad:

4.1 Prueba de normalidad

Los resultados arrojaron:

4.1.1 *Para el primer grupo.*

La inclinación medida, presentó una asimetría de 0.208 y una curtosis de -1.206. El azimut medido, presentó una asimetría de 0.141 y una curtosis de -0.818.

4.1.2 *Para el segundo grupo.*

La inclinación medida, presentó una asimetría de -0.556 y una curtosis de 0.392. El azimut medido, presentó una asimetría de 0.504 y una curtosis de 0.279.

Según los resultados, los dos grupos no cumplen con una distribución normal; ya que, ambos se encuentran lejos del 0 en general, para la asimetría y la curtosis.

4.2 Prueba de U de Mann Whitney

Usaremos la prueba de Mann Whitney; ya que los datos son no paramétricos, no cumplen con una distribución normal, y la prueba se ajusta a los elementos que estamos buscando.

Los resultados de la prueba de Mann-Whitney son:

4.2.1 *Para el primer grupo.*

El tipo de sondaje no mostró diferencias estadísticamente significativas en la inclinación medida, donde el ángulo del Muestral 1 (Mdn = -68.32; Rango = 2.91) fue menor que la del Muestral 2 (Mdn = -68.29; Rango = 3.00) $U = 219.50$, $p = 0.780$.

El tipo de sondaje no mostró diferencias estadísticamente significativas en el azimut medido, donde el ángulo del Muestral 2 (Mdn = 331.45; Rango = 1.76) fue mayor que la del Muestral 1 (Mdn = 330.31; Rango = 1.71) $U = 21.00$, $p = 0.180$.

El tipo de sondaje no mostró diferencias estadísticamente significativas en el RPM medido, donde el valor del Muestral 1 (Mdn = 750; Rango = 150) fue igual que la del Muestral 2 (Mdn = 750; Rango = 150) $U = 230.00$, $p = 0.980$.

El tipo de sondaje no mostró diferencias estadísticamente significativas en la presión medida, donde el valor del Muestral 1 (Mdn = 850; Rango = 150) fue igual que la del Muestral 2 (Mdn = 850; Rango = 100) $U = 219.5$, $p = 0.867$.

El tipo de sondaje no mostró diferencias estadísticamente significativas en el tipo de broca medido, donde el valor del Muestral 1 (Mdn = 1.00; Rango = 0) fue igual que la del Muestral 2 (Mdn = 1.00; Rango = 0) $U = 231.0$, $p = 1.000$.

Se puede apreciar que el p valor para el primer grupo es mayor a 0.05 para la inclinación y el azimut; por lo tanto, no existen diferencias significativas comparando el Muestral 1 y 2.

4.2.2 Para el segundo Grupo.

El tipo de sondaje mostró diferencias estadísticamente significativas en la inclinación medida, donde el ángulo del Muestral (Mdn = -42.80; Rango = 3.96) fue mayor que la del Muestral 2 (Mdn = -43.46; Rango = 1.88) $U = 230.5$, $p = 0.037$.

El tipo de sondaje mostró diferencias estadísticamente significativas en el azimut medido, donde el ángulo del Muestral (Mdn = 186.65; Rango = 3.11) fue mayor que la del Experimental (Mdn = 186.38; Rango = 0.97) $U = 263.5$, $p = 0.010$.

El tipo de sondaje no mostró diferencias estadísticamente significativas en el RPM medido, donde valor del Muestral (Mdn = 700; Rango = 300) fue igual que la del Experimental (Mdn = 700; Rango = 300) $U = 300.5$, $p = 0.799$.

El tipo de sondaje no mostró diferencias estadísticamente significativas en la presión medida, donde el valor del Muestral (Mdn = 850; Rango = 250) fue menor que la del Experimental (Mdn = 900; Rango = 250) $U = 286.0$, $p = 0.594$.

El tipo de sondaje mostró diferencias estadísticamente significativas en el tipo de broca medido, donde el valor del Muestral (Mdn = 1; Rango = 0) fue igual que la del Experimental (Mdn = 1; Rango = 1) $U = 200.0$, $p = 0.001$.

Se puede apreciar que el p valor para el segundo grupo es menor a 0.05 para la inclinación, azimut medida, y para el tipo de broca; por lo tanto, existen diferencias significativas comparando el Muestral con el Experimental.

El tipo de broca se encuentra dentro de la variación de parámetros en conjunto con el RPM y la presión, estos últimos tuvieron un mayor acercamiento al 0.05 en el segundo que en el primer; debido a que, el control de desviación diamantina se realizó a 25m; por lo tanto, en conjunto existen diferencias significativas comparando el Muestral con el Experimental.

4.3 Prueba de regresión Lineal Múltiple

4.3.1 Para el Buzamiento.

4.3.1.1. RPM. Según el modelo de regresión lineal múltiple con método ENTER, como podemos observar en los Sondajes DDH624-S21 y DDH632-S37 poseen un $R^2=$ de 0.099 y 0.179, además la variable RPM tiene un $p=$ a 0.154 y 0.02.

4.3.1.2. Presión. Según el modelo de regresión lineal múltiple con método ENTER, como podemos observar en los Sondajes DDH625-S25 y DDH635-S41 poseen un $R^2=$ de 0.004 y 0.052, además la variable Presión tiene un $p=$ a 0.282 y 0.271.

4.3.2 Para el Azimut.

4.3.2.1. RPM. Según el modelo de regresión lineal múltiple con método ENTER, como podemos observar en los Sondajes DDH624-S21 y DDH635-S41 poseen un $R^2=$ de 0.50 y 0.308, además la variable RPM tiene un $p=$ a 0.00 y 0.004.

4.3.2.2. Presión. Según el modelo de regresión lineal múltiple con método ENTER, como podemos observar en los Sondajes DDH625-S25 y DDH632-S37 poseen un $R^2=$ de 0.249 y 0.207, además la variable RPM tiene un $p=$ a 0.021 y 0.022.

4.4 Prueba de validación de hipótesis

$H_0 < 0.05$ Se rechaza la hipótesis nula, existe un cambio significativo.

$H_0 \geq 0.05$ Se acepta la hipótesis nula, no existe un cambio significativo

Para nuestro caso en particular, se busca que, para el primer grupo de sondajes la U de Mann Whitney no sea significativo y para el segundo grupo de sondajes si lo sea.

Para el primer grupo de sondajes:

$p \geq 0.05$ se acepta la hipótesis nula; por lo tanto, no existen diferencias significativas para el primer grupo de sondajes.

Para el segundo grupo de sondajes:

$p < 0.05$ se rechaza la hipótesis nula; por lo tanto, si existen diferencias significativas para el segundo grupo de sondajes

Se concluye que la hipótesis planteada es correcta

Tabla 37

Resumen Estadístico

U de Mann Withnney				
	Primer Grupo		Segundo Grupo	
Inclinación Medida	U = 219.500	p = 0.780	U =230.500	p =0.037
Azimet Medida	U = 21.000	p = 0.180	U =263.500	p =0.001
RPM	U = 230.000	p = 0.980	U =300.500	p =0.799
Presión	U = 219.500	p = 0.867	U =286.000	p =0.594
Broca	U = 231.000	p = 1.000	U =200.000	p =0.001
Regresión Lineal Múltiple				
	Influencia en el Buzamiento		Influencia en el Azimet	
Variación del RPM	p= 0.154		Variación del RPM	p= 0.000
	p= 0.020			p= 0.004
Variación del Empuje	p= 0.781		Variación del Empuje	p= 0.021
	p= 0.271			p= 0.022

Conclusiones

Se concluye que, al variar correctamente los parámetros de perforación, el $p < 0.05$ lo cual indica que en el segundo grupo existen diferencias significativas para el ángulo de inclinación $U = 230.5$, $p = 0.037$ y para el azimut medido $U = 263.5$, $p = 0.010$ a diferencia del primer grupo para el ángulo de inclinación $U = 219.5$, $p = 0.780$ y para el azimut medido $U = 21.0$, $p = 0.180$.

Se concluye, que en el segundo grupo el $p \leq 0.05$, si cumple; por lo tanto, el cambio si fue significativo en la trayectoria del sondaje, con la ayuda de las mediciones de sondaje cada 25 metros, utilizando el modelo de la U de Mann-Whitney para muestras relacionadas aplicadas en el software SPSS.

El cambio de parámetros en terreno fracturado en ocasiones no es suficiente para mantener un sondaje con una inclinación proyectada, es necesario, la selección adecuada del tipo de broca.

Se concluye que la influencia del RPM sobre la inclinación medida es baja; ya que, posee valores de un $p = 0.154$ y 0.02

Se concluye que no existe influencia significativa del Empuje sobre la inclinación medida por los valores obtenidos del $p = 0.282$ y 0.271 .

Se concluye que la influencia del RPM sobre el Azimut medido es alta; ya que, posee valores de un $p = 0.00$ y 0.004 .

Se concluye que la influencia del Empuje sobre el Azimut medido es alta; ya que, posee valores de un $p = 0.021$ y 0.022 .

Recomendaciones

Es recomendable mantener una medición de desviación de sondaje cada 25 metros y cuando el terreno cambie por falla o por fracturamiento.

Utilizar equipos de medición de sondaje continuo con alta velocidad, como el Champ Gyro, para agilizar la medición y evitar el atascamiento de la broca y las tuberías.

La relación de U de Mann Whitney es de alta importancia en estudios de estadística inferencial no paramétrica, y tiene una interfaz amigable en el software SPSS, el cual es recomendado para la aplicación de estadística.

Referencias bibliográficas

- Akin, S., & Karpuz, C. (2008). Estimación de parámetros de perforación para operaciones de perforación con broca de diamante utilizando redes neuronales artificiales. [Revista Internacional de Geomecánica, Turquía]
- Altamirano, E., & Martinez, H. (2020). Influencia del tipo de broca y parámetros de perforación en la trayectoria de los taladros en la perforación diamantina de una unidad minera. Revisión sistemática entre 2010-2020. [Tesis de Pregrado]. Universidad Privada del Norte, Lima.
- Arana, J. (2014) "Medición de la Trayectoria de Pozos de Prospección Geológica". [Tesis para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad Nacional de Cajamarca, Perú]
- Barreto (2018) "Supervisión, identificación de peligros y evaluación de riesgos operacionales en el control de procesos de sondaje diamantino E. E. Redrillsa S.A.C Mina Constancia". [Tesis para optar al título de Ingeniero de Minas, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú]
- Boart Longyear. (2012). Equipo de perforación para superficie LF-90D. Recuperado de <https://www.boartlongyear.com/>
- Boranbay Ratov, et al. (2023) Cálculos sobre la mejora de brocas de diamante policristalino mediante la adición de elementos superduros reforzados con diamante [Artículo de la academia: Kai Cheng, Suiza]
- Boyles Bros (2022). Equipo de perforación para superficie LF-90D. Recuperado de <https://www.boyles.com.pe/>
- Castilla, J., & Herrera, J. (2012). El proceso de exploración minera mediante sondeos. El proceso de exploración minera mediante sondeos. Madrid.7
- Diamantina Christensen. (2017). Manual técnico del perforista. Obtenido de Recuperado de <http://www.diamantinachristensen.com/>

- Distribuciones Pako. (2013). Entrega de un equipo de perforación LF#90 en el proyecto Mina Los Santos. Recuperado de <https://www.distribucionespako.com/blog/wp-content/uploads/2013/05/PDF-ARTICULO-LF90D.pdf>
- Durexa Drilling. (2019). Perforación diamantina como nueva tecnología. Recuperado de: https://web.facebook.com/notes/durexa-drilling-tools/par%C3%A1metros-de-perforaci%C3%B3n-con-n%C3%BAcleo/573357603304708/?_rdc=1&_rdr
- Fernández R, et al. (2015). Apuntes didácticos de Geología de Minas: Perforaciones en la exploración minera. [Universidad nacional de La Plata, Argentina]
- Instituto Geológico y Minero de España. (2000). Manual y perforación de voladura de rocas. [Madrid]
- López, MJ. (2002). Geología Aplicada a la Ingeniería Civil. 2 ed. Editorial Dossat. Madrid. España.
- Mantilla Tafur, V. H. (2019). Control de la trayectoria de taladros variando tipo de broca y parámetros de perforación con sistema diamantina. [Tesis para optar al título de Ingeniero de minas, Universidad Privada del Norte, Perú]
- MINEM. (2021). Boletín Estadístico Minero. Lima: MINEM.
- Salas Vasquez, A. T. (2016). Análisis y mejora de la calidad en el proceso de perforación en diamantina utilizando la metodología DMAIC [Tesis para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad Andrés Bello, Chile]
- Panasiuk, et al. (2023) Investigación de parámetros de perforación de pozos para determinar el tamaño óptimo de bloques de piedra de granito [Artículo de la Serie de conferencias del IOP: Ciencias de la Tierra y el Medio Ambiente, Ucrania]
- Portilla, H.; Fernando, D. y Reinel, C. (2012). Metodología para la optimización de parámetros de perforación a partir de propiedades geomecánicas.
- Xin Cao, et al. (2019). Proceso de perforación con núcleo de diamante utilizando el modo de lavado intermitente. [Artículo de la Sociedad Saudí de Geociencias, Arabia Saudita]

Yepes, V. (2014). Perforación rotativa con trépanos triturantes o triconos. Obtenido de [Dibujo]: Recuperado de <https://victoryepes.blogs.upv.es/2014/01/16/perforacion-rotativa-con-triconos/>

Anexos

Anexo 1: Matriz de consistencia	2
Anexo 2: Artículo 2 del D.S. 024	3
Anexo 3: Jerarquía de controles utilizada en el IPERC	4
Anexo 4: Interfaz del Software SPSS.....	5
Anexo 5: Prueba de U de Mann Whitney para el primer grupo	5
Anexo 6: Prueba de U de Mann Whitney para el segundo grupo.....	6
Anexo 7: Bases de datos para el primer grupo	6
Anexo 8: Bases de datos para el segundo grupo.....	7
Anexo 9: Antecedentes Referenciales adicionales.....	8

Anexo 1: Matriz de consistencia

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLE
PROBLEMA GENERAL:	OBJETIVO GENERAL:	HIPOTESIS GENERAL:	INDEPENDIENTES:
¿Cuál es la relación de la variación de los parámetros y la trayectoria de los sondajes en máquinas diamantinas de un proyecto minero, utilizando la medición de desviación adecuadamente?	Determinar la variación de parámetros correcta para controlar la trayectoria de sondajes en máquinas diamantinas de un proyecto minero, utilizando la medición de desviación adecuadamente.	Existe la variación de parámetros en perforación adecuada para controlar la trayectoria de sondajes en máquinas diamantinas de un proyecto minero utilizando la medición de desviación adecuadamente.	<ul style="list-style-type: none"> - VELOCIDAD DE ROTACIÓN - CAUDAL DE FLUJO - PESO SOBRE LA BROCA - BROCA DIAMANTINA
PROBLEMAS ESPECIFICOS:	OBJETIVOS GENERALES:	HIPOTESIS GENERALES:	DEPENDIENTES:
<ul style="list-style-type: none"> - ¿Cuál es la relación de la velocidad de rotación y la inclinación del taladro utilizando la medición de desviación adecuadamente? - ¿Cuál es la relación del empuje y la inclinación del taladro utilizando la medición de desviación adecuadamente? - ¿Cuál es la relación de la velocidad de rotación y el azimut del taladro utilizando la medición de desviación adecuadamente? - ¿Cuál es la relación del empuje y el azimut del taladro utilizando la medición de desviación adecuadamente? - ¿Cuál es la relación del tipo de broca y la trayectoria del taladro utilizando la medición de desviación adecuadamente? 	<ul style="list-style-type: none"> - Determinar la influencia del parámetro velocidad de rotación sobre la inclinación del taladro (buzamiento) para el control de la trayectoria de sondaje, utilizando la medición de desviación adecuadamente. - Determinar la influencia del parámetro carga aplicada o empuje sobre la inclinación del taladro (buzamiento) para el control de la trayectoria de sondaje, utilizando la medición de desviación adecuadamente. - Determinar la influencia del parámetro velocidad de rotación sobre el azimut del taladro para el control de la trayectoria de sondaje, utilizando la medición de desviación adecuadamente. - Determinar la influencia del parámetro carga aplicada o empuje sobre el azimut del taladro para el control de la trayectoria de sondaje, utilizando la medición de desviación adecuadamente. - Determinar la influencia del tipo de broca en la trayectoria del taladro (buzamiento y azimut), utilizando la medición de desviación adecuadamente. 	<ul style="list-style-type: none"> - Existe una influencia del parámetro velocidad de rotación sobre la inclinación del taladro (buzamiento) para el control de la trayectoria de sondaje, utilizando la medición de desviación adecuadamente. - Existe una influencia del parámetro carga aplicada o empuje sobre la inclinación del taladro (buzamiento) para el control de la trayectoria de sondaje, utilizando la medición de desviación adecuadamente. - Existe una influencia del parámetro velocidad de rotación sobre el azimut del taladro para el control de la trayectoria de sondaje, utilizando la medición de desviación adecuadamente. - Existe una influencia del parámetro carga aplicada o empuje sobre el azimut del taladro para el control de la trayectoria de sondaje, utilizando la medición de desviación adecuadamente. - El tipo de broca presenta una influencia directa en la trayectoria de sondaje (buzamiento y azimut), utilizando la medición de desviación adecuadamente. 	<ul style="list-style-type: none"> - AZIMUT - BUZAMIENTO

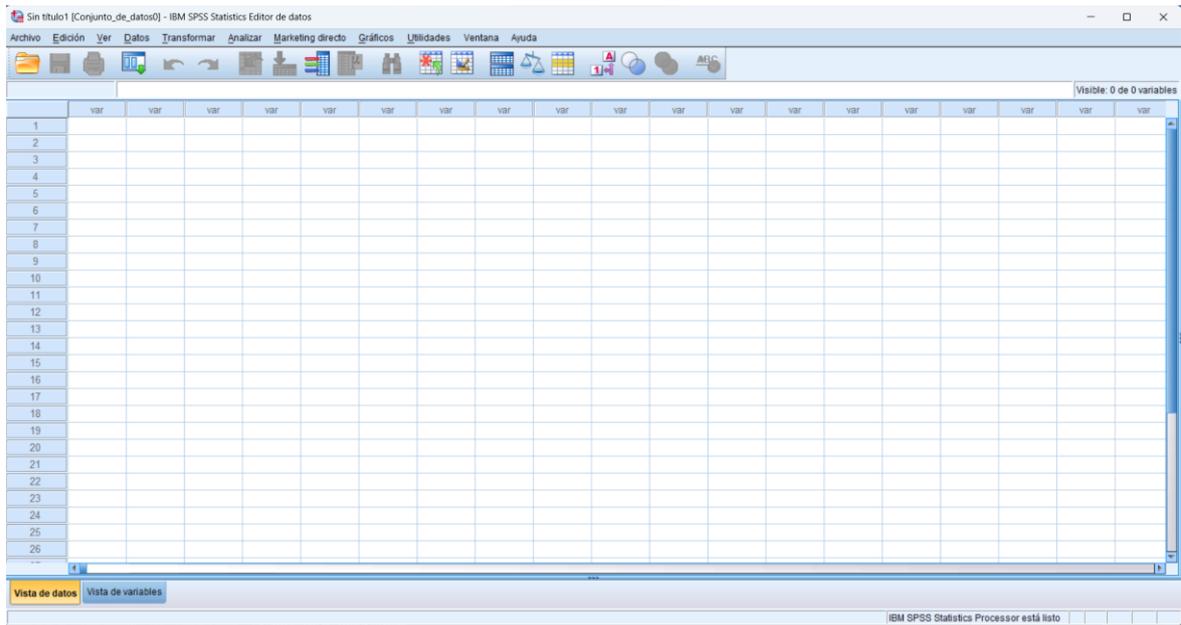
Anexo 2: Artículo 2 del D.S. 024

Las actividades a las que alcanza el presente reglamento son las siguientes: a) Las actividades mineras desarrolladas en los emplazamientos en superficie o subterráneos de minerales metálicos y no metálicos: 1. Exploración (perforación diamantina, cruceros, trincheras, entre otros). 2. Explotación (desarrollo, preparación, explotación propiamente dicha, depósitos de minerales, desmontes y relaves, entre otros). 3. Beneficio (lavado metalúrgico del mineral extraído, preparación mecánica, concentración, lixiviación, adsorción⁰⁰² desorción, Merrill Crowe, tostación, fundición, refinación, entre otros). 4. Almacenamiento de concentrados de mineral, carbón activado, refinados, minerales no metálicos, relaves, escorias y otros. 5. Sistema de transporte minero (fajas transportadoras, tuberías o mineroductos, cable carriles, entre otros). 6. Labor general (ventilación, desagüe, izaje o extracción, entre dos o más concesiones de diferentes titulares de actividades mineras). 7. Actividades de cierre de minas (cierre temporal, progresivo y final de componentes) y/o actividades de cierre de pasivos ambientales mineros en la etapa de ejecución de cierre y de reaprovechamiento de pasivos. b) Actividades conexas a la actividad minera: Construcciones civiles, montajes mecánicos y eléctricos, instalaciones anexas o complementarias, tanques de almacenamiento, tuberías en general, generadores eléctricos, sistemas de transporte que no son concesionados, uso de maquinaria, equipo y accesorios, mantenimiento mecánico, eléctrico, comedores, hoteles, campamentos, servicios médicos, vigilancia, construcciones y otros tipos de prestación de servicios

Anexo 3: Jerarquía de controles utilizada en el IPERC



Anexo 4: Interfaz del Software SPSS



Anexo 5: Prueba de U de Mann Whitney para el primer grupo

Pruebas no paramétricas

[Conjunto_de_datos1]

Prueba de Mann-Whitney

Rangos

	SONDAJE	N	Rango promedio	Suma de rangos
INCLINACIÓNMEDIDA	1,0	22	21,48	472,50
	2,0	21	22,55	473,50
	Total	43		
AZIMUTMEDIDA	1,0	22	12,45	274,00
	2,0	21	32,00	672,00
	Total	43		
RPM	1,0	22	21,95	483,00
	2,0	21	22,05	463,00
	Total	43		
Presión	1,0	22	22,52	495,50
	2,0	21	21,45	450,50
	Total	43		
BROCA	1,0	22	22,00	484,00
	2,0	21	22,00	462,00
	Total	43		

Estadísticos de contraste^a

	INCLINACIÓN MEDIDA	AZIMUTMEDIDA	RPM	Presión	BROCA
U de Mann-Whitney	219,500	21,000	230,000	219,500	231,000
W de Wilcoxon	472,500	274,000	483,000	450,500	462,000
Z	-.279	-5,103	-.026	-.296	.000
Sig. asintót. (bilateral)	.780	.000	.980	.767	1,000

a. Variable de agrupación: SONDAJE

Anexo 6: Prueba de U de Mann Whitney para el segundo grupo

Pruebas no paramétricas
[Conjunto_de_datos2]

Prueba de Mann-Whitney

Rangos

	SONDAJE	N	Rango promedio	Suma de rangos
INCLINACIÓNMEDIDA	1,0	25	28,78	719,50
	2,0	25	22,22	555,50
	Total	50		
AZIMUTMEDIDA	1,0	25	27,46	688,50
	2,0	25	23,54	588,50
	Total	50		
RPM	1,0	25	25,02	625,50
	2,0	25	25,98	649,50
	Total	50		
PRESIÓNPSI	1,0	25	24,44	611,00
	2,0	25	26,56	664,00
	Total	50		
BROCA	1,0	25	21,00	525,00
	2,0	25	30,00	750,00
	Total	50		

Estadísticos de contraste^a

	INCLINACIÓN MEDIDA	AZIMUTMEDIDA	RPM	PRESIÓNPSI	BROCA
U de Mann-Whitney	230,500	203,500	300,500	286,000	200,000
W de Wilcoxon	555,500	588,500	625,500	611,000	525,000
Z	-1,591	-,951	-,254	-,532	-,3280
Sig. asíntot. (bilateral)	,112	,342	,799	,594	,001

a. Variable de agrupación: SONDAJE

Anexo 7: Bases de datos para el primer grupo

	FECHA	Metraje	SONDAJE	BROCA	INCLINACIÓNPR.	INCLINACIÓNMEDIDA	AZIMUTPROG	AZIMUTMEDIDA	RPM	Presión	RQD
1	16-Aug-2021	0	1,0	1	-67,0	-67,30	330	330,14	650,0	900,0	45,0
2	16-Aug-2021	25,0	1,0	1	-67,0	-67,16	330	329,79	650,0	900,0	41,0
3	17-Aug-2021	50,0	1,0	1	-67,0	-67,04	330	329,87	700,0	850,0	59,0
4	17-Aug-2021	75,0	1,0	1	-67,0	-67,01	330	329,63	700,0	850,0	68,0
5	18-Aug-2021	100,0	1,0	1	-67,0	-67,06	330	329,98	750,0	850,0	72,0
6	18-Aug-2021	125,0	1,0	1	-67,0	-67,16	330	330,24	750,0	850,0	79,0
7	22-Aug-2021	150,0	1,0	1	-67,0	-67,25	330	330,64	800,0	800,0	82,0
8	22-Aug-2021	200,0	1,0	1	-67,0	-67,54	330	330,97	800,0	800,0	80,0
9	24-Aug-2021	225,0	1,0	1	-67,0	-67,79	330	330,58	700,0	800,0	86,0
10	24-Aug-2021	250,0	1,0	1	-67,0	-67,92	330	330,33	700,0	800,0	76,0
11	25-Aug-2021	275,0	1,0	1	-67,0	-68,27	330	330,65	750,0	850,0	79,0
12	25-Aug-2021	300,0	1,0	1	-67,0	-68,36	330	330,72	750,0	850,0	83,0
13	26-Aug-2021	325,0	1,0	1	-67,0	-68,42	330	330,24	650,0	900,0	29,0
14	27-Aug-2021	350,0	1,0	1	-67,0	-68,51	330	329,91	650,0	900,0	39,0
15	28-Aug-2021	375,0	1,0	1	-67,0	-68,59	330	329,99	700,0	900,0	56,0
16	29-Aug-2021	400,0	1,0	1	-67,0	-68,66	330	329,87	700,0	850,0	63,0
17	29-Aug-2021	425,0	1,0	1	-67,0	-69,84	330	330,28	750,0	850,0	70,0
18	29-Aug-2021	450,0	1,0	1	-67,0	-69,92	330	330,39	750,0	900,0	67,0
19	30-Aug-2021	475,0	1,0	1	-67,0	-69,51	330	330,96	800,0	850,0	80,0
20	30-Aug-2021	500,0	1,0	1	-67,0	-69,58	330	331,22	800,0	750,0	83,0
21	31-Aug-2021	525,0	1,0	1	-67,0	-69,75	330	330,91	750,0	750,0	76,0
22	31-Aug-2021	550,0	1,0	1	-67,0	-69,92	330	331,34	750,0	750,0	78,0
23	03-Sep-2021	0	2,0	1	-67,0	-66,89	331	331,02	700,0	900,0	36,0
24	04-Sep-2021	25,0	2,0	1	-67,0	-66,80	331	330,73	700,0	900,0	42,0
25	05-Sep-2021	50,0	2,0	1	-67,0	-66,76	331	331,12	750,0	850,0	58,0
26	05-Sep-2021	75,0	2,0	1	-67,0	-67,12	331	331,45	750,0	850,0	62,0
27	07-Sep-2021	100,0	2,0	1	-67,0	-67,32	331	331,13	700,0	850,0	65,0
28	07-Sep-2021	125,0	2,0	1	-67,0	-67,39	331	330,79	700,0	850,0	70,0
29	08-Sep-2021	150,0	2,0	1	-67,0	-67,25	331	331,17	750,0	800,0	75,0
30	08-Sep-2021	175,0	2,0	1	-67,0	-67,51	331	331,44	750,0	800,0	79,0
31	09-Sep-2021	200,0	2,0	1	-67,0	-67,79	331	332,02	800,0	800,0	76,0
32	09-Sep-2021	225,0	2,0	1	-67,0	-68,05	331	332,49	800,0	800,0	75,0
33	10-Sep-2021	250,0	2,0	1	-67,0	-68,29	331	331,96	700,0	800,0	80,0
34	10-Sep-2021	275,0	2,0	1	-67,0	-68,51	331	331,62	700,0	800,0	84,0
35	11-Sep-2021	300,0	2,0	1	-67,0	-68,74	331	331,93	750,0	800,0	76,0
36	11-Sep-2021	325,0	2,0	1	-67,0	-68,80	331	332,30	750,0	800,0	39,0
37	12-Sep-2021	350,0	2,0	1	-67,0	-68,95	331	331,85	650,0	900,0	46,0
38	12-Sep-2021	375,0	2,0	1	-67,0	-68,82	331	331,31	650,0	900,0	56,0
39	13-Sep-2021	400,0	2,0	1	-67,0	-68,76	331	331,32	700,0	850,0	52,0
40	13-Sep-2021	425,0	2,0	1	-67,0	-68,92	330	331,23	700,0	850,0	62,0
41	15-Sep-2021	450,0	2,0	1	-67,0	-69,19	331	331,54	750,0	850,0	71,0
42	16-Sep-2021	475,0	2,0	1	-67,0	-69,42	331	331,86	750,0	850,0	79,0
43	16-Sep-2021	500,0	2,0	1	-67,0	-69,76	331	332,39	800,0	850,0	82,0

Anexo 8: Bases de datos para el segundo grupo

	FECHA	PROFUNDIDAD	SONDAJE	BROCA	INCLINACIÓNPR...	INCLINACIÓNMEDI DA	AZIMUTPROG	AZIMUTMEDIDA	RPM	PRESIÓNPSI	RQD
1	22-Sep-2021	0	1,0	1	-43	-42,80	187	186,88	700,0	800,0	62
2	22-Sep-2021	25	1,0	1	-43	-42,75	187	186,65	700,0	800,0	53
3	23-Sep-2021	50	1,0	1	-43	-42,48	187	186,34	700,0	850,0	46
4	23-Sep-2021	75	1,0	1	-43	-42,21	187	186,10	700,0	850,0	76
5	24-Sep-2021	100	1,0	1	-43	-41,92	187	185,63	600,0	900,0	23
6	25-Sep-2021	125	1,0	1	-43	-42,54	187	185,22	600,0	900,0	78
7	25-Sep-2021	150	1,0	1	-43	-42,20	187	185,11	700,0	850,0	69
8	26-Sep-2021	175	1,0	1	-43	-41,96	187	185,04	700,0	850,0	63
9	26-Sep-2021	200	1,0	1	-43	-41,77	187	185,75	750,0	850,0	51
10	27-Sep-2021	225	1,0	1	-43	-41,53	187	186,36	750,0	850,0	24
11	28-Sep-2021	250	1,0	1	-43	-41,95	187	186,19	700,0	700,0	76
12	28-Sep-2021	275	1,0	1	-43	-42,53	187	186,02	700,0	700,0	82
13	29-Sep-2021	300	1,0	1	-43	-42,68	187	185,84	700,0	750,0	80
14	30-Sep-2021	325	1,0	1	-43	-42,85	187	185,67	700,0	750,0	86
15	01-Oct-2021	350	1,0	1	-43	-43,09	187	187,41	700,0	850,0	79
16	02-Oct-2021	375	1,0	1	-43	-43,16	187	187,09	700,0	850,0	75
17	03-Oct-2021	400	1,0	1	-43	-43,29	187	187,63	900,0	900,0	77
18	03-Oct-2021	425	1,0	1	-43	-43,26	187	188,15	900,0	950,0	49
19	04-Oct-2021	450	1,0	1	-43	-43,35	187	187,62	700,0	950,0	46
20	04-Oct-2021	475	1,0	1	-43	-43,66	187	187,23	700,0	900,0	76
21	05-Oct-2021	500	1,0	1	-43	-44,05	187	187,61	900,0	900,0	78
22	05-Oct-2021	525	1,0	1	-43	-44,49	187	188,09	900,0	900,0	72
23	06-Oct-2021	550	1,0	1	-43	-44,92	187	188,13	800,0	900,0	68
24	06-Oct-2021	575	1,0	1	-43	-45,17	187	187,46	700,0	950,0	46
25	07-Oct-2021	600	1,0	1	-43	-45,49	187	186,85	700,0	950,0	40
26	09-Oct-2021	0	2,0	1	-46	-43,10	188	186,76	700,0	850,0	62
27	09-Oct-2021	25	2,0	1	-46	-42,81	188	186,49	650,0	850,0	54
28	10-Oct-2021	50	2,0	1	-46	-42,43	188	186,01	600,0	900,0	47
29	11-Oct-2021	75	2,0	1	-46	-43,02	188	186,56	800,0	700,0	77
30	11-Oct-2021	100	2,0	1	-46	-42,41	188	186,05	600,0	950,0	25
31	12-Oct-2021	125	2,0	1	-46	-42,97	188	186,13	700,0	700,0	76
32	12-Oct-2021	150	2,0	1	-46	-42,74	188	186,39	750,0	850,0	59
33	13-Oct-2021	175	2,0	1	-46	-42,61	188	186,51	750,0	850,0	72
34	13-Oct-2021	200	2,0	1	-46	-42,53	188	186,72	750,0	850,0	53
35	14-Oct-2021	225	2,0	1	-46	-42,47	188	186,38	650,0	900,0	24
36	15-Oct-2021	250	2,0	1	-46	-42,88	188	186,45	700,0	700,0	78
37	15-Oct-2021	275	2,0	1	-46	-43,46	188	186,29	700,0	700,0	76
38	16-Oct-2021	300	2,0	1	-46	-43,54	188	186,04	700,0	850,0	80
39	16-Oct-2021	325	2,0	1	-46	-43,68	188	185,87	700,0	900,0	86
40	17-Oct-2021	350	2,0	1	-46	-43,96	188	185,79	700,0	900,0	84
41	18-Oct-2021	375	2,0	1	-46	-44,29	188	186,42	900,0	900,0	82
42	19-Oct-2021	400	2,0	2	-46	-44,06	188	186,71	900,0	900,0	75
43	20-Oct-2021	425	2,0	2	-46	-43,83	188	186,25	700,0	950,0	49
44	20-Oct-2021	450	2,0	2	-46	-43,61	188	186,08	700,0	950,0	40
45	22-Oct-2021	475	2,0	2	-46	-43,64	188	186,66	900,0	850,0	76
46	23-Oct-2021	500	2,0	2	-46	-43,73	188	186,48	850,0	850,0	80
47	25-Oct-2021	525	2,0	2	-46	-43,64	188	186,32	800,0	900,0	64
48	27-Oct-2021	550	2,0	2	-46	-43,59	188	186,57	800,0	900,0	52
49	28-Oct-2021	575	2,0	2	-46	-43,48	188	186,34	700,0	950,0	46
50	29-Oct-2021	600	2,0	2	-46	-43,39	188	186,23	700,0	950,0	40

Anexo 9: Antecedentes Referenciales adicionales

Xin Cao, et al. (2019) en su investigación titulada, Proceso de perforación con núcleo de diamante utilizando el modo de lavado intermitente. Artículo de la Sociedad Saudi de Geociencias, menciona que el caudal de flujo influye directamente en la eficiencia de la perforación diamantina.

Se concluye que utilizando el lavado intermitente es un método eficaz para mejorar la velocidad de penetración. En valores absolutos, el aumento de la velocidad de penetración después de la transición al modo de lavado intermitente es directamente proporcional a la potencia en el nivel del fondo del pozo.

Boranbay Ratov, et al. (2023) en su investigación titulada Cálculos sobre la mejora de brocas de diamante policristalino mediante la adición de elementos superduros reforzados con diamante. Artículo de la Academia: Kai Cheng, menciona existe una relación análitica entre el desgaste del diamante y la velocidad de rotación.

Se concluye que la capacidad de retención se volvió lo suficientemente alta como para mantener los granos de diamante en su lugar durante las pruebas de fractura, con grietas que atraviesan el diamante, esto se demostró aplicando sometiendo la corona a diferentes parámetros de perforación diamantina.

Panasiuk, et al. (2023) en su investigación titulada Investigación de parámetros de perforación de pozos para determinar el tamaño óptimo de bloques de piedra de granito. Artículo de la Serie de conferencias del IOP: Ciencias de la Tierra y el Medio Ambiente, menciona que los parámetros geométricos óptimos de las perforaciones en canteras de piedra dimensional, cuyo impacto en la separación de bloques de granito y la eficiencia de división, se determinan teniendo en cuenta el estado de deformación por tensión del macizo rocoso.

Se concluye que el índice de calidad general de la perforación puede tomarse como criterio de desempeño para dividir bloques del macizo. Los pozos tienen diferentes valores de desviaciones de la vertical, lo que causa una disminución del valor específico del plano de división, que depende de los ángulos acimutal α y cenital φ del eje del pozo.