

UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS

Clasificaciones geomecánicas y su influencia en la reducción de la desviación en la perforación rotopercutiva de taladros verticales en el tajo Ferrobamba, mina Bambas, Cotabambas, Apurímac 2023

Presentado por:

Lelis Edilberto Choqueneira Esperilla

Para optar el Título de: Ingeniero de Minas

Abancay, Perú

2024



UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS

**“CLASIFICACIONES GEOMECÁNICAS Y SU INFLUENCIA EN LA REDUCCIÓN
DE LA DESVIACIÓN EN LA PERFORACIÓN ROTOPERCUTIVA DE TALADROS
VERTICALES EN EL TAJO FERROBAMBA, MINA BAMBAS, COTABAMBAS,
APURÍMAC 2023”**

Presentado por **LELIS EDILBERTO CHOQUENEIRA ESPERILLA**, para optar el Título
de: **INGENIERO DE MINAS**

Sustentado y aprobado el 26 de junio del 2024, ante el jurado evaluador:

Presidente:


Dr. Leoncio Teófilo Carnero Carnero

Primer Miembro:


Ing. Darwin Duhamel Loayza Encalada

Segundo Miembro:


Ing. Hilario Carrasco Kolque

Asesor:


Mtro. José Adolfo Cárdenas Catalán

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD N° 097-2024

La Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, a través de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería declara que, la Tesis intitulada **“Clasificaciones geomecánicas y su influencia en la reducción de la desviación en la perforación rotopercutiva de taladros verticales en el tajo Ferrobamba, mina Bambas, Cotabambas, Apurímac 2023”**, presentado por el Bach. **Lelis Edilberto Choqueneira Esperilla**, para optar el Título de **Ingeniero de Minas**; ha sido sometido a un mecanismo de evaluación y verificación de similitud, a través del Software Turnitin, siendo el índice de similitud **ACEPTABLE de (22%)** por lo que, cumple con los criterios de originalidad establecidos por la Universidad.

Abancay, 14 de junio del 2024



UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS
DE APURIMAC
Dr. Lintor Centenas Salas
DIRECTOR(E) DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA

Agradecimiento

Mi profundo agradecimiento a la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, así mismo a la escuela profesional de Ingeniería de Minas, que me acogieron a la cual me debo y soy profesional. A Dios, que me ha guiado y estado conmigo a lo largo de mi vida, y quien me ha dado la resistencia y el discernimiento para cumplir uno de mis objetivos personales.

Mediante esta investigación expreso mi agradecimiento a la empresa AK DRILLING INTERNATIONAL S.A. así mismo al Ing. Carlos Azabache Chiroque, residente del proyecto, que me dio todas las facilidades para desarrollar mis practicas pre profesionales y además para concretizar esta investigación.



Dedicatoria

Esta tesis dedico con mucho cariño a mis padres Julio Choqueneira, Dionicia Esperilla Anccasi y hermanos Edu, Adu y Rosy, que fueron mi razón y motivo para concretizar esta investigación académica con el fin de contribuir académicamente en la Región.



“Clasificaciones geomecánicas y su influencia en la reducción de la desviación en la perforación rotopercutiva de taladros verticales en el tajo ferrobamba, mina Bambas, Cotabambas, Apurímac 2023”

línea de investigación: Geología, geotecnia y medio ambiente

Esta publicación está bajo una Licencia Creative Commons



ÍNDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
RESUMEN	3
ABSTRACT	4
CAPÍTULO I	5
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
1.1 Descripción del problema	5
1.1.1 Problema general	7
1.1.2 Problemas específicos	7
1.1.3 Justificación de la investigación	7
CAPÍTULO II	8
OBJETIVOS E HIPÓTESIS	8
2.1 Objetivos de la investigación	8
2.2.1 Objetivo general	8
2.2.2 Objetivos específicos	8
2.2 Hipótesis de la investigación	9
2.2.3 Hipótesis general	9
2.2.4 Hipótesis específicas	9
2.3 Operacionalización de variables	10
CAPÍTULO III	11
MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	11
3.1 Antecedentes	11
3.1.1 A nivel internacional	11
3.1.2 A nivel nacional	15
3.2 Marco teórico	21
3.2.1 Clasificaciones geomecánicas	21
3.2.2 El RMR de Bieniawski (1989)	21
3.2.3 Clasificación geomecánica de Barton	25
3.2.3.1 Resistencia a compresión simple	30
3.2.4 Perforación rotopercutiva	31
3.2.4.1 Perforación RC	31
3.2.5 Propiedades físicas de la roca	31



3.2.5.1	Peso específico o peso unitario	31
3.2.5.2	Porosidad	31
3.2.5.3	Absorción	32
3.2.5.4	Peso específico Aparente	32
3.3	Marco conceptual	33
3.3.1	Generalidades de la mina	35
3.3.1.1	Historia de la Mina	35
3.3.1.2	Fuerza laboral y campamento minero.	36
3.3.1.3	Geología del yacimiento	38
3.3.1.3.1	Geología local.....	38
3.3.1.3.2	Geología Regional	38
3.3.1.3.3	Geología Estructural	38
3.3.1.3.4	Mineralización.....	39
3.3.1.4	Métodos de explotación.....	41
3.3.1.5	Comercialización.....	41
3.3.1.6	Cierre de mina	43
CAPÍTULO IV		47
METODOLOGÍA		47
4.1	Tipo y nivel de investigación.....	47
4.2	Diseño de la investigación	47
4.3	Descripción ética de la investigación.....	47
4.4	Población y muestra.....	48
4.5	Procedimiento	48
4.6	Técnica e instrumentos	48
4.7	Análisis estadístico.....	49
CAPÍTULO V		50
RESULTADOS Y DISCUSIONES		50
RESULTADOS		50
DISCUSIONES		67
CAPÍTULO VI		71
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		71
6.1	Conclusiones.....	71
6.2	Recomendaciones	73
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		74
ANEXOS		78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 — Operacionalización de variables.....	10
Tabla 2 — Parámetros de clasificación y sus valoraciones para estimar el RMR	22
Tabla 3 — Parámetro de resistencia de la roca sana en (MPa)	23
Tabla 4 — Resistencia a la compresión simple de los diferentes tipos de roca	23
Tabla 5 — Valoración del Índice de excelencia de R.Q.D.....	26
Tabla 6 — Valoración de la rugosidad de las discontinuidades.....	27
Tabla 7 — Valoración de factor de reducción por tensiones	28
Tabla 8 — Resultados de ensayo a compresión uniaxial	51
Tabla 9 — Matriz de consistencia	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 — Vista panorámica del tajo ferrobamba Fase 5 Oeste.....	6
Figura 2 — Grafico para determinar el parámetro de la resistencia a la compresión simple....	24
Figura 3 — Grafico para la determinación del índice RMR, para los parámetros R.Q.D.....	26
Figura 4 — Logista de concentrado	42
Figura 5 — Vista panorámico del tajo Ferrobamba desde mirador Mafer.....	80
Figura 6 — Plataforma y perforación rotopercutiva	81
Figura 7 — Equipo de perforación en jornada de perforación	81
Figura 8 — Maquina de perforacion Schramm TH685 en plataforma de perforacion Tajo Ferrobamba Fase5W.....	82
Figura 9 — Broca de botones para la perforacion rotopercutiva	83
Figura 10 — Control de parametros de perforacion en el tajo ferrobamba Fase5E.....	84
Figura 11 — Equipo de perforacion Schramm TH685WS Fase 3 tajo ferrobamba.....	85
Figura 12 — Flota de equipos de perforacion AK Drilling International U.M Las Bambas ..	85
Figura 13 — Ensayo de compresion uniaxial en el laboratorio de mecanica de rocas de la universidad nacional micaela bastidas de Apurimac	86
Figura 14 — Rotura de la muestra siendo el diametro de la muestra 54 mm	86
Figura 15 — Vista de la ejecucion de ensayos en el laboratorio.....	87
Figura 16 — Vista de la ejecucion de ensayos en el laboratorio uso del martillo smith.....	87
Figura 17 — Vista de los resultados de carga en la ocasiono el corte de la muestra	88
Figura 18 — Vista de ensayos en el laboratorio.....	88
Figura 19 — Vista de pesado de la muestra usando la balanza electronica	89
Figura 20 — Vista de pesado de la muestra usando la balanza electronica	89
Figura 21 — Ensayo a la compresión simple	90
Figura 22 — Plano de ubicación	94
Figura 23 — Plano de accesibilidad.....	95
Figura 24 — Plano de localización de la mina.....	96
Figura 25 — Constancia de Originalidad	97

INTRODUCCIÓN

La mina las Bambas es una de las operaciones mineras de cobre más grandes del Perú, el tajo Ferrobamba es una de sus áreas principales de explotación del yacimiento cuprífero. en este contexto la precisión en la perforación de taladros verticales mediante técnicas rotopercutivas es crucial, para poder garantizar el éxito de las operaciones mineras. Sin embargo, la desviación de los taladros es un problema común que puede afectar negativamente la verticalidad del taladro, incrementando los costos operativos y poner en riesgo la seguridad de las operaciones. Las condiciones geomecánicas del macizo rocoso en el tajo Ferrobamba son diversas y complejas, influyendo directamente en la estabilidad y en el comportamiento durante la perforación. La aplicación de clasificaciones geomecánicas, como el RMR y el Q de Barton, permite una evaluación detallada de estas condiciones, proporcionando información esencial para la planificación y ejecución de los taladros.

la aplicación de clasificaciones geomecánicas en la perforación rotopercutiva de taladros verticales permite reducir la desviación de los taladros y optimizar los parámetros de perforación, lo que se traduce en una mejora en la eficiencia y productividad de las operaciones mineras.

La minería en nuestro país tiene deficiencias, en el aspecto de conocimiento del terreno, sin embargo. Los estudios de las rocas como mediante las clasificaciones de Bieniaswski y Barton y otros, dieron mucho aporte a la geomecánica que, gracias a ello, en el mundo se pueden describir las cualidades del macizo rocoso, para diseñar a través de la ingeniería los trabajos mineros y sus condiciones seguras de ejecución, de las excavaciones subterráneas y/o superficiales. A pesar de los avances significativos en la aplicación de clasificaciones geomecánicas para mejorar la precisión en la perforación rotopercutiva, implementar una campaña sistemática de recolección de datos geomecánicos y de desviación de taladros a lo largo de un período prolongado, utilizando tecnologías avanzadas de monitoreo y análisis y también crear modelos estadísticos y computacionales que correlacionen las clasificaciones geomecánicas con la desviación de los taladros, ajustados a las condiciones locales del tajo al abordar estos temas mejorará la eficiencia y seguridad de las operaciones de perforación en la mina Las Bambas.

Este estudio se centra en analizar la influencia de las clasificaciones geomecánicas para estimar la desviación en la perforación rotopercutiva de taladros verticales en el tajo Ferrobamba, para luego explorar la relación entre las características del macizo rocoso y la desviación de los



taladros, se propone estrategias basadas en estas clasificaciones para mejorar la precisión y la eficiencia de la perforación en la mina Las Bambas, también destaca la importancia de ajustar las prácticas operativas a las condiciones geomecánicas específicas del tajo para optimizar la perforación y minimizar los riesgos asociados y tomar decisiones informadas para que pueda servir como mejora en sus operaciones de perforación, lo que se traducirá en una mayor productividad y eficiencia en sus actividades mineras de las Bambas.

En el presente trabajo de investigación se propuso determinar la influencia en la reducción de la desviación en la perforación rotopercutiva de taladros verticales en el tajo Ferrobamba, de la mina las Bambas. En este periodo, el estudio, se encuentra estructurado de los siguientes capítulos; el Capítulo I, referidos al planteamiento del problema, el Capítulo II, a los objetivos e hipótesis; el capítulo III, que corresponde a los antecedentes, marco teórico y marco conceptual; el Capítulo IV, corresponde al diseño de la metodología; seguida el Capítulo V, muestran los resultados y discusiones y finalmente el capítulo VI, se culmina con las conclusiones y recomendaciones.



RESUMEN

Este presente estudio, enfoca la reducción de la desviación en la perforación rotopercutiva de taladros verticales mediante la determinación de las clasificaciones geomecánicas en el tajo Ferrobamba, mina las Bambas, Cotabambas, Apurímac 2023. se usó el **método** deductivo, tipo aplicada, nivel: descriptivo – explicativo de diseño experimental siendo la población mina Las Bambas y la muestra tajo Ferrobamba. Se obtuvo **resultados** del RMR valores básicos de 51, ajustado 46 y condiciones secas 56. Luego se calculó la resistencia de dos maneras uno con compresión uniaxial y el otro con el ensayo martillo Schmidt de valor 117 MPa. La resistencia a la compresión uniaxial es 125.58 MPa. RMR y Q (60-41) de clasificaciones regular moderadamente dura de calidad media del macizo rocosa. Se utilizaron máquinas Schramm T685WS para perforar 30 taladros, obteniéndose una desviación de perforación de un 30% de taladros con un ángulo 2.58° un total 3860 m de desviación de taladros. se **concluye** que este estudio destaca la relevancia de ajustar las practicas operativas a las condiciones geomecánicas específicas del tajo Ferrobamba para optimizar la perforación y minimizar los riesgos asociados. La integración de las clasificaciones geomecánicas en la planificación y ejecución de la perforación rotopercutiva permite mejorar la eficiencia y la seguridad en las operaciones mineras.

Palabras claves: Clasificaciones geomecánicas, geomecánica, litología, roca, taladros percutivos.



ABSTRACT

In the present study, entitled focuses on the reduction of deviation in rotopercutive drilling of vertical drills by determining the geomechanical classifications in the Ferrobamba pit, Las Bambas mine, Cotabambas, Apurímac 2023. the deductive method, type applied, level was used. : descriptive – explanatory of experimental design, the population being the Bambas mine and the sample being the Ferrobamba pit. Results were obtained from the RMR basic values of 51, adjusted 46 and dry conditions 56. Then the resistance was calculated in two ways, one with uniaxial compression and the other with the Schmidt hammer test with a value of 117 Mpa. The uniaxial compressive strength is 125.58 MPa. RMR and Q (60-41) from regular moderately hard medium quality rock mass classifications. Schramm T685WS machines were used to drill 30 holes, obtaining a drilling deviation of 30% with an angle of 2.58° , a total of 3860 m of hole deviation. It is concluded that this study highlights the relevance of adjusting operational practices to the specific geomechanical conditions of the Ferrobamba pit to optimize drilling and minimize the associated risks. The integration of geomechanical classifications in the planning and execution of rotopercutive drilling allows improving efficiency and safety in mining operations.

Keywords: Geomechanical classifications, geomechanics, lithology, rock, percussive drilling.



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

En la mina las Bambas, la explotación del tajo Ferrobamba, se extrae cobre y minerales polimetálicos, la compañía cuenta con el área de geomecánica y geotecnia, sin embargo las empresas subcontratistas como los profesionales en perforación rotopercutivas para diferentes fines, por política de la empresa, no hace la provisión de información del terreno, por lo que el subcontratistas se enfrenta a dicho trabajo bajo responsabilidad, es de importancia estudiar el terreno, en la cual se realizara los trabajos de perforación. Esta cuenta con área de geotécnica que se encarga de realizar el diagnóstico diseño de los elementos de explotación, sin embargo, las empresas subcontratistas de perforación no es suficiente la información otorgada por la compañía, por lo que cada subcontratista realiza la perforación, con un objetivo bajo tiempo asignado, la perforación obedece a los principales parámetros: Las condiciones del terreno en sus aspectos geotécnicos y/o estudios geomecánicos. Los operarios tradicionalmente lo cuantifican de manera somera a la zonificación, siendo así como zona semiduro, medio, suave y relleno. En función a la desviación y/o zonificación se hace la elección de brocas tricónicas y estas presentan diferentes comportamientos, en su óptimo rendimiento, fallas o desgastes acelerados y entre otras, estas reflejan el flujo de costos previstos como consecuencia, ganancias y/o perdidas para la subcontratista siendo fundamental en el control de la desviación.

Como antecedentes en los años anteriores se han observado el comportamiento, el rendimiento de las brocas tricónicas que no correspondían a un desempeño optimo que posiblemente no se observó, se evaluaban los factores como:

- El tipo de roca
- La velocidad de perforación
- Gastos asociados a la perforación
- La vida útil promedio de las barras de perforación

Con la combinación se estima el rendimiento de perforación rotativa bajo condición directa del macizo rocoso mostrado en la Figura 1.





Figura 1 — Vista panorámica del tajo ferrobamba Fase 5 Oeste

1.1.1 Problema general

¿En qué medida las clasificaciones geomecánicas influye en la reducción de la desviación en la perforación rotopercutiva de taladros verticales en el tajo ferrobamba, mina Bambas, Cotabambas, Apurímac 2023?

1.1.2 Problemas específicos

- ¿Cuál es la velocidad de rotación necesaria para minimizar la desviación en la perforación rotopercutiva de taladros verticales en el tajo ferrobamba, mina Bambas, Cotabambas, Apurímac 2023?
- ¿Cuál es la fuerza de empuje en la reducción de la desviación en la perforación rotopercutiva de taladros verticales en el tajo ferrobamba, mina Bambas, Cotabambas, Apurímac 2023?
- ¿Cuál es la velocidad y caudal de aire en la reducción de la desviación en la perforación rotopercutiva de taladros verticales en el tajo ferrobamba, mina Bambas, Cotabambas, Apurímac 2023?
- ¿Cuál es la presión de torque en la reducción de la desviación en la perforación rotopercutiva de taladros verticales en el tajo ferrobamba, mina Bambas, Cotabambas, Apurímac 2023?

1.1.3 Justificación de la investigación

Este estudio ha contribuido a la aplicación de un método científico beneficioso para la investigación, especialmente para el tajo ferrobamba de la mina las bambas, para caracterizar la excelencia del suelo y/o del terreno para su correcta selección y lograr la máxima ventaja en términos de tiempo, costo y puntos para mejorar las operaciones de la unidad de perforación.



CAPÍTULO II

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivos de la investigación

2.2.1 Objetivo general

Determinar las clasificaciones geomecánicas y su influencia en la reducción de la desviación en la perforación rotopercutiva de taladros verticales en el tajo Ferrobamba, mina Bambas, Cotabambas, Apurímac 2023

2.2.2 Objetivos específicos

- Estimar la velocidad de rotación mediante la reducción de la desviación en la perforación rotopercutiva de taladros verticales en el tajo Ferrobamba, mina Bambas, Cotabambas, Apurímac 2023
- Estimar la fuerza de empuje en la reducción de la desviación en la perforación rotopercutiva de taladros verticales en el tajo ferrobamba, mina Bambas, Cotabambas, Apurímac 2023.
- Estimar la velocidad y caudal de aire en la reducción de la desviación en la perforación rotopercutiva de taladros verticales en el tajo ferrobamba, mina Bambas, Cotabambas, Apurímac 2023.
- Estimar la presión de torque en la reducción de la desviación en la perforación rotopercutiva de taladros verticales en el tajo ferrobamba, mina Bambas, Cotabambas, Apurímac 2023.



2.2 Hipótesis de la investigación

2.2.3 Hipótesis general

Las clasificaciones geomecánicas influyen en la reducción de la desviación en la perforación rotopercutiva de taladros verticales en el tajo ferrobamba, mina Bambas, Cotabambas, Apurímac 2023.

2.2.4 Hipótesis específicas

- La velocidad de rotación es inadecuada en la reducción de la perforación rotopercutiva de taladros verticales en el tajo ferrobamba, mina Bambas, Cotabambas, Apurímac 2023.
- La fuerza de empuje es desfavorable en la reducción de la desviación en la perforación rotopercutiva de taladros verticales en el tajo ferrobamba, mina Bambas, Cotabambas, Apurímac 2023.
- La velocidad y caudal de aire no son adecuados en reducción de la desviación en la perforación rotopercutiva de taladros verticales en el tajo ferrobamba, mina Bambas, Cotabambas, Apurímac 2023.
- La presión de torque es desfavorable en la reducción de la desviación en la perforación rotopercutiva de taladros verticales en el tajo ferrobamba, mina Bambas, Cotabambas, Apurímac 2023.



2.3 Operacionalización de variables

Variable independiente: Clasificaciones geomecánicas

Variable dependiente: Reducción de desviación

Tabla 1 — Operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA
Variable independiente: Clasificaciones geomecánicas	Las clasificaciones geomecánicas, posibilitan la obtención de los principales parámetros mecánicos a través de las correlaciones establecidas.	Esta variable consistió en realizar los trabajos de campo en cuantificar y analizar las propiedades mecánicas y físicas del macizo rocoso	D1: Clasificación geomecánica RMR de Bieniawski D2: Clasificación geomecánica de Q de Barton	I1: Muy buena I2: Buena I3: Regular I4: Mala I5: Muy mala I1: Excepcionalmente buena I2: Extremadamente buena I3: Muy buena I4: Buena I5: Regular I6: Pobre I7: Muy pobre I8: Extremadamente pobre I4: Excepcionalmente pobre	Intervalos 100-81 80-61 60-41 40-21 20-0 1000-400 400-100 100-40 40-10 10-4 4-1 1-0.1 0.1-0.01 0.01-0.001
Variable dependiente: Reducción de desviación	Parámetro que se dedica a estudiar las posibles declinaciones de taladros	Esta variable consistió en realizar la estimación del tiempo de autoapoyo a partir de las características mecánicas y físicas de la labor	D1: Velocidad de rotación D2: Fuerza de empuje D3: Velocidad y caudal de Aire D4: Presión de torque	I1: Revoluciones por minuto I2: Fuerza aplicada I 3: Velocidad del flujo de aire I4: Torque aplicado	RPM PSI RPM PSI

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

3.1 Antecedentes

3.1.1 A nivel internacional

- a) Según (RIVERA PEREZ, 2017) en su investigación: “Reducción de los costos totales e incremento del rendimiento en la perforación rotativa en una Mina Open Pit”, tuvo como objetivo general es reducir los costos e incrementar el rendimiento en la perforación, en consecuencia, se calcula la reducción total y el porcentaje de incremento del rendimiento en la perforación. En cuanto a la metodología el autor utilizo el método cuantitativo, finalmente concluyo que al utilizar una broca que tenga un menor TDC (S30) se tendrá un costo total del mes menor al que si se usaran brocas con TDC mayores y con una velocidad de penetración menor y poco eficiente.

- b) Según (ALVARES RAMOS, 2023) en su tesis: “Control de la desviación de taladros largos en tajeos de producción por sub level caving, en la compañía minera volcán -up. san Cristóbal” el objetivo principal es determinar si los resultados obtenidos al controlar y evaluar la desviación de taladros en los tajeos de producción de la compañía minera Volcán-UP San Cristóbal son óptimos. La metodología utilizada en la investigación es de carácter aplicado. Finalizando la investigación, se determinaron las conclusiones y se midieron 25 taladros perforados en los tajos de taladros largos con equipos Simba. En este caso, la desviación promedio es del 9,67%, lo que está por encima de los límites permitidos (<5%). La desviación más significativa ocurre en esta sección, esto quiere decir que los equipos Simba no cumplen con el ángulo dado por el plano de perforación; el tajo 80-1E tuvo la mayor desviación y el equipo Simba 312 perforó.



- c) De acuerdo al autor (DIAZ CHOQUE, 2023) en su tesis titulado: “Análisis y propuesta para la reducción de la desviación de los taladros de sondaje en el proceso de perforación diamantina en un yacimiento cuprífero al sur del Perú” Tuvo como objetivo proponer y analizar medidas para reducir las declinaciones de los taladros de sondaje en un yacimiento cuprífero al sur de Perú, durante un periodo de evaluación de dos meses. Utilizando un enfoque cuantitativo cuya técnica de investigación es la observación, se identificaron 12 principales causas de desviación, de las cuales eran 3 geológicas y 9 operacionales, se perforaron un total de 5147.30 metros de los 7035.6 metros totales, lo que resultó en una eficiencia de 48.61% mejorando significativamente al 96.92% después de implementar la propuesta sugerida. La solución propuesta consistió en utilizar un sistema de medición y control tecnológico en tiempo real para cada metro perforado, lo que demostró ser efectivo para reducir las declinaciones y mejorar la eficiencia en el proceso de perforación diamantina en dicho yacimiento cuprífero.
- d) Según el autor (MORRILLO C, 2018) en su investigación titulada: “Control de operaciones de perforación de la Cantera San Bernardo, municipio tomas planta cementero Lafarge 2028” su objetivo es cumplir con uno de los requisitos del plan de estudio de ingeniería de minas como lo es la minería de campo a través del desarrollo de una actividad que le permite al estudiante ampliar sus conocimientos y aplicar los ya adquiridos en el entorno de una empresa minera.
- Es una operación de extracción de caliza como materia prima para la fabricación de cemento, dicha extracción se realiza en seis fases o etapas básicas: perforación, voladura, carga, acarreo, trituración y despacho tiene como objetivo primordial evaluar el rendimiento de los equipos de perforación, para identificar las diversas causas que afectan el mismo. Para cumplir satisfactoriamente con los objetivos propuestos primero se realizó una investigación de las características y especificaciones de los equipos. Posteriormente se determinaron los tiempos de perforación y parada de los equipos durante el mes del año 2018, identificando las diversas causas que afectan el rendimiento operativo y mecánico (velocidad de perforación, T/h, y perforación específica m/T) de los equipos. Finalmente, esto permitirá



establecer posibles acciones y recomendaciones que permitan de esta manera adoptar medidas que contribuyan a la reducción de los costos operativos y aumentar el rendimiento de los equipos de perforación.

- e) Según (LLAIQUE ÑUÑONCA Y SANCHEZ GUEVARA , 2015) en su tesis: “Estimación del costo total de perforación para optimizar esta operación unitaria en mina modelo a tajo abierto, Cajamarca -Perú, 2015”, tuvo como objetivo, determinar el impacto económico de las variables que influyen en el coste total de perforación (CTP), lo que permite optimizar las operaciones unitarias de la Mina Modelo a cielo abierto. El investigador utilizó el método cualitativo, diseño no experimental, finalmente concluyó ya que los factores relacionados con los costos totales de perforación.
- f) El autor (RAMOS LEON, 2022) en su proyecto de investigación “Diseño de un pozo de 4 secciones para optimización de torques” nos da a conocer su objetivo de diseñar un pozo de petróleo en cuatro secciones que permita reducir el torque en la perforación direccional. La empresa a cargo de las actividades de perforación en el campo ESPOL01 cuenta con un taladro de workover de 1000hp, teniendo el problema de llegar al límite de torque para realizar de forma adecuada la perforación. Se propone una planificación de un pozo de 4 secciones y se considera la recopilación de información pertinente, además, se realiza el mismo pozo, pero con 3 secciones. Primero, realizamos la recopilación de información para correlacionar los datos con otros pozos de interés. Segundo, diseñamos los pozos de 3 y 4 secciones con el mismo perfil. Después, comparamos el torque de la última sección el cual se requiere optimizar. Por último, identificamos los posibles problemas que se podrían presentar durante las operaciones de perforación. Se obtuvieron las gráficas del torque para cada uno de los pozos en sus respectivas secciones donde se reduce en un 30% el torque. En los resultados económicos tenemos que la inversión del pozo de 3 secciones es de \$4'224.462 y el pozo de 4 secciones de \$4'347.445. Se obtuvo los tiempos de perforación y disminución del diámetro de 8,5'' a 6,125'' de diámetro en más de 1000' de profundidad. Por lo tanto, El pozo de 4 secciones disminuye el torque por lo que es factible realizar la perforación con el taladro de workover propuesto.



- g) Según (THOMAS CABRERA, 2014) en la tesis de pregrado: Estudio comparativo entre las necesidades de soporte y fortificación de túneles permanentes utilizando métodos empíricos de clasificación geomecánica frente a enfoques analíticos y numéricos” como objetivo principal fue Comparar y analizar los requerimientos de soporte en túneles mediante enfoques empíricos, evaluando los resultados con escenarios similares obtenidos a través de modelos analíticos y numéricos (software). aplico una metodología esta fue una investigación cuantitativa de nivel descriptivo experimental obtuvo los resultados de acuerdo al contexto considerando el procedimiento para la situación estudiada en el segundo paso se presenta esta sesión con diagrama que muestra el desplazamiento total del macizo rocoso, así como la zona plastificada. Macizos rocosos de acuerdo a las juntas instaladas en casos específicos, shotcrete y bulones, extrayendo finalmente conclusiones sobre el uso del procedimiento en este estudio, las cuales se relacionan con el rango de aplicaciones donde se puede analizar el modelo utilizado en el estudio de acuerdo a las propiedades físicas (hardware) disponibles en este trabajo. El alcance y propósito de este trabajo es buscar o estudiar el comportamiento de la masa ante la presencia de discontinuidades, que la definen como un material roto que se presenta cuando la distancia entre las dimensiones del bloque analizado es demasiado pequeña para su validez familiar. Esta situación está influenciada por el análisis de secciones de túnel más pequeñas, lo que da como resultado el análisis de espectros de CF más pequeños ($CF=Dt/Db$), evitando así un sobre refinamiento del modelo e incluso preservando las propiedades geométricas de la pieza).
- h) Según (ALVARADO VALDES, 2020) en la tesis de postgrado “Modelamiento geoestadístico de la clasificación geomecánica de bieniawski (RMR)” fijo como objetivo es Construir un modelo predictivo de la clasificación geomecánica de Bieniawski (clasificación del macizo rocoso, RMR) en el yacimiento y cuantificar la incertidumbre de este parámetro mediante simulaciones geoestadísticas. aplico una metodología un procedimiento sintetizado a seguir para llevar a cabo el ejercicio propuesto para un caso de estudio de acuerdo con los objetivos planteados siendo la investigación de enfoque cuantitativo obtuvo los resultados.



las realizaciones permiten clasificar el dominio simulado en excelencia de roca regular o buena, con un escenario RMR promedio que varía de 50 a 63 en primera técnica y de 53 a 64 en segunda aproximación, esto permite determinar el comportamiento esperado del yacimiento. En todos los planteamientos, es poco probable encontrar una roca de baja excelencia visualizada, lo que indicaba una zonificación de menor riesgo para operaciones posteriores, lo que finalmente se determinó como un modelo predictivo para la generación de Bienawski (Rock Mass Rating, RMR 1989) en un área rocosa y utilizando simulación geoestadística para medir la incertidumbre de esta clasificación. Se utilizaron dos métodos para crear los mapas para este propósito hubo algunas disparidades entre las metodologías al comparar los mapas de la realización. El método de la simulación directa. (Método 1) proporcionan distribuciones que están ligeramente menos dispersas y tienen más continuidad a corto plazo en comparación con las simulaciones derivadas. Sin embargo, teniendo en cuenta el grado (de 0 a 100) y la disgregación de las variables RMR a modelar, el error es muy parecido (Tabla 16), lo que no permite determinar los aspectos de RMR de una u otro método de predicción en ubicaciones no probadas.

3.1.2 A nivel nacional

- a) Según el autor, (AMARO MONTAYA, 2022), En su tesis titulado: “Clasificación geomecánica para mejorar diseños de mallas de perforación y voladura en labores de desarrollo minera auríferas retamas s.a. 2022”. Considero como objetivo establecer la influencia de la clasificación geomecánica en la mejora de los diseños de malla de perforación y voladura cuando se aplican en las labores de desarrollo de la unidad minera. La investigación se llevó a cabo utilizando un método científico aplicado de nivel descriptivo. La población estuvo constituida por las labores de desarrollo en la zona Valeria V, y la muestra seleccionada de manera no aleatoria incluyó las galerías GAL 9172-S (nivel 2220) y GAL 10282-AS (nivel 2245). En la clasificación geomecánica, se determinó que ambas labores se encuentran en masas rocosas de excelencia mala (IV-A), con valores RMR de 36 y 38, respectivamente. Por lo tanto, el diseño de la malla de perforación y voladura consideró 32 taladros con carga explosiva y un corte de 8 taladros. Los



avances con el nuevo diseño en las GAL 9172-S y GAL 10282-AS se incrementaron en un 11% y un -15.8%, respectivamente, en comparación con la línea base.

- b) De acuerdo al autor (CUPI LLANOS,julio & PARI JARA,ricardo , 2021) en su tesis “Optimización de la utilidad mediante la reducción de la desviación en la perforación rotopercutiva de taladros horizontales de la empresa Geodrill S.A.C.” su objetivo fue l basado en la optimización de la utilidad que actualmente tiene la empresa Geodrill SAC. La metodología aplicada en la investigación es de enfoque cuantitativo y de método de investigación exploratorio, con diseño de investigación experimental; debido a que, se tiene una hipótesis cuya población de estudio son los taladros perforados del año 2019, estos se estudiaron para así reducir la desviación excesiva y mejorar la utilidad de la empresa Geodrill SAC; asimismo, fue necesario implementar lo siguiente, instrumentos de mayor precisión para la nivelación de la máquina, un trípode que soporte el peso de la tubería beco para el inicio de la perforación y capacitación al personal sobre identificación de parámetros de perforación DTH, lo cual trajo una mejora a la utilidad percibida aumentando de un 25% a 43% en los taladros post prueba de los meses de Noviembre a Diciembre; por último a través de ésta investigación se busca motivar el interés de los estudiantes y profesionales en el área de la perforación rotopercutiva.
- c) Según (NIETO CALLE, 2019) en su tesis: “caracterización geomecánica del macizo rocoso para el adecuado sostenimiento de la mina Pomperia – puno” El objetivo de la investigación fue evaluar el estado del macizo rocoso y su impacto en el soporte a lo largo de la sección, utilizando la clasificación geomecánica para comparar metodologías de diseño de sostenimiento de túneles. Se siguió un enfoque metodológico descriptivo cuantitativo. A través de la caracterización geomecánica, se logró cumplir el objetivo de entender el estado del sostenimiento, identificando que la roca en la cortada es de tipo III. Se llevaron a cabo 17 estaciones que serán objeto de un estudio más detallado para futuros proyectos, resultando en zonas de estabilidad en las progresivas 3, 6, 12 y 16, con un valor de RMR de Bieniawski que oscila entre 50 (regular) y 63 (buena), clasificándose como tipo de roca III. Los tipos



de sostenimiento recomendados incluyen empernado sistemático con espaciamiento de 2.8m, empernado puntual y empernado sistemático con espaciamiento de 1.5m. Este estudio contribuirá a la prevención de accidentes.

- d) (ALTAMIRANO CUEVA, 2019) en su tesis “Optimización del costo de perforación para aceros DTH en la mina modelo a tajo abierto, Huamachuco, 2018” su objetivo tiene finalidad de optimizar el costo de perforación para aceros DTH en mina modelo a tajo abierto., para el presente estudio, se utilizó la información de las bitácoras in situ de las perforadoras D245s Sandvik, donde a la velocidad de penetración de las 5 marcas de aceros DTH, se realizó un análisis de varianza ANOVA, las pruebas de los aceros DTH se perforo en dos tipos de roca arenisca e intrusiva con durezas de; R2, R3, R4 y R5 que se encuentran en las fases denominadas fase 4 y fase 5, donde se determinó la influencia económica y del costo de perforación donde se obtuvo como resultados un ahorro de 3,400 US\$ y un costo horario de aceros 87.38 US\$/h, y se tendría un ahorro de 2.29 US\$/h para los aceros Mincon que en comparación con el presupuesto y se tendría un ahorro de 21,096.40 US\$ en comparación con las 4 marcas de aceros Drillco, Sandvik, Numa, Atlas Copco, los cuales tiene un costo mayor ejecutado con respecto al presupuestado. En este estudio se logró determinar la influencia económica de los principales factores que intervienen en el costo total de perforación y así mismo optimizar el costo total para esta operación unitaria, logrando un costo total de 5.52 US\$/m, con los aceros Mincon, donde estos aceros permitieron una velocidad de penetración promedio de 50.6 m/h, y una vida útil promedio de la broca de 912 m. y de martillo que es de 4,404.0 m., en la mina modelo de Huamachuco.
- e) Según (TACURI GAMBOA, 2017) en la tesis de pregrado “Análisis geomecánico del macizo rocoso para la implementación del sistema de sostenimiento en la mina Hércules, operada por la compañía minera Lincuna S.A.” fijo como objetivo evaluar el estado geomecánico del macizo rocoso de la mina hércules aplico una metodología Aplicando una metodología: siendo de método científico, La investigación es aplicada, con nivel de investigación explicativo obtuvo los resultados se determinó cuatro tipos de roca con estos



datos se seleccionara el sistema de sostenimiento más conveniente finalmente fijo conclusiones, La clasificación geomecánica tiene dos aplicaciones, la primera es la selección del tipo de soporte a utilizar para un proyecto subterráneo en particular, y la segunda es el diseño adecuado de los parámetros de perforación y voladura, la excelencia de la roca en la capa 4300 de la mina. fue muy buena ($RMR > 51$ a 70), mala ($RMR = 21-40$) y finalmente fue Definido como una aplicación de sistema geomecánico, el RMR del macizo rocoso 4300 varía de 21 a 75 y el Q varía de 3 a 9. El segundo son los parámetros para el diseño adecuado de la red de perforación y voladura. La clasificación geomecánica implementada en el nivel 4300 de la mina Hércules permitió conocer los 3 tipos de rocas, lo que a su vez determinó los soportes utilizados para garantizar su estabilidad y la formulación de costos unitarios de excavación, teniendo en cuenta el proceso constructivo y RMR. En los hallazgos, las piedras se dividen en orden en los tipos I, II, III y IV.

- f) Según (SALAZAR ISLA , 2020) la tesis de pregrado “Análisis geomecánico con el fin de identificar el tipo de soporte adecuado para los tajeos de explotación utilizando el método de corte y relleno ascendente en la unidad minera Yauri Cocha, operada por la Sociedad Minera Corona S.A.” fijo como objetivo diagnosticar la evaluación geomecánica afecta la determinación del tipo de soporte de un tajo minero mediante el método de llenado escalonado, Pozo 0337, RP Inclinado Nivel .Pet - Unidad Minera Yauricocha, 2018, En Métodos cuantitativos aplicados de nivel descriptivo-explicativo de tipo cuasi experimental obtuvo los resultados realizo la descripción petrográfica del macizo estableciendo roca predominante andesita compuesta por plagioclasas, cuarzo y hornblenda, determino las propiedades físicas siendo estas: contenido de humedad de 0.50777%, porosidad de 1.46408% , absorción de 0.52542%, densidad masiva de 2563,3 kg/m³, densidad seca de 2588,244 kg/m³ y gravedad especifica $G_s = 2,80065$ y en los cálculos de las propiedades mecánicas resulto un $RQD = 97.343\%$, la resistencia a la compresión mediante el martillo de Schmidt obtuvo un 150 MPa y un RMR de 74 finalmente fija como conclusión. L la evaluación geomecánica del tajo 0337 según la clasificación de Bieniawski obtuvo el tipo de soporte recomendado para la roca muestra con 74 puntos, la cual es una buena roca



de segunda categoría. Este resultado nos permitió utilizar localmente pernos partidos de 3 m con espaciamiento de corona de 2,5 m, malla soldada y en ocasiones, hormigonado.

- g) Según (CALAMA NINA, 2021) en la tesis de pregrado “Evaluación geomecánica para la selección del tipo de sostenimiento en la construcción en la rampa-440, en la minera aurífera cuatro de Enero S.A. (Macdesa)-Arequipa” fijo como objetivo, fue determinar el impacto de la estimación geomecánica en la opción del tipo de soporte para cada tipo de roca, utilizando la determinación geomecánica en la construcción de la rampa 440, utilizando un enfoque descriptivo no experimental.

Logrando resultados avalados por la clasificación geomecánica de Bienawski en 1989 y Bartón. Clasificación geomecánica de Q, mejor elección del tipo de soporte para cada tipo de roca, reducción de número y costo de soportes y finalmente las siguientes conclusiones principales: Evaluación geomecánica del macizo rocoso para la construcción de talud de la empresa minera de oro Cuatro 440.de Enero S.A. Para la selección de soportes, con base en la clasificación geomecánica de Bieniawski de 1989 y la Q de Barton, podemos decir que seleccionar el tipo de soporte apropiado para cada tipo de roca es una función constante y efectiva de la evaluación geomecánica.

- i) De acuerdo al autor (CUIYUBAMBA HILARIO, 2019) en su tesis que titula:” zonificación geomecánica para optimizar el diseño de malla de perforación y voladura - unidad minera Parcoy – consorcio minero horizonte”.

El objetivo fue evaluar cómo la zonificación geomecánica influye en la mejora del diseño de la malla de perforación y voladura en la Unidad Minera Parcoy de Consorcio Minero Horizonte S.A., en respuesta a la problemática de investigación planteada. Se postuló como hipótesis que la zonificación geomecánica optimiza de manera significativa el diseño de la malla de perforación y voladura en dicha unidad minera. Para alcanzar los objetivos, se seleccionaron las labores horizontales subterráneas de la Unidad Minera Parcoy como población, y se llevó a cabo un muestreo no probabilístico que incluyó las labores subterráneas de desarrollo de las zonas Norte - Milagros, Norte - Rosa y Sur - Encanto. Se realizó la zonificación geomecánica de la



Mina Parcoy, abarcando el estudio del macizo rocoso en las tres zonas mencionadas, y se determinó que el macizo rocoso tenía una clasificación geomecánica, según el criterio de Bieniawski, de 31-40 como RMR, clasificado como clase IV, mala A. Además, se observó que el espaciamiento entre las discontinuidades variaba entre 0.02 m y 2 m; la densidad promedio del macizo rocoso era de 2.65 TM/m³, mientras que en zonas mineralizadas era de 2.80 TM/m³ y los bloques presentaban formas de cubos, paralelepípedos y tetraedros. Se utilizó el modelo matemático de Lily para determinar el factor de carga, que resultó ser 0.660 kg/TM, representando el 97% del valor práctico. Esto permitió un ahorro de 2.250 kg de dinamita semexsa 65% de 1 ½ pulgadas x 12 pulgadas por cada disparo en los frentes, lo que demostró de manera contundente la hipótesis planteada. Palabras clave: zonificación geomecánica, perforación, voladura.



3.2 Marco teórico

3.2.1 Clasificaciones geomecánicas

Las clasificaciones geomecánicas según (RODRIGUEZ, 2007 pág. 12), Un macizo rocoso es un entorno intermitente, complicado y con un comportamiento geomecánico que se presta para análisis y categorización según su idoneidad para diferentes aplicaciones. La clasificación geomecánica proporciona indicadores de excelencia relacionados con los parámetros geomecánicos del suelo, soporte del túnel y excavación. La descripción y mediciones de los parámetros generales de las características y propiedades de las rocas, las discontinuidades y el macizo rocoso proporcionan los parámetros necesarios para la clasificación.

3.2.2 El RMR de Bieniawski (1989)

Esta clasificación geomecánica es una herramienta para caracterizar las propiedades mecánicas y descripción de las rocas mediante la medición de múltiples variables con el objetivo de facilitar su estudio.

La RMR se obtiene evaluando seis parámetros. El valor que determina la clasificación es el denominado índice RMR (excelencia del macizo rocoso), que refleja la excelencia del macizo rocoso en cada zona estructural según los siguientes parámetros:

- Resistencia a la compresión simple de la matriz rocosa, ensayo PLT, ensayo de compresión simple (R_c).
- Grado de fracturamiento del macizo rocoso: separación entre diaclasas (m)
- Espaciado
- Condición
- Condición hidrogeológica
- Orientación

La estimación de RMR resulta de la sumatoria de los valores de los parámetros se hace uso de la siguiente tabla



Tabla 2 — Parámetros de clasificación y sus valoraciones para estimar el RMR

A. Parámetros de clasificación y sus valoraciones									
Parámetro			Rango de valores						
1	Resistencia de roca intacta	Índice de carga puntual	>10MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	Para este rango bajo, es preferible el ensayo de compresión uniaxial		
		Resistencia compresiva uniaxial	>250MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	<1 MPa
	Valoración		15	12	7	4	2	1	0
2	Excelencia de testigo de perforación RQD		90-100%	75-90%	50-75%	25-50%	<25%		
	Valoración		20	17	13	8	3		
3	Espaciamiento de discontinuidades		>2m	0,6-2m	0,2-0,6m	60-200 mm	<60mm		
	Valoración		20	15	10	8	5		
4	Condiciones de las discontinuidades		Superficies muy rugosas no continuas Cerradas sin apertura Paredes rocosas sanas	Superficies ligeramente e rugosas Apertura<1 mm Paredes ligeramente e intemper.	Superficies ligeramente e rugosas Apertura<1 mm Paredes altamente intemper	Espejo de falla o panizo <5mm de espesor Apertura de 1-5mm juntas continuas	Pánico suave >5mm de espesor o apertura >5mm Juntas continuas		
	Valoración		30	25	20	10	0		
5	Agua subterránea	Flujo de 10m de longitud de túnel (l/m) presión de agua / principal máximo condición general	Ninguno o 0 Completamente seco	< 10 <0,1 Húmedo	10-25 <0,1 Mojado	25-125 0,1-0,2 Goteo	>125 >0,5 Flujo		
		Valoración	15	10	7	4	0		

Extraído de clasificaciones geomecánicas Según Bieniawski (1989)

Tabla 3 — Parámetro de resistencia de la roca sana en (MPa)

Descripción	Resistencia para la compresión simple	Ensayo de carga puntual (MPa)	Valoración
Extremadamente dura	>250	> 10	15
Muy dura	100 - 250	4 - 10	12
Dura	50 - 100	2 - 4	7
Moderadamente dura	25 - 50	1 - 2	4
Blanda	5 - 25	<1	2
Muy blanda	1 - 5		1
	< 1		0

Extraído de clasificaciones geomecánicas de los macizos rocosos según Bieniawski (1989)

Tabla 4 — Resistencia a la compresión simple de los diferentes tipos de roca

Tipo de roca	Resistencia a la compresión simple (MPa)		
	Mínimo	Máximo	Medio
Creta	1	2	1.5
Sal	15	29	22
Carbón	13	41	31
Limolita	25	38	32
Esquisto	31	70	43
Pizarra	33	150	70
Arcillita	36	172	95
Arenisca	40	179	95
Marga	52	152	99
Mármol	60	140	112
Caliza	69	180	121
Dolomía	83	165	127
Andesita	127	138	128
Granito	153	233	188
Gneis	159	256	195
Basalto	168	359	252
Cuarcita	200	304	252
Dolerita	227	319	280
Silice	587	683	635

Extraído de clasificaciones geomecánicas de los macizos rocoso Bieniawski (1989)

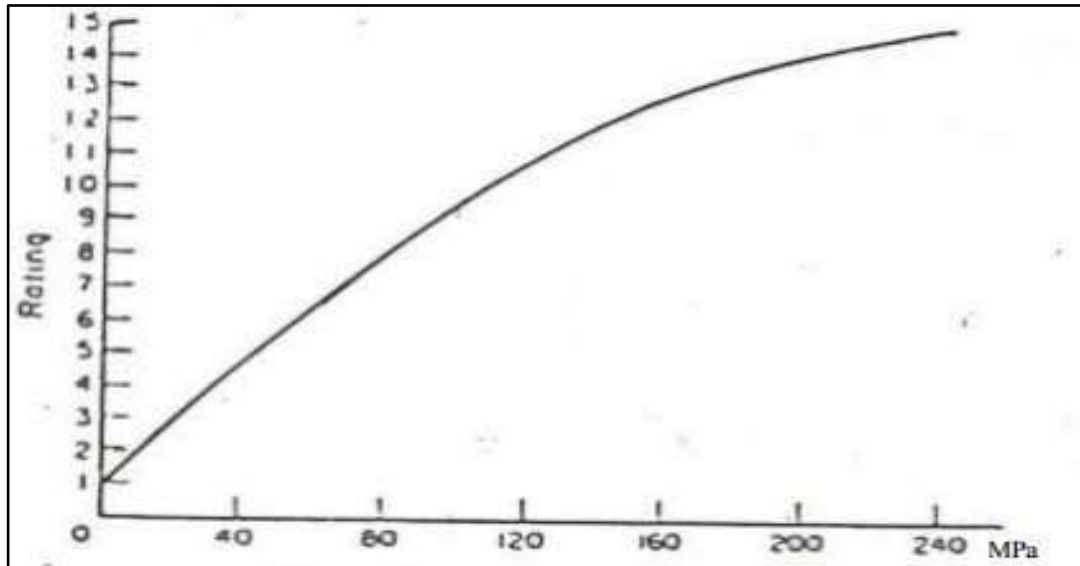


Figura 2 — Grafico para determinar el parámetro de la resistencia a la compresión simple

Extraído de clasificaciones geomecánicas de los macizos rocosos según Bieniawski-1989.

a) RQD

Fue desarrollado por Deere, el RQD:

$$RQD = \frac{\sum \text{ripios} > 10 \text{ cm}}{\text{Total de la perforación}}$$

En el segundo caso, utilice la siguiente formula:

$$RDQ = 115 - 3.3 (J_v)$$

En el tercer caso, utilice la siguiente formula.

$$RQD = 100 e^{(0,1\lambda)} (0.1\lambda + 1)$$

3.2.3 Clasificación geomecánica de Barton

Basándose en una gran cantidad de casos tipo de estabilidad en excavaciones subterráneas, el Norgerian Geotechnical Institute (N.G.I.), propuso un índice para determinar la excelencia del macizo rocoso en túneles y taludes.

Esta clasificación utiliza seis parámetros para definir la clase de macizo:

- R.Q. D
- Índice de fracturamiento (J_n)
- Índice de la rugosidad, relleno y continuidad de las discontinuidades (J_r)
- Índice de las alteraciones de las discontinuidades (J_a)
- Coeficiente reductor por la presencia de agua (J_w)
- El factor que considera el impacto del estado de tensiones en el macizo rocoso (SRF).

SRF: índice del estado de tensión del macizo.

SRF toma el valor de: (1) la carga que se disipa en el caso de una excavación dentro de una zona de fallas y de roca empacada en arcillas; (2) los esfuerzos en una roca competente; (3) las cargas compresivas en rocas plásticas incompetentes.

El valor numérico de este índice Q se define por:

El cociente (RQD / J_n), representa la estructura del macizo, y es una medida rudimentaria del tamaño de los bloques o de las partículas con dos valores extremos (100/0,5 y 10/20) con un factor de variaciones de 400.

El segundo cociente (J_r/J_a), representa la rugosidad y las características de la fricción de las paredes de las fisuras o de los materiales de relleno.

El tercer cociente (J_w / SRF), representa la influencia del estado tensorial

SRF: Índice de Estado de Estrés del Estado. SRF utiliza los siguientes valores: (1) Carga distribuida durante la excavación en zonas de fallas y rocas rellenas de arcilla. El valor numérico de este índice Q se define como: El primer coeficiente (RQD / J_n) refleja la estructura de la parcela y es una medida básica del tamaño de bloque o grano con dos valores extremos (100/0,5 y 10/20) con un factor de diferencia de 400. El segundo coeficiente (J_r/J_a) refleja las propiedades de rugosidad y fricción de la pared de la grieta o del relleno. El tercer factor (J_w/SRF) representa la influencia del modo tensor.



Tabla 5 — Valoración del Índice de excelencia de R.Q.D.

Índice de excelencia R.Q.D. (%)	excelencia	Valoración
0-25	Muy mala	3
25-50	Mala	8
50-75	Regular	13
75-90	Buena	17
90-100	Excelente	20

Extraído de Mecanica de rocas (Javier Navarro)

Así mismo se puede encontrar la valoración para el RQD, a partir de siguiente grafico

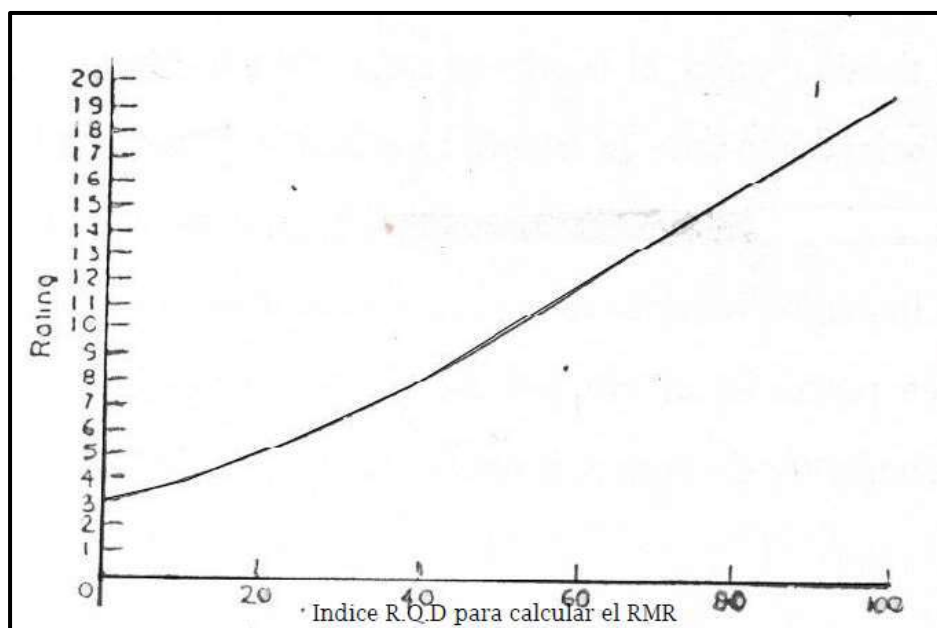


Figura 3 — Grafico para la determinación del índice RMR, para los parámetros R.Q.D.

Tabla 6 — Valoración de la rugosidad de las discontinuidades

Factor de rugosidad de las discontinuidades		
	Descripción	Jr
A	Diaclasa discontinua	4
B	Rugosas e irregulares, onduladas	3
C	Lisas, Onduladas	2
D	Lustrosas Ondulantes	1.5
E	Rugosas o irregulares, planares	1.5
F	Lisas, Planares	1
G	Lustrosas, Planares	0.5
H	Zona conteniendo arcillas en cantidad suficiente como para impedir el contacto entre las superficies que limitan la fractura	1
J	Zona de material arenoso en cantidad suficiente como para impedir el contacto entre las superficies que limitan la fractura	1
NOTAS: En el conjunto de letras de A a G, el contacto con las superficies de desplazamiento es de menos de 10 cm. la descripción se refiere a las características de las pequeñas funciones de la escala y menos funciones. En el grupo H y J no hay contacto entre las superficies, cuando se produce la reubicación.		

Extraído de centro de capacitación de geomecánica y geotecnia (Guillermo Rodríguez)

Tabla 7 — Valoración de factor de reducción por tensiones

FACTOR DE REDUCCION POR TENSIONES				SRF
DESCRIPCION				
A) Las zonas débiles interceptan a la excavación, pudiendo producirse desprendimientos de rocas a medida que la excavación del túnel va avanzando.				
A	Muchas zonas débiles de arcilla con evidencias de desintegración química roca circundante muy suelta cualquier profundidad			10
B	Zona débil aislada con arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad menor 50m)			5
C	Zona débil aislada con arcilla o roca desintegrada, profundidad mayor 50m.			2.5
D	Muchas zonas de falla en roca competente, roca circundante suelta. (cualquier profundidad)			7.5
E	Zona de falla aislada en roca competente profundidad menor a 50 m.			5
F	Zona de falla aislada en roca competente profundidad mayor a 50 m.			2.5
G	Diaclasas abiertas y sueltas roca intensamente fracturada, en terrones, cualquier Prof.			5
Nota: i) Reducir estos valores de SRF por 25-50% si las zonas de fallas influyen, pero no interceptan la excavación.				
B) Rocas competentes, problemas tensionales en las rocas		sc/s1	sq/sc	SRF
H	Tensiones bajas, poca profundidad, diaclasas abiertas	> 200	< 0.01	2.5
J	Tensiones moderadas, condiciones tensionales favorables	200 - 10	0.01 - 0.3	1
K	Tensiones elevadas, estructura muy compacta. Normalmente favorable para la estabilidad, puede ser desfavorable para la estabilidad de los hastiales	10 - 5	0.3 - 0.4	0.5 - 2
L	Lajamiento moderado de la roca después de 1 hora en rocas masivas	5 - 3	0.5 - 0.65	5 - 50
M	Lajamiento y estallido de la roca después de pocos minutos en rocas masivas	3 - 2	0.65 - 1	50 - 200
N	Estallidos violentos de roca (deformación explosiva) y deformaciones dinámicas inmediatas en rocas masivas	< 2	> 1	200 - 400
Nota: ii) Para campos insitu fuertemente anisotrópico (si se ha medido): cuando $5 \leq s_1/s_3 \leq 10$, reducir sc en $0.75sc$, cuando $s_1/s_3 > 10$, reducir sc a $0.5sc$, donde sc=esfuerzo compresivo sin confirmar, s1 y s3 son los esfuerzos principales mayores y menores y sq=esfuerzo tangencial máximo (estimado de la teoría de la elasticidad)				

iii) Existen algunos registros disponibles que señalan que la altura del techo de la excavación a superficie es mejor que el ancho de la labor. Para este caso se sugiere incrementar de 2.5 a 5 para estos casos (ver H).		
C) Rocas deformables: flujo plástico de roca incompetente a altas presiones litostáticas		sq/sc
O	Presión de deformación suave	1 - 5
P	Presión de deformación intensa	> 5
Nota: iv) Casos de deformaciones de roca pueden ocurrir para profundidades $H > 350 \cdot Q^{(1/3)}$. La resistencia a la compresión de la masa rocosa puede ser estimada como $q = 7 \cdot g \cdot Q^{(1/3)}$, donde g = densidad de la roca (gm/cc)		
D) Rocas expansivas: Actividad expansiva química dependiendo de la presencia de agua		
R	Presión de expansión suave	5 - 10
S	presión de expansión intensa	10 - 15

Extraído de - centro de capacitación de geomecánica y geotecnia (Guillermo Rodríguez)

3.2.3.1 Resistencia a compresión simple

Según (IÑIGUEZ TORAL, 2020) la tensión aplicada a una roca medida técnicamente, es su resistencia a la compresión simple. Esta evaluación o parámetros está relacionado con la necesidad de utilizar una clasificación del macizo rocoso. Estas se conocen como clasificaciones geomecánicas y se derivan de las diferencias entre las propiedades de las rocas y las propiedades de un macizo con distintos grados de fractura y meteorización.

La clasificación geomecánica es un sistema de evaluación del comportamiento del terreno rocoso. Se utilizan para evaluar cómo se comportan el terreno rocoso de un lugar determinado y luego se da la evaluación final, siendo el total de las calificaciones parciales de la calificación final. Actualmente la clasificación geomecánica son ampliamente usados tanto en la fase de diseño como en la de implementación de todo tipo de ingeniería de macizo rocoso. Por tanto, es fundamental comprender las limitaciones y desafíos que presenta cada clasificación (FEIJOO Y COLAB., 2019). Estas muestras generalmente se obtienen de núcleos perforación, también hay muestras disponibles en bloques. Estos bloques deben obtenerse de una mina o de un sitio de construcción. Estos se pueden hacer sin voladuras, ya que se crearán nuevas microfisuras: es importante encontrar la resistencia a la compresión simple de la roca, un factor básico considerado por las distintas categorías es la dureza a la compresión uniaxial o simple de la roca más utilizados (Mohr- Coulomb y Hoek-Brown) (DELGADO, 2013).



3.2.4 Perforación rotopercutiva

3.2.4.1 Perforación RC

Este proceso perforación rotopercutiva es un proceso que utiliza una combinación de rotación y golpes percutivos para crear agujeros en materiales duros. En este método, una broca rotativa se utiliza para girar y triturar la roca, mientras que un martillo percutor proporciona golpes repetitivos para fracturar y romper el material. Este doble mecanismo permite una perforación más rápida y efectiva en comparación con métodos que utilizan solo rotación o solo percusión. En este proceso se realizará a cabo de dos perforadoras rotativas; Schramm T685WS. Las perforadoras rotativas realizan taladros en bancos de 200 m de altura, con un diámetro de perforación de 5 ½ pulgadas con brocas de diámetro de 5 5/8 pulgadas y con barra de 4 ½ de pulgada por 6 m de longitud.

3.2.5 Propiedades físicas de la roca

3.2.5.1 Peso específico o peso unitario

El peso específico o peso unitario de la roca depende de sus componentes, y se define como el peso por unidad de volumen. Sus unidades son las de fuerza (kilopondio, newton, tonelada-fuerza, etc.) por volumen. En general se considera el mismo valor para el peso específico, γ , y para la densidad. $PE = \text{Peso} / \text{Volumen testigo}$.

3.2.5.2 Porosidad

La porosidad eficaz es la relación entre el volumen de poros interconectados y el volumen de la muestra. Puede obtenerse a partir de los pesos seco y saturado de la muestra:

$$n_e = (W_{\text{sat}} - W_{\text{seco}}) / (\gamma_w V)$$

En las rocas es frecuente que los poros no estén interconectados, por lo que la porosidad real será mayor que la eficaz. El índice de los poros se define como la relación entre el volumen ocupado por los huecos, V_v y el volumen ocupado por las partículas sólidas V_{sol} : $e = V_v / V_{\text{sol}}$.

$$P.a. = \frac{\text{Peso Saturado} - \text{Peso Seco}}{\gamma_w \times \text{Volumen}} \times 100 (\%)$$

$$\gamma_w \times \text{Volumen}$$



3.2.5.3 Absorción

La porosidad La absorción de agua de la roca por capilaridad se cuantifica con el coeficiente de absorción capilar, La medida de este coeficiente es sencilla, como se ilustra en la figura 2. Para ello se mide en una balanza la masa de agua absorbida, $M(t)$, en función del tiempo. Con estos datos, el coeficiente de absorción capilar se obtiene a partir de la ecuación $(t)/S$.

$$\text{Abs} = \frac{\text{Peso Saturado} - \text{peso seco}}{\text{Peso Seco Siendo}} \times (\%)$$

$$\gamma_w = \text{Densidad del agua (gr/cm}^3\text{)}$$

3.2.5.4 Peso específico Aparente

Es el peso total con respecto al volumen total por encima del nivel freático, se emplea el término aparente ya que considera el volumen que incluye a sus poros, huecos e intersticios.

Las rocas que contienen minerales con valores elevados de peso específico, generalmente son las rocas ígneas y metamórficas

El peso específico aparente se expresa: $\gamma_a = W_t/V_t$.

$$\text{P.E.A.} = \frac{\text{Peso Seco}}{\text{Volumen}} \times 9,81 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$



3.3 Marco conceptual

- a) **Mecánica de rocas.** Según (GONZALES DE VALLEJO, 2002 pág. 118) Es el estudio teórico y aplicado de las características y el comportamiento mecánico de los materiales rocosos, así como reaccionan ante las fuerzas que actúan sobre ellos en su entorno físico, se conoce como mecánica de rocas. A través de ensayos, modelación y análisis, proporciona las bases para diseñar y construir estructuras seguras y eficientes en entornos rocosos, siendo esencial para la estabilidad y seguridad de numerosos proyectos de ingeniería.
- b) **Perforación.** La perforación es uno de los elementos o ciclos de la minería que implica hacer un agujero en la roca utilizando equipo de perforación. además, es una actividad esencial en la minería que permite la exploración, extracción y desarrollo de recursos minerales, utilizando una variedad de técnicas y equipos adaptados a las condiciones geológicas y los objetivos específicos de cada proyecto.
- c) **Discontinuidades.** Según (GONZALES DE VALLEJO, 2002 pág. 118) son interrupciones en la continuidad de la masa rocosa que afectan sus propiedades mecánicas y comportamiento bajo carga. las discontinuidades también se refieren a cualquier plano de debilidad que importe condiciones anisotrópicas a la matriz rocosa es decir alteran la integridad de la matriz de la roca intacta. La presencia de discontinuidades en la matriz de la roca determinara sus propiedades, así como su deformación, resistencia y comportamiento hidráulico. El término "discontinuidad" fue acuñado para referirse genérica, discontinuidades, fallas. teniendo diferentes parámetros geométricos y físicos, entre los cuales se tiene el espaciado, orientación, persistencia, rugosidad, resistencia de paredes, abertura, relleno y filtraciones.
- d) **Fracturas.** En su investigación (IÑIGUEZ TORAL, 2020 pág.16) Es un conjunto de superficies que dividen una roca en bloques con desplazamientos perpendiculares al plano de fractura. Estas superficies generalmente se crean por la concentración de tensiones en áreas donde la naturaleza de la roca cambia y son más comunes en áreas heterogéneas de diversas formas.
- e) **Clasificaciones geomecánicas.** (GONZALES DE VALLEJO, 2002 pág. 261) son procedimientos que permitan determinar la excelencia del macizo rocoso de forma



sencilla mediante indicadores numéricos, teniendo en cuenta determinadas condiciones del sitio según el tipo de clasificación. La clasificación geomecánica es un método para distinguir macizos rocosos en función de sus propiedades geológicas, hidrológicas y mecánicas con el fin de determinar su competitividad para obras de ingeniería específicas.

- f) **Meteorización de las rocas.** (RAMIREZ OYANGUREN, y otros, 2004 pág. 175) se denomina meteorización de las rocas a las modificaciones experimentales en su composición o estructura por la acción de los agentes atmosféricos. La importancia que tiene la meteorización desde un punto de vista de la mecánica de rocas se debe a que produce profundos cambios en las propiedades físicas y mecánicas de los materiales rocosos. Existen dos clases de meteorización: física y química. El hecho de que una u otra predomine depende del clima, ya que ambas se producen simultáneamente.
- g) **Resistencia de las rocas.** (RAMIREZ OYANGUREN, y otros, 2004 pág. 178) se refiere a la capacidad de una roca para soportar fuerzas y tensiones sin fracturarse o deformarse de manera significativa, la cual se puede obtener mediante el martillo de Schmidt.
- h) **Caracteres geomecánicos de las discontinuidades.** (RAMIREZ OYANGUREN, y otros, 2004 pág. 185) los caracteres geomecánicos de las discontinuidades que más influyen en su comportamiento son: orientación, espaciado, dimensiones, rugosidad, resistencia de los labios de la discontinuidad, apertura y relleno. A continuación, se irán tratando brevemente cada uno de estos puntos.
- i) **Propiedades mecánicas de las rocas.** (RAMIREZ OYANGUREN, y otros, 2004 pág. 82) los macizos rocosos en la naturaleza presentan comúnmente un elevado número de discontinuidades. Por ello si se quiere conocer y describir adecuadamente el comportamiento mecánico de los macizos rocosos resulta necesario analizar previamente el comportamiento de las discontinuidades.



3.3.1 Generalidades de la mina

3.3.1.1 Historia de la Mina

Hay indicios de que los primeros intentos de exploración y extracción tuvieron lugar en charcas durante la época colonial.

- En 1874 Raymondi hace una breve descripción de las minas de Cotabambas, probablemente se estaría refiriendo a las Bambas.
- En 1911 y 1913 En la región de Ferrobamba, la exploración de superficie y la construcción del metro están a cargo de la empresa inglesa Ferrobamba Ltd., la cual ha estimado un recurso geológico de:
- Entre 1915 y 1920 Andes Exploration Company realiza labores de exploración e inicia trabajos en Chalcobamba.
- En 1934 Ferrobamba Ltd. Abandona todas las concesiones
- Entre 1938 y 1941 L. Vanini y otros, toman posesión del área de Ferrobamba y encargan a Willian Jenks para completar los estudios de exploración y estimación de recursos con la finalidad de conocer el potencial de cobre que hay en el distrito minero Las Bambas.
- En 1942 la Cerro de Pasco Copper Coporation enterado de la presencia de recursos de cobre, inicia trabajos de exploración en Chalcobamba y Ferrobamba.
- En 1951 W. Jenks completa sus trabajos de reconocimiento geológico regional y ocurrencias de mineralización.
- Entre 1962 y 1969 Para determinar los recursos, Cerro de Pasco Copper Corporation está realizando una serie de operaciones de perforación en Ferrobamba y operaciones Chalcobamba.
- Se reporta el siguiente recurso mineral:
 - Reserva en la zona chalcobamba: 13.7 Mtcs @ 2.1% Cu
 - Chalcobamba. 14.1 Mtcs @ 2.1% Cu.
 - Charcas: 0.075 Mtcs @ 5.0% Cu.
 - Sulfobamba: 0.15 Mtcs @ 6.0% Cu.
- Entre 1994 y 1997 varias empresas realizan evaluaciones de campo. Al principio fueron Barrick, MIM, Magma y otros. Las compañías que realizaron sondajes exploratorios en Ferrobamba y Chalcobamba



fueron: Cyprus-Amax (15 DDH), Phelps Dodge (5 DDH), BHP y Cyprus (7 DDH).

- En el 2001 y 2003. BHP Bilinton, A lo largo de la Concesión, Angloamerican y Cordillera de las Minas (CRVD) están realizando actividades de exploración de superficie. En un esfuerzo para encontrar otros yacimientos minerales, Pro-Inversión también está llevando a cabo una campaña de perforación en Ferrobamba y Chalcobamba.
- En el 2004, el proyecto las bombas fue subastado en concurso público y entre 14 postulantes resulto ganadora la empresa suiza Xtrata AG.
- En marzo del 2005, Xtrata Peru S.A. inicio sus actividades de perforación, con un programa de 56,000 metros distribuidos en Ferrobamba, Chalcobamba y Sulfobamba.
- Al 31 de diciembre del 2008, Xtrata Peru S.A. Para continuar con la evaluación de recursos se perforo 306,968 metros en 1010 sondajes, distribuidos en Ferrobamba, Chalcobamba, Sulfobamba, Charcas y Azuljaja.
- En agosto del 2009 los recursos de mineral medidos, indicados e inferidos fueron: 1132 Mtn, 077% de Cu, 177.43 ppm de Mo, 3.50 % de Ag y 0.06 g/Tn de Au. Y con esto se inició los estudios de prefactibilidad y factibilidad, los que han continuado durante el 2009
- En el año 2015 la compañía vende acciones a la empresa las bombas de la empresa MMG empresa china.

3.3.1.2 Fuerza laboral y campamento minero.

- **Campamento minero:**

Se emplea el campamento denominado Anta Wasi actualmente en uso, el cual se encuentra ubicado al Sur Este de la presa de relaves y tiene un área aproximada de 21 ha. Con una capacidad de albergar 6000 personas, este campamento cuenta con las siguientes instalaciones:

Almacenes, oficinas, sector de carpintería, multicancha y zona de recreación, comedores y cocina, habitaciones, policlínico área de generadores plantas de tratamiento de agua potable, plantas de tratamiento de agua residual, lavandería, gimnasio, posta, caseta de



guardia, planta de tratamiento de agua potable (PTAP), planta de aguas residuales (PTARD); además, también se hará necesario utilizar el campamento XP y el campamento Charca cocha, el primero instalado para la etapa constructiva de las bombas y el segundo habilitado desde la etapa de exploración. Cabe señalar que estos campamentos han cumplido el periodo de operación designado en los instrumentos ambientales que los aprobaron, ya que solo se consideró su uso durante la etapa de construcción del proyecto.

Los campamentos XP y Charca cocha, son utilizados en las temporadas donde el flujo de trabajadores se vea incrementado (con uso variado entre permanente y/o periódico), como por ejemplo durante el periodo de planta y mantenimiento, entre otros eventos de contingencia.

- **Fuerza Laboral:**

Actualmente U.M Las Bambas cuenta con un total de 1700 trabajadores y aproximadamente 6000 trabajadores de empresas contratistas que laboran en la operación. Se precisa que el 100 % de mano de obra no calificada es local y que cumple los requisitos mínimos para asumir dichas responsabilidades.

El personal en general realiza manejo de equipos de la operación, movimiento de tierras, montaje de instalación mecánica, instalación de tuberías, instalaciones eléctricas, así como trabajos de vigías, apoyo manual en los trabajos de movimiento de tierras, actividades manuales de mantenimiento, entre otros.



3.3.1.3 Geología del yacimiento

3.3.1.3.1 Geología local

Las Bambas comprende varias zonas mineralizadas, siendo a este momento las más importantes Ferrobamba, Chalcobamba y Sulfobamba. También hay otras áreas que todavía no han sido estudiadas en detalle, entre las cuales están Charcas y Azuljaja. La zona mineralizada de Ferrobamba es una de las áreas de mayor interés en cuanto a contenido de mineralización de Cu, con valores de oro, plata y molibdeno; se encuentra ubicada en el sector SE del distrito minero las Bambas y tiene una extensión con evidencias de mineralización de 300 hectareas aproximadamente.

3.3.1.3.2 Geología Regional

Las Bambas se ubican en la franja de yacimientos de skarn de Cu (Mo-Au) asociados a sistemas tipo pórfido ubicado en la parte sureste del Perú. Esta franja metalogenetica está controlada por el batolito Andahuaylas-Yauri del Eoceno-Oligoceno que se ha emplazado en unidades sedimentarias del Mesozoico siendo la de mayor importancia la formación Ferrobamba (Cretáceo inferior o superior). Las rocas intrusivas del batolito en contacto con las calizas Ferrobamba originan metamorfismo de contacto y en algunos lugares cuerpos de skarn con mineralización de Cu (Mo-Au). El batolito Andahuaylas-Yauri se ha emplazado al sur de la “Deflexión de Abancay” con lineamientos de dirección NO-SE, NE-SO y otros que fueron generados principalmente por la Orogenia Andina.

3.3.1.3.3 Geología Estructural

En Las Bambas el desarrollo estructural es notorio, siendo predominantes las deformaciones dúctil y frágil en forma de sinformes, antiformes asimétricos, fallas normales, inversas, lineamientos y cabalgamientos. A. Fallas y Pliegues: La deformación estructural a escala local fotointerpretada evidencia fallamientos principales de tendencia general NO - SE que cortan



a las secuencias sedimentarias del Mesozoico; este trend estructural es cortado por fallas NE-SO y tardíamente por fallamientos en bloques postmineralización de dirección NS, un ejemplo sería la falla Challaque al E del Yacimiento Ferrobamba. Existen además fallas de tipo thrust fault en la zona S del proyecto. Son reconocidas principalmente en las unidades sedimentarias por mostrar inconformidades debido al desplazamiento entre unidades litológicas asociadas a un bajo ángulo del plano de fallamiento; debido a esto, todas las unidades sedimentarias se encuentran plegadas formando antiformes, sinformes, algunos de ellos volcados, cuyos ejes axiales tienen dirección NO-SE y E-O. Existen.

también pliegues replegados con ejes N-S y NE-SO asociados a una fase deformativa dúctil durante la fase Inca con dirección compresiva NE-SO. En muchos casos las posiciones de los estratos han sido favorables para la formación de los cuerpos de skarn en contacto con las fases de intrusión. La falla Chuspiri-Fuerabamba (Fig. 8) de dirección NO-SE es la estructura principal que atraviesa la parte S de tajo, su presencia podría ser resultado de una reactivación de un fallamiento antiguo de comportamiento cinemático tipo thrust en su etapa inicial, pasando posteriormente a un régimen normal transtensivo local que influenció en el emplazamiento de los plutones monzoníticos mineralizantes, además de los esfuerzos distensivos en la región como consecuencia de una deformación regional.

3.3.1.3.4 Mineralización

El emplazamiento de fases mineralizantes dentro del batolito de Andahuaylas Yauri ha originado numerosas ocurrencias de mineralización, que en algunos casos forman yacimientos económicos caso Tintaya, Antapacay, Las Bambas, Los Chancas, etc. En el área del proyecto existen varias zonas con mineralización, siendo las más importantes Ferrobamba, Chalcobamba y Sulfobamba.



A. Sulfuros: En el área del proyecto (Ferrobamba, Chalcobamba, Sulfobamba y otros), tenemos abundante mineralización de sulfuros de cobre con moderada cantidad de óxidos. Los sulfuros de cobre predominantes son la calcopirita y bornita; la bornita es más abundante en Ferrobamba respecto a las otras áreas. También se tiene molibdenita, siendo más abundante en los pórfidos que en el skarn. La ocurrencia de sulfuros secundarios, principalmente calcosina y menores cantidades de covelita es moderada. Actualmente Ferrobamba es el área que tiene más cantidad de sulfuros secundarios. Otros sulfuros como esfalerita y galena, ocurren en las partes dístales de los sistemas de cobre, siendo más abundantes en Sulfobamba. La pirita es más abundante en Sulfobamba respecto a las demás áreas del proyecto, generalmente está presente en la zona propilítica y en menor proporción asociada a los sulfuros de cobre. De acuerdo a los logueos: En Ferrobamba la cantidad de pirita promedio es 0.39%, en Chalcobamba 0.51% y en Sulfobamba 1.60%.

B. Óxidos: La zona óxidos en las tres áreas (Ferrobamba, Chalcobamba y Sulfobamba), es algo superficial y tiene poca profundidad en general menor a 25 metros; localmente la oxidación profundiza hasta más de 50 metros a lo largo de zonas de fallas y fracturas. En Ferrobamba, la zona de óxidos está conformada por crisocola, tenorita, copper pitch (goethite copper bearing), poca malaquita, neotocita, goethita y jarosita. También hay cobre nativo evidenciado en algunos sondajes, está asociado a zonas de brecha en forma de pequeñas láminas. En Chalcobamba, predomina la crisocola, malaquita, poco copper pitch y tenorita. También hay cobre nativo evidenciado en algunos sondajes en la parte norte del yacimiento, en zonas fracturadas y en brechas. En Sulfobamba hay menos óxidos de cobre y más de fierro, en relación a Ferrobamba y Chalcobamba.



3.3.1.4 Métodos de explotación

El tipo de mina es tajo abierto y sus principales productos serán concentrados de cobre y molibdeno, además tiene como sub productos oro y plata. El yacimiento de Ferrobamba tendrá una huella de 311 hectáreas, el de Chalcobamba será de 130 hectáreas y el de Sulfobamba de 75 hectáreas.

En los yacimientos se estiman reservas de 5631 millones de toneladas, con una ley promedio de cobre de 0.72% y de molibdeno de 169 ppm, la producción anual de concentrados de cobre será de 880 mil toneladas y de ellas resultaran 314 mil toneladas de cobre fino. Como producto final se tendrá concentrados de cobre y molibdeno en los primeros 9 años la producción de cobre sería 400,000 T de cobre metálico en concentrados anuales y 5000 T de concentrado de molibdeno por año.

3.3.1.5 Comercialización

La planta concentradora se encuentra ubicada al oeste del depósito de relaves, dentro del área efectiva de la U.M. Las Bambas. Este componente comprende las siguientes instalaciones:

- Pila de mineral grueso
- Instalaciones de molienda gruesa
- Instalación de dosificación de reactivos
- Espesador
- El circuito de filtración
- El circuito de molibdeno
- Instalaciones de almacenamiento de concentrados
- Almacenamiento de materiales reactivos
- Laboratorio químico
- Laboratorio metalúrgico.

El objetivo del circuito de molibdeno es separar selectivamente el molibdeno de la pulpa cargada de cobre mediante la flotación del concentrado colectivo (Cu-Mo) generado en la planta de flotación colectiva de las bambas. Se producirán aproximadamente 2798 t/d de



Se utiliza para transportar concentrado. Para llegar a la nueva estación de transferencia, estación que se ubica entre los kilómetros 138 y 139 del fraccionamiento 4 de la línea del tren Arequipa - Puno, emplean un sistema de tránsito bimodal de camiones.



Repositorio Institucional - UNAMBA Perú

3.3.1.6 Cierre de mina

Las acciones de cierre que se tendrán en cuenta en el plan de cierre conceptual se apegarán a los estándares establecidos en la guía elaborada por el MINEM para la formulación de planes de cierre, Como escenarios de cierre se tendrán en consideración las siguientes situaciones de cierre:

- **Cierre temporal**

El cierre temporal implica la suspensión de las actividades mineras por un período determinado también la importancia de gestionar adecuadamente las relaciones entre las empresas mineras y las comunidades locales. La resolución de estos conflictos es crucial ya que ha enfrentado varios desafíos, especialmente relacionados con conflictos sociales y ambientales. para asegurar la estabilidad económica y social en la región, se debe se buen gestionado para así garantizar un desarrollo minero sostenible.

- **Cierra progresivo**

Es un proceso planificado y gradual para dismantelar y rehabilitar una mina durante su operación y al final de su vida útil. El objetivo es mitigar los impactos ambientales y sociales, asegurando que el terreno pueda ser utilizado de manera segura y sostenible después de la minería, Involucra planificación, rehabilitación continua y monitoreo a largo plazo para restaurar el entorno y proteger las comunidades locales.

- **Cierre final**

Es el proceso de dismantelamiento y rehabilitación definitiva de la mina una vez que ha cesado la actividad minera. Este proceso tiene como objetivo restaurar el sitio a un estado seguro y ambientalmente estable, minimizando los impactos negativos a largo plazo, Su objetivo del cierre final es garantizar que el sitio minero se cierre de manera segura y sostenible, minimizando los impactos ambientales y sociales a largo plazo y cumpliendo con las regulaciones legales. Un

cierre final bien ejecutado puede transformar un área previamente explotada en un terreno seguro y ambientalmente estable, beneficiando tanto a las comunidades locales como al entorno natural.

- **Mantenimiento y monitoreo post – cierre**

El mantenimiento y monitoreo post-cierre en una mina a tajo abierto son muy esenciales para asegurar que el sitio se mantenga seguro y ambientalmente estable a largo plazo. Estos procesos implican una supervisión continua de las condiciones ambientales y físicas del sitio, tienen como objetivo asegurar la estabilidad ambiental y física del sitio, prevenir impactos negativos, y cumplir con las regulaciones ambientales y los compromisos adquiridos con las comunidades locales.

En las siguientes actividades de cierre se deberán tomar en consideración los siguiente:

- **Desmantelamiento**

Es el proceso de retirar y desmontar equipos, maquinarias, estructuras y otros elementos de infraestructura utilizados durante la operación minera. El objetivo es limpiar y despejar el sitio para facilitar las etapas siguientes del cierre.

- **Demolición**

Consiste en derribar y eliminar físicamente las edificaciones, plantas de procesamiento, talleres u otras estructuras construidas como parte de las operaciones mineras. Se realiza de manera controlada para minimizar el impacto ambiental y garantizar la seguridad.

- **Recuperación**

También conocida como rehabilitación, es el proceso de restaurar el sitio minero a un estado que sea seguro y ambientalmente estable

después de la extracción de minerales. Incluye la remediación de áreas afectadas, la revegetación y la restauración del hábitat.

- **Disposición**

Se refiere a la adecuada gestión y disposición de residuos sólidos y líquidos generados durante el cierre de la mina. Esto puede incluir relaves, escombreras, y otros materiales que deben ser manejados de manera que no representen un riesgo ambiental.

- **Estabilización física**

Implica la implementación de medidas para asegurar la estabilidad física del sitio, incluyendo la protección de taludes y la prevención de la erosión mediante la revegetación y la construcción de estructuras de contención.

- **Estabilización geoquímica**

Es el proceso de controlar y mitigar los efectos geoquímicos negativos que podrían surgir después del cierre de la mina, como la generación de drenaje ácido de mina (DAM) o la liberación de metales pesados. Incluye el manejo adecuado de materiales que pueden causar contaminación.

- **Establecimiento de la forma del terreno**

Consiste en modelar y configurar el terreno de manera que sea funcional y seguro después del cierre de la mina. Esto puede incluir la restauración de taludes y la creación de formas de terreno que minimicen los riesgos de erosión y faciliten usos futuros en agrícolas etc.

- **Programas sociales**

Son iniciativas diseñadas para mitigar los impactos socioeconómicos del cierre de la mina en las comunidades locales. Esto puede incluir

la creación de oportunidades de empleo alternativas, programas de capacitación, y proyectos de desarrollo comunitario para promover la sostenibilidad y el bienestar social.



CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA

4.1 Tipo y nivel de investigación

Según, (EGG, 2011) el tipo de investigación aplicada consiste en utilizar los conocimientos y aplicarlos para resolver problemas.

Se aplicará conocimientos teóricos a situaciones específicas teniendo en cuenta que aportará significativamente estrategias de soluciones a problemas reales e identificables.

De acuerdo con la teoría revisada la investigación será de tipo aplicativo.

Según, (HERNANDEZ SAMPIERI, 2014) considera que el nivel descriptivo es definir las cualidades del objeto de investigación como se manifiestan y los sucesos más importantes, también se refiere al nivel explicativo como el análisis de dos o más variables como se relacionan y explicar cómo y por qué ocurre un fenómeno.

La presente investigación se recogerá información de los fenómenos las características y como se manifiestan, se analizará la relación que existe entre las variables según el valor que se les dé en un contexto particular y se explicará las causas de los eventos, como ocurre un fenómeno y porque se relacionan las variables.

Con la información revisada la presente tesis se clasifica del nivel descriptivo -explicativo.

4.2 Diseño de la investigación

Según, (BEHAR RIVERO, 2008) considera que el diseño no experimental es observar los sucesos sin participar y dejar que ocurran naturalmente.

En la presente investigación se describirá los fenómenos las características y como se manifiestan se recogerán datos de la mina las bambas

La investigación se clasifica del diseño experimental.

4.3 Descripción ética de la investigación

En la presente investigación se respetará los resultados de validez, la propiedad intelectual, la información conseguida, con los criterios éticos de confiabilidad, objetividad, originalidad.



4.4 Población y muestra

Según, (LERMA GONZALES, 2009) considera la población como un conjunto de elementos del mismo tipo con cualidades fijas y que se estudia sus rasgos y relaciones

La presente investigación la población está compuesta por la mina las bambas.

Según, (ÑAUPAS PAITAN, 2014) considera que la muestra es la selección de un subconjunto de una población por medio de diferentes métodos.

La **muestra** para esta investigación se toma el tajo ferrobamba.

4.5 Procedimiento

En esta indagación el procedimiento usado es la recolección, procesamiento, análisis de datos e interpretación de resultados.

Recolección

- Recolección de información mediante una prospección y mapeo en campo en función con las fichas de caracterización geomecánica y a su vez extracción de testigo.
- Las técnicas de levantamiento de información insitu mediante las diferentes clasificaciones geomecánicas mediante los instrumentos y formatos para cada clasificación geomecánica y estos datos serán generados en una base de datos como hojas Excel, en CAD planos de secciones y perfiles
- Determinación de resultados mediante la utilización de Laboratorio.

Procesamiento y análisis de datos, De haber obtenida información se procedió a organización según las variables y dimensiones de la investigación, desarrollar esquemáticamente se utilizarán herramientas informáticas, hojas de cálculo, fichas de interpretación, ábacos y entre otros.

Interpretación de resultados, La interpretación de resultados de uso en función a las dimensiones planteadas en la investigación su interpretación se base a la información teórica y hacer correlaciones y discusiones en función a los antecedentes del proyecto de investigación.

4.6 Técnica e instrumentos

La técnica, Para (ARIAS,2012) define la técnica de la observación directa como acción de visualizar cualquier manifestación que suceda en la naturaleza o sociedad bajo los criterios de investigación y objetivos definidos.



Instrumentos, para Cabezas et al. (2018) recolección de datos es recoger información que posteriormente el investigador puede trasladar a una ficha.

En la presente investigación se aplicó como ***instrumento las fichas de recopilación de datos.***

4.7 Análisis estadístico

Para procesamiento de datos se utilizó el Excel.



CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIONES

RESULTADOS

5.1 Determinación de las clasificaciones geomecánicas y su influencia en la reducción de la desviación en la perforación rotopercutiva de taladros verticales en el tajo Ferrobamba, mina Bambas, Cotabambas, Apurímac 2023

5.1.1 Cálculo de RMR en el tajo Ferrobamba

Parámetros para la clasificación del RMR

Se clasificaron utilizando el sistema RMR (Rock Mass Rating – Valoración de la masa rocosa) de Bieniawski (1989)– Índice de Resistencia Geológico) de Hoek et al. (1994 – 2002), Q Barton 2002.

Se ha realizado la zonificación de acuerdo a la agrupación espacial de la clasificación geomecánica producto del mapeo geomecánico en la ejecución de del tajo Ferrobamba de la mina las bambas. A través de esta actividad se identificaron y definieron dominios estructurales zonas con propiedades geomecánicas similares con base en aspectos litológicos, estructurales y cualitativos de las rocas, la información se tiene que tener en cuenta para los análisis de diseño.

- Resistencia a la compresión simple de la matriz rocosa, ensayo PLT, ensayo de carga puntual
- R.Q.D. Grado de fracturamiento: separación entre diaclasas (m)
- Espaciado de la discontinuidad
- Condición de la discontinuidad
- Condición hidrogeológica
- Orientación de la discontinuidad



5.1.1.1 Cálculo de la resistencia a la compresión uniaxial de matriz rocosa

Se ha realizado mediante dos ensayos para estimar la resistencia a la compresión del macizo rocoso, primero se realizó mediante la resistencia a la compresión uniaxial del macizo rocoso, primero se realizó mediante el ensayo a compresión uniaxial y el segunda mediante el martillo Schmidt.

Tabla 8 — Resultados de ensayo a compresión uniaxial

ENSAYOS DE LA RESISTENCIA A COMPRESION UNIAXIAL					
DOMINIO EXSTRUCTURAL 01					
N.º DE	LITOLOGIA	DIAMETRO	LONGITUD	CARGA (P)	C
MUESTRA		(mm)	(mm)	(KN)	(MPa)
M-1	ANDESITA	54	108	317,25	138,52
M-2	ANDESITA	54	120	315,90	137,93
M-3	ANDESITA	54	135	297,50	129,90
M-4	ANDESITA	54	135	284,10	124,05
				PROMEDIO	132,60
DOMINIO EXSTRUCTURAL 02					
N.º DE	LITOLOGIA	DIAMETRO	LONGITUD	CARGA (P)	C
MUESTRA		(mm)	(mm)	(KN)	(MPa)
M-1	ANDESITA	54	120	291,30	127,19
M-2	ANDESITA	54	135	319,91	139,68
M-3	ANDESITA	54	136	310,57	135,61
M-4	ANDESITA	54	134	270,12	117,94
				PROMEDIO	130,11
DOMINIO EXSTRUCTURAL 03					
N.º DE	LITOLOGIA	DIAMETRO	LONGITUD	CARGA (P)	C
MUESTRA		(mm)	(mm)	(KN)	(MPa)
M-1	ANDESITA	54	120	316,10	138,02
M-2	ANDESITA	54	125	318,62	139,12
M-3	ANDESITA	54	135	214,35	93,59
M-4	ANDESITA	54	135	195,60	85,41
				PROMEDIO	114,04
PROMEDIO TOTAL					125,58

Extraído de Laboratorio de mecánica de rocas de la escuela profesional de ingeniería de minas de la Unamba.

La ecuación utilizada de la resistencia a compresión uniaxial es el siguiente modelo matemático se usó para obtener resultados que se muestra en la tabla 8:

"Mecánica de Materiales" por Beer, Johnston, DeWolf y Mazurek:

$$\sigma_c = \frac{P}{\pi \frac{D^2}{4}}$$

donde:

P: Carga ultima



D: Diámetro del espécimen

$$\sigma_c = \frac{317.25 \text{ KN} \cdot 4}{3.1416(5.40 \text{ cm}^2)} * \frac{101.972 \text{ Kg}}{1 \text{ KN}} * \frac{1 \text{ MPa}}{10.1979 \text{ Kg/cm}^2}$$

$$\sigma_c = 138.51$$

(se adjunta los cálculos en el anexo cálculo de resistencia a la compresión uniaxial)

5.1.1.2 Cálculo de la resistencia a la compresión simple de matriz rocosa mediante el martillo Schmidt

Tabla 9 — Estimación de esfuerzo de compresión usando el martillo Schmidt

Peso específico aparente (PEA) KN/m ³	INDICE DE REBOTE CAMPO	INDICE DE REBOTE VALIDOS
26.82	48	49
26.82	46	48
26.82	44	48
26.82	42	46
26.82	46	46
26.82	42	46
26.82	46	45
26.82	40	45
26.82	38	45
26.82	48	45
26.82	45	44
26.82	45	46
26.82	40	47
26.82	42	49
26.82	32	45
26.82	34	46
26.82	45	46
26.82	45	49
26.82	42	49
26.82	49	47
PROMEDIO		46.55
CONTAR		12
RESISTENCIA PROMEDIO		125 MPa

Peso específico aparente es: 27 KN/ m³ . En el anexo se muestra detallado los resultados del (P.E.A)

Formula matematica para estimar:

$$\text{P.E.A.} = \text{Peso Seco} \times 9,81 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$



Volumen

UCS (MPa) = 22.13 x IRc UCS es la resistencia a la compresión simple (MPa)

IRc es el índice de rebote de campo

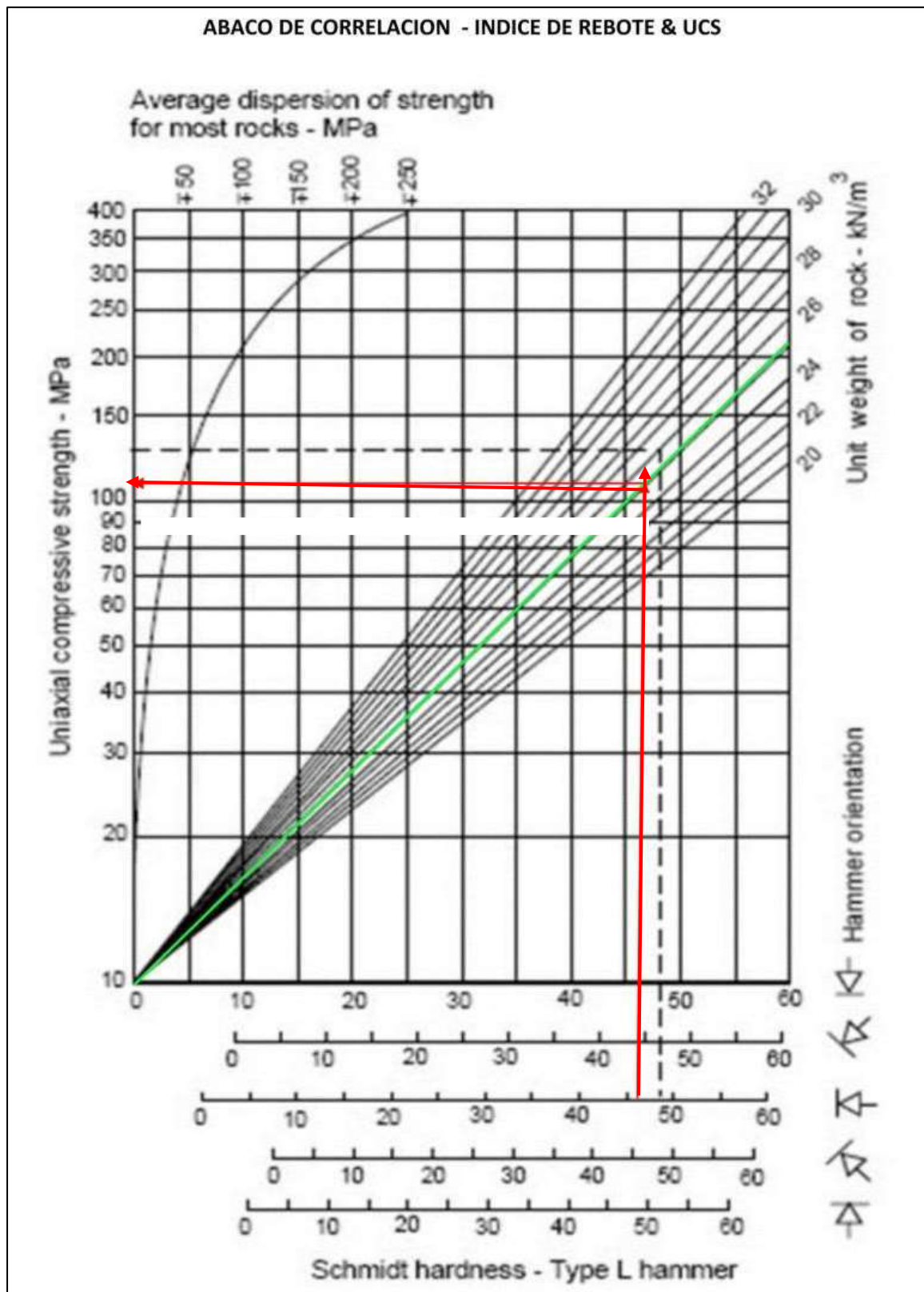


Figura 7 — Abaco de correlación – Índice de rebote y UCS

Tabla 10 — Sistema de clasificación del macizo rocoso -RMR (basado en Bieniawski 1989)

A. Parámetros de clasificación y sus valoraciones									
Parámetro			Rango de valores						
1	Resistencia de roca intacta	Índice de carga puntual	>10MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	Para este rango bajo, es preferible el ensayo de compresión uniaxial		
		Resistencia compresiva uniaxial	>250MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	<1 MPa
	Valoración		15	12	7	4	2	1	0
2	Excelencia de testigo de perforación RQD		90-100%	75-90%	50-75%	25-50%	<25%		
	Valoración		20	17	13	8	3		
3	Espaciamiento de discontinuidades		>2m	0,6-2m	0,2-0,6m	60-200	<60mm		
	Valoración		20	15	10	8	5		
4	Condiciones de las discontinuidades		Superficies muy rugosas no continuas Cerradas sin apertura Paredes rocosas sanas	Superficies ligeramente rugosas Apertura<1 mm Paredes ligeramente intemper.	Superficies ligeram. rugosas Apertura<1 mm Paredes altamente intemper	Espejo de falla o panizo <5mm de espesor Apertura de 1-5mm juntas continuas	Pánico suave >5mm de espesor o apertura >5mm Juntas continuas		
	Valoración		30	25	20	10	0		
5	Agua subterránea	Flujo de 10m de longitud de túnel(l/m) presión de agua / principal máximo	Ningun o 0	< 10 <0,1	10-25 <0,1	25-125 0,1-0,2	>125 >0,5		
		Condición general	Completamente seco	Húmedo	Mojado	Goteo	Flujo		
	Valoración		15	10	7	4	0		

SISTEMA RMR												
PARÁMETROS				VALOR							VALOR	
Resistencia a la compresión uniaxial (MPa)				126	>250 (15)	X	100-250 (12)	50-100 (7)		25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	12
RQD (%)					90-100 (20)		75-90	X	50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3)	13
Espaciamiento de discontinuidades (cm)					>2m (20)		0.6-2 m (15)	0.2-0.6m (10)	X	0.05-0.2m (8)	< 0.05m (5)	8
CONDICION DE DISCONTINUIDADES												
Familia	Buz.	/D. Buz	f/m	Persistencia	<1m long (6)	1-3 m Long	X	3-10m (2)	10-20 m (1)	> 20 m (0)		4
D1	45	230	3	Abertura	Cerrada (6)	<0.1mm apert. (5)	0.1-1.0mm	X	1- 5 mm (1)	> 5 mm (0)		4
D2	28	145	4	Rugosidad	Muy rugosa (6)	Rugosa	X	Lig. rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de lava (0)		5
D3	78	110	5	Relleno	Limpia (6)	Duro < 5mm	X	Duro> 5mm (2)	Suave < 5 mm (1)	Suave > 5 mm (0)		2
				Alteración	Sana (6)	Lig. Intempe. (5)	Mod. Intempe.	X	Muy Intempe. (2)	Descompuesta (0)		3
Agua subterránea					Seco (15)	X	Humedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)		15
Orientación					Discontinuidad perpendicular al eje de la excavación Discontinuidad paralela al eje de la excavación Discontinuidad oblicua al eje de la excavación Discontinuidad horizontal						-5	
					RMR ₉₀ (Basico) =						51	
					RMR ₉₀ (Corregido) =						46	
Condiciones secas					RMR' ₉₀ (Condiciones Secas)=						56	
	JRC			RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0			
	(BARTON BANDIS)			DESCRIPCION	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA			III B

Figura 8 — Valoración del RMR

Extraído de clasificaciones geomecánicas

5.1.2 Cálculo del RQD en el tajo Ferrobamba

Para el cálculo de RDQ se usó la formula $RQD = 115 - 3,3 (J_v)$, esta fórmula según (RODRIGUEZ, 2007 pág. 15), siendo la formula del mapeo por celdas de palmstrom (1982).

Según el mapeo geomecánico desarrollado se logró un resultado de $J_v = 15,20$

Ecuación: $RQD = 115 - 3.3 (j_v)$

Reemplazando: $RQD = 115 - 3.3 (15.20)$

Respuesta = 64.84%

$RQD = 65\%$

Fórmula para el cálculo de Q de Barton, Lien y Lunde en 1974.

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$$

- R.Q.D: Índice de calidad de la roca.
- J_n : Índice de diaclasado que indica el grado de fracturación.
- J_r : Índice de que contempla la rugosidad, relleno y continuidad de las discontinuidades.
- J_a : Índice de alteración de las discontinuidades.
- J_w : Coeficiente reductor por la presencia de Agua.
- SRF: (Stress reducción factor) Coeficiente que tiene en cuenta la influencia del estado tensional sobre el macizo rocoso.

SISTEMA DE CLASIFICACION Q									
PARAMEROS					RANGO				VALOR
RQD %					RQD	65	%		65
Número de discontinuidades					J_n	4 D			15
Número de rugosidad					J_r	Lisa			2
Número de alteración					J_a	ligero			1
Número de agua subterránea					J_w	seco			1
Factor de reducción de esfuerzos (estado tensional)					SRF	tension elevada			3
$Q = (RQD/J_n) \times (J_r / J_a) \times (J_w / SRF)$									Q = 2.89
$Q' = (RQD/J_n) \times (J_r / J_a)$									Q' = 8.67
RMR = 9 Ln Q + 44		54		54					
RMR' = 9 Ln Q' + 44		63		63					
Q	1000-400	400-100	100-40	40-10	10-4,0	4-1,0	1-0,1	0,1-0,01	0,01-0,001
DESCRIPCION	EXCEPCIONALMENTE BUENA	EXTREMENADAMENTE BUENA	MUY BUENA	BUENA	REGULAR	POBRE	MUY POBRE	EXTREMENADAMENTE POBRE	EXCEPCIONALMENTE POBRE
									REGULAR

Figura 9 — Calculo del Q del macizo rocoso del tajo Ferrobamba según Barton

Extraído de clasificaciones geomecánicas de Barton

Con esta base en estos resultados, Se ha realizado ensayos para estimar la resistencia a la compresión del mediante la resistencia a la compresión uniaxial del macizo rocoso y el resultado es 125.58 MPa y el resultado con martillo smidth y se podría responder que las clasificaciones geomecánicas obtenidas con las fórmulas matemáticas de los dos autores Bieniawski y Barton, se logra como resultado de descripción es una roca regular entre los valores (60-41), esto significa una condición moderada y posible en el tajo de la mina las bambas.

Estas condiciones sugieren que las prácticas de perforación pueden ser no muy efectivas en la planificación de la perforación, lo que puede contribuir significativamente en la reducción de desviación en la perforación rotopercutiva de taladros verticales en el tajo Ferrobamba, mina Bambas, Cotabambas, Apurímac 2023.

Se enfatizará la importancia de continuar y ajustar con las practicas operativas a las condiciones geomecánicas, para poder optimizar a un más la perforación y minimizar riesgos asociados.



5.2 Estimación de la velocidad de rotación mediante la reducir la desviación en la perforación rotopercutiva de taladros verticales en el tajo Ferrobamba, mina Bambas, Cotabambas, Apurímac 2023

La estimación de velocidad de rotación mediante la reducción de la desviación disminuye a medida que varía el tipo de equipo utilizado y el tipo de terreno. la maquina Schramm T685WS perforo un total de 30 taladros con una longitud de 6m, diámetro de perforación 0.5m y Lsp es 0.5m, que corresponden a los meses de marzo a abril.

En la siguiente tabla se muestra la data de perforación donde se obtiene la velocidad de perforación.

Modelos matemáticos para estimar la velocidad.

según el autor (Bingham, 1964) los modelos matemáticos son los siguientes:

$$ROP = \frac{K.W.RPM}{D.UCS}$$

- **ROP:** Tasa de penetración
- **K:** Factor de eficiencia
- **W:** Peso sobre la broca
- **RPM:** Revoluciones por minuto de la broca
- **D:** Diámetro de la broca
- **UCS:** Resistencia a la compresión uniaxial de la formación

la desviación se podrá modelar con algunas funciones de los parámetros.

$$RPM = RPM Actual \times \left(1 - \frac{desviacion}{desviacion maxima}\right)$$

RPM Actual: Revoluciones por minuto actuales de la broca

Desviación: Desviación actual de la trayectoria del pozo

Desviación Máxima: Desviación máxima permitida de la trayectoria del pozo.



Tabla 11 — Data de programación para estimar la velocidad de rotación mediante la reducción de la desviación.

Perforación	RATIO DE PENETRACION		HORAS POR BARRA	RPM POR BARRA (INICIO)	PRESION DE EMPUJE PSI	PRESIÓN DE DESCARGA (PSI)
						MANÓMETRO DEL TABLERO
HTC	05:45	06:40	00:55:00	20	700 psi	280
JCG	10:03	10:58	00:55:00	20	700 psi	280
JCG	11:28	12:53	01:25:00	20	700 psi	280
JCG	14:40	14:55	00:15:00	20	700 psi	440
JCG	15:25	15:40	00:15:00	20	700 psi	480
JCG	15:50	16:05	00:15:00	20	700 psi	480
JCG	17:10	17:28	00:18:00	20	700 psi	480
JCG	17:35	17:52	00:17:00	20	700 psi	500
JCG	18:22	18:40	00:18:00	20	700 psi	500
HTC	20:00	20:18	00:18:00	20	700 psi	580
HTC	20:21	20:40	00:19:00	20	700 psi	580
HTC	21:20	21:40	00:20:00	20	700 psi	580
HTC	21:44	22:05	00:21:00	20	700 psi	580
HTC	22:09	22:28	00:19:00	20	700 psi	600
HTC	22:32	23:00	00:28:00	20	700 psi	600
HTC	03:00	03:22	00:22:00	20	700 psi	600
HTC	03:25	03:50	00:25:00	20	700 psi	600
HTC	03:54	04:21	00:27:00	20	700 psi	600
HTC	04:25	05:14	00:49:00	20	700 psi	600
HTC	05:30	06:03	00:33:00	20	700 psi	600
HTC	06:08	06:33	00:25:00	20	700 psi	600
JCG	09:08	09:24	00:16:00	20	700 psi	630
JCG	09:30	10:12	00:42:00	20	700 psi	630
JCG	10:20	11:03	00:43:00	20	700 psi	650
JCG	11:12	12:02	00:50:00	20	700 psi	650
JCG	14:10	15:02	00:52:00	20	700 psi	680
HTC	21:35	23:05	01:30:00	20	700 psi	680
HTC	23:13	23:47	00:34:00	20	700 psi	680

En las siguientes tablas se muestra los resultados obtenidos con la data mediante, la reducción de la desviación en la perforación rotopercutiva de taladros verticales.

Tabla 12 — Data de programación para estimar la velocidad de rotación mediante la reducción de la desviación.

Data - Gyro								Programado				
Station Increm	X-Increm	Y-Increm	E	N	Z	Dip	Azimuth	X-Increm	Y-Increm	E	N	Z
	0.00	0.00	793454.74	8440860.55	3690.449	-72.94	213.75	0	0	793454.7	8440861	3690.449
0	0.00	0.00	793454.739	8440860.550	3690.449	-72.94	213.75	0	0	793454.7	8440861	3690.449
5	-0.84	-1.22	793453.898	8440860.550	3685.673	-72.8	214.67	-0.81495	-1.21965	793453.9	8440859	3685.673
5	-0.80	-1.17	793453.097	8440859.379	3680.878	-73.51	214.38	-0.81495	-1.21965	793453.1	8440858	3680.878
5	-0.82	-1.21	793452.272	8440858.172	3676.097	-73	214.34	-0.81495	-1.21965	793452.3	8440857	3676.097
5	-0.82	-1.22	793451.449	8440856.949	3671.319	-72.86	213.96	-0.81495	-1.21965	793451.5	8440856	3671.319
5	-0.83	-1.21	793450.623	8440855.742	3666.538	-72.99	214.39	-0.81495	-1.21965	793450.7	8440854	3666.538
5	-0.82	-1.19	793449.799	8440854.554	3661.751	-73.19	214.71	-0.81495	-1.21965	793449.8	8440853	3661.751
5	-0.82	-1.18	793448.978	8440853.378	3656.961	-73.33	214.94	-0.81495	-1.21965	793449	8440852	3656.961
5	-0.81	-1.17	793448.170	8440852.204	3652.169	-73.44	214.55	-0.81495	-1.21965	793448.2	8440851	3652.169
5	-0.83	-1.19	793447.336	8440851.016	3647.384	-73.12	215.05	-0.81495	-1.21965	793447.4	8440850	3647.384
5	-0.85	-1.19	793446.487	8440849.826	3642.602	-73.01	215.5	-0.81495	-1.21965	793446.6	8440848	3642.602
5	-0.85	-1.18	793445.634	8440848.646	3637.819	-73.06	215.87	-0.81495	-1.21965	793445.8	8440847	3637.819
5	-0.84	-1.15	793444.792	8440847.491	3633.028	-73.4	216.08	-0.81495	-1.21965	793445	8440846	3633.028
5	-0.83	-1.12	793443.962	8440846.368	3628.227	-73.78	216.48	-0.81495	-1.21965	793444.1	8440845	3628.227
5	-0.85	-1.13	793443.109	8440845.236	3623.432	-73.53	216.99	-0.81495	-1.21965	793443.3	8440843	3623.432
5	-0.89	-1.12	793442.220	8440844.115	3618.641	-73.37	218.4	-0.81495	-1.21965	793442.5	8440842	3618.641
5	-0.89	-1.10	793441.326	8440843.016	3613.846	-73.54	219.16	-0.81495	-1.21965	793441.7	8440841	3613.846
5	-0.89	-1.11	793440.434	8440841.908	3609.053	-73.47	218.83	-0.81495	-1.21965	793440.9	8440840	3609.053
5	-0.86	-1.11	793439.570	8440840.799	3604.254	-73.67	217.92	-0.81495	-1.21965	793440.1	8440839	3604.254
5	-0.85	-1.08	793438.717	8440839.723	3599.446	-74.07	218.41	-0.81495	-1.21965	793439.3	8440837	3599.446
5	-0.87	-1.10	793437.842	8440838.627	3594.647	-73.71	218.59	-0.81495	-1.21965	793438.4	8440836	3594.647
5	-0.88	-1.11	793436.962	8440837.522	3589.851	-73.58	218.53	-0.81495	-1.21965	793437.6	8440835	3589.851
5	-0.88	-1.09	793436.084	8440836.428	3585.052	-73.71	218.76	-0.81495	-1.21965	793436.8	8440834	3585.052
5	-0.88	-1.10	793435.208	8440835.327	3580.254	-73.66	218.49	-0.81495	-1.21965	793436	8440832	3580.254
5	-0.88	-1.10	793434.324	8440834.228	3575.457	-73.62	218.83	-0.81495	-1.21965	793435.2	8440831	3575.457
5	-0.89	-1.11	793433.431	8440833.115	3570.665	-73.41	218.75	-0.81495	-1.21965	793434.4	8440830	3570.665
5	-0.89	-1.10	793432.541	8440832.012	3565.870	-73.53	218.89	-0.81495	-1.21965	793433.6	8440829	3565.87
5	-0.90	-1.12	793431.639	8440830.892	3561.081	-73.29	218.84	-0.81495	-1.21965	793432.7	8440828	3561.081

Tabla 14 — Data de programación para estimar la velocidad de rotación mediante la reducción de la desviación

Data obtenida con formula			
Station Progresiva	Station Delta	Distancia	Diferencia (%)
		(x,y,z)	
	0	0	
0	0	0	
5	5	1.48515	29.70%
10	4.79472	1.07162	10.70%
15	4.78171	0.97026	6.50%
20	4.77796	0.8351	4.20%
25	4.78129	0.83647	3.30%
30	4.78638	0.84752	2.80%
35	4.78988	0.83339	2.40%
40	4.79263	0.81566	2.00%
45	4.78467	0.8932	2.00%
50	4.7818	0.85552	1.70%
55	4.78306	0.85515	1.60%
60	4.7917	0.90772	1.50%
65	4.8011	0.91372	1.40%
70	4.7949	0.88885	1.30%
75	4.79101	0.90318	1.20%
80	4.79515	0.91094	1.10%
85	4.79337	0.89477	1.10%
90	4.79837	0.88683	1.00%
95	4.80812	0.94237	1.00%
100	4.79937	0.94621	0.90%
105	4.79609	0.89003	0.80%
110	4.79929	0.8877	0.80%
115	4.79805	0.87695	0.80%
120	4.79707	0.88502	0.70%
125	4.7919	0.91804	0.70%
130	4.79485	0.8981	0.70%
135	4.7889	2.33054	1.70%



Se usaron la maquina Schramm T685WS y se perforo un total de 30 taladros luego se obtiene los resultados de la velocidad de rotación a un 3,1% de la velocidad nominal de 1800 rpm, la velocidad de rotación sería 55,8 rpm, lo que indica que las técnicas y parámetros de perforación, posiblemente incluyendo la velocidad de rotación, han sido ajustados adecuadamente para minimizar las desviaciones en la perforación rotopercutiva de taladros verticales en el tajo Ferrobamba.

5.3 Estimación de la fuerza de empuje en la reducción de la desviación en la perforación rotopercutiva de taladros verticales en el tajo Ferrobamba, mina Bambas, Cotabambas, Apurímac 2023

Para poder Estimar la fuerza de empuje en la reducción de la desviación en la perforación rotopercutiva de taladros verticales, se puede observar las siguientes fórmulas matemáticas según el autor (Bourgoyne y Young , 1974)

$$F = \text{presion de empuje} \times (1 - \text{diferencia}(\%)/100)$$

$$1 \text{ psi} = 6894.76$$

La desviación en cada estación es relativamente pequeña, indicando que la fuerza de empuje es efectiva en mantener la trayectoria del taladro.

Tabla 15 — Resultados de la Estimación de la fuerza de empuje en la reducción de la desviación en la perforación rotopercutiva de taladros verticales

PERFORACIÓN	HORAS POR BARRA	PRESION DE EMPUJE PSI	STATION PROGRESIVA	DISTANCIA (x,y,z)	PRESION DE EMPUJE PSI	FUERZA DE EMPUJE PSI
HTC	00:55:00	700 psi	0	0	700	0
JCG	01:55:00	700 psi	5	1.485154	700	339.61
JCG	01:25:00	700 psi	10	1.071618	700	50.13
JCG	00:15:00	700 psi	15	0.970261	700	20.82
JCG	00:15:00	700 psi	20	0.835097	700	115.43
JCG	00:15:00	700 psi	25	0.836466	700	114.47
JCG	00:18:00	700 psi	30	0.847523	700	106.73
JCG	00:17:00	700 psi	35	0.833392	700	116.63
JCG	00:18:00	700 psi	40	0.815662	700	129.04
HTC	00:18:00	700 psi	45	0.8932	700	74.76
HTC	00:19:00	700 psi	50	0.855523	700	101.13
HTC	00:20:00	700 psi	55	0.855148	700	101.4
HTC	00:21:00	700 psi	60	0.907716	700	64.6
HTC	00:19:00	700 psi	65	0.913719	700	60.4
HTC	00:28:00	700 psi	70	0.888848	700	77.81
HTC	00:22:00	700 psi	75	0.903183	700	67.77
HTC	00:25:00	700 psi	80	0.910945	700	62.34
HTC	00:27:00	700 psi	85	0.894774	700	73.66
HTC	00:49:00	700 psi	90	0.886825	700	79.22
HTC	00:33:00	700 psi	95	0.942368	700	40.34
HTC	00:25:00	700 psi	100	0.946207	700	37.66
JCG	00:16:00	700 psi	105	0.890026	700	76.98
JCG	00:42:00	700 psi	110	0.887699	700	78.61
JCG	00:43:00	700 psi	115	0.876947	700	86.14
JCG	00:50:00	700 psi	120	0.885016	700	80.49
JCG	00:52:00	700 psi	125	0.918038	700	57.37
HTC	01:30:00	700 psi	130	0.898096	700	71.33
HTC	00:34:00	700 psi	135	2.330539	700	931.38
Promedio						114.8661

Al usar las fórmulas matemáticas de (Bourgoyne y Young , 1974) nos da como resultado de fuerza de empuje 114.87 Psi, esto indica que la fuerza de empuje aplicada tiene un impacto no muy significativo en la desviación de la perforación. Las desviaciones y las distancias proporcionadas muestran que, a mayor fuerza de empuje, la desviación se puede controlar mejor, pero también es inadecuado la fuerza de empuje por el tipo de roca que tenemos.



Entonces para mantener una fuerza de empuje constante y adecuada, como la de 700 psi en el caso proporcionado, ayuda a reducir la desviación durante la perforación. Esto se refleja en las diferencias porcentuales más bajas en las estaciones finales.

5.4 Estimación de la velocidad y caudal de aire en la reducción de la desviación en la perforación rotopercutiva de taladros verticales en el tajo Ferrobamba, mina Bambas, Cotabambas, Apurímac 2023

Según el autor (MANUEL ALONSO, 2005)

Se utilizan las siguientes fórmulas matemáticas para la estimación de la Velocidad del aire. Aplicando ello

$$V = \sqrt{\frac{2 * P}{p}}$$

- $P = \text{Pa}$ (presión de empuje convertida).
- $p = \text{kg/m}^3$ (densidad del aire).

$$Q = v * A$$

- $V =$ (velocidad del aire calculada).
- $A = 0.01 \text{ m}^2$ (área de la sección transversal).

Tabla 16 — Resultados del caudal del aire en la reducción de la desviación en la perforación rotopercutiva de taladros verticales

Presión de empuje psi	Presión de Empuje (Pa)	Velocidad del Aire (v) (m/s)	Caudal de Aire (Q) (m³/s)
700	49518.1663	297.032589	0.02970326
700	49518.1663	297.032589	0.02970326
700	49518.1663	297.032589	0.02970326
700	49518.1663	297.032589	0.02970326

Según la estimación de la velocidad y caudal de aire influyen en la reducción, se están utilizando condiciones estandarizadas de operación en la perforación rotopercutiva de taladros verticales. Es importante tener en cuenta que la presión de empuje, la velocidad

del aire y el caudal de aire son variables críticas que pueden afectar la desviación en la perforación, el tajo Ferrobamba en la mina Bambas. Los resultados obtenidos indican una presión de empuje constante de 700 PSI, lo cual se traduce en una presión de empuje de aproximadamente 49518.1663 Pa. Con esta presión de empuje, la velocidad del aire alcanzada es de 297.032589 m/s y el caudal de aire es de 0.02970326 m³/s. esto quiere decir que por lo general no son adecuados en la reducción de la desviación. La estimación y gestión de la velocidad y el caudal de aire juegan un papel crucial en la reducción de la desviación en la perforación rotopercutiva. Los datos proporcionados indican que se están manteniendo valores adecuados para estos parámetros, lo cual es favorable para la precisión y eficiencia de las operaciones en el tajo Ferrobamba.

5.5 Estimación de la presión de torque en la reducción de la desviación en la perforación rotopercutiva de taladros verticales en el tajo Ferrobamba, mina Bambas, Cotabambas, Apurímac 2023

Con los datos de la tabla anterior hallamos el torque

Fórmula matemática por el autor

$$\text{Torque} = \frac{\text{presion de empuje} \times \text{RPM por barra}}{\text{presion de descarga}}$$



Tabla 17 — Resultados de presión de torque en la reducción de la desviación en la perforación rotopercutiva de taladros verticales

Presión de Empuje (PSI)	Presión de Descarga (PSI)	RPM	Coordenada E	Coordenada N	Coordenada Z	Torque
700	280	20	793454.739	8440860.55	3690.449	50.000
700	280	20	793453.898	8440860.55	3685.673	50.000
700	280	20	793453.097	8440859.38	3680.878	50.000
700	440	20	793452.272	8440858.17	3676.097	31.818
700	480	20	793451.449	8440856.95	3671.319	29.167
700	480	20	793450.623	8440855.74	3666.538	29.167
700	480	20	793449.799	8440854.55	3661.751	29.167
700	500	20	793448.978	8440853.38	3656.961	28.000
700	500	20	793448.17	8440852.2	3652.169	28.000
700	580	20	793447.336	8440851.02	3647.384	24.138
700	580	20	793446.487	8440849.83	3642.602	24.138
700	580	20	793445.634	8440848.65	3637.819	24.138
700	580	20	793444.792	8440847.49	3633.028	24.138
700	600	20	793443.962	8440846.37	3628.227	23.333
700	600	20	793443.109	8440845.24	3623.432	23.333
700	600	20	793442.22	8440844.12	3618.641	23.333
700	600	20	793441.326	8440843.02	3613.846	23.333
700	600	20	793440.434	8440841.91	3609.053	23.333
700	600	20	793439.57	8440840.8	3604.254	23.333
700	600	20	793438.717	8440839.72	3599.446	23.333
700	630	20	793437.842	8440838.63	3594.647	22.222
700	630	20	793436.962	8440837.52	3589.851	22.222
700	650	20	793436.084	8440836.43	3585.052	21.538
700	650	20	793435.208	8440835.33	3580.254	21.538
700	680	20	793434.324	8440834.23	3575.457	20.588
700	680	20	793433.431	8440833.12	3570.665	20.588
700	680	20	793432.541	8440832.01	3565.87	20.588

La presión de torque varía significativamente dependiendo de la presión de descarga, las presiones de descarga más altas tienden a correlacionarse con presiones de torque más bajas, sugiriendo una relación inversa, para minimizar la desviación durante la perforación rotopercutiva se tiene que aumentar la presión de descarga. los resultados de presión de torque en la reducción de desviación en la perforación, teniendo a presión de empuje de 700 Psi, 20 rpm por barra y presión de descarga 280 PSI como resultado 50.000 NM Newton-metros) momento de fuerza.

La estimación de presión de torque en la reducción de la desviación en la perforación rotopercutiva en el tajo Ferrobamba, según los resultados obtenidos se podría decir que al aumentar presión de descarga es una estrategia efectiva para la reducción de desviación.



DISCUSIONES

- La intención de esta investigación fue **determinar las clasificaciones geomecánicas y su influencia en la reducción de la desviación en la perforación rotopercutiva de taladros verticales en el tajo Ferrobamba, mina Bambas, Cotabambas, Apurímac 2023** se obtuvo una resistencia de roca más consistente de 125 MPa y el resultado con martillo smidth y se podría responder que las clasificaciones geomecánicas obtenidas con las fórmulas matemáticas de los dos autores Bieniawski y Barton, se logra como resultado de descripción es una roca regular entre los valores (60-41), obteniéndose una desviación de perforación de un 30% con un ángulo 2.58° un total 3860 m de desviación de taladros, esto significa una condición moderada y posible en el tajo de la mina las bambas.

Los resultados tienen relación con las investigaciones realizadas del autor QUESADA en las minas a tajo abierto en las minas de Chile, Canadá, Sudáfrica y otros ya que nuestro resultado al realizar cálculos con dos teorías de RMR Y Q nos resultó como roca regular.

En ese sentido cabe precisar que a medida la mina requiera perforaciones profundas y de diámetros considerables ameritara estudios detallados y toma de decisiones adecuadas de lo contrario recae en los problemas múltiples de aspecto técnico ya que los servicios y actividades de perforación, conlleva a costos de perforación elevadas y recayendo en ocasiones en penalidades e incomodidades en los prestadores o contratistas que realizan estos trabajos.

Por ello su importancia vital es estudiar y controlar las características del terreno a intervenir y con mucha razón en minas a tajo abierto ya que las dimensiones son de envergadura y diseños de gran reto en donde la ingeniería y el conocimiento suman mucho.

También el autor (Alvaro VALDES,2020) fijo en construir un modelo predictivo de la clasificación geomecánica (RMR) y cuantificar la incertidumbre de este parámetro mediante simulaciones geoestadísticas. las realizaciones permiten clasificar el dominio simulado en excelencia de roca regular o buena, con un escenario RMR promedio que varía de 50 a 63 en primera técnica y de 53 a 64 en segunda aproximación, esto permite determinar el comportamiento esperado del yacimiento. En todos los planteamientos, es poco probable encontrar una roca de baja excelencia visualizada, lo que indicaba una zonificación de menor riesgo para operaciones posteriores, El método de la simulación directa. (Método 1) proporcionan distribuciones que están ligeramente menos dispersas y tienen más continuidad a corto plazo en comparación con las simulaciones derivadas. Sin embargo, teniendo en cuenta el grado (de 0 a 100) y la disgregación de las variables RMR. el resultado



de mi investigación con dos modelos matemáticos salió entre el rango 60-41 en el RMR Y EN EL Q de Barton 10-4,0. lo que indica que la perforación Barton, podemos decir que es un tipo de roca apropiada para la Determinación de las clasificaciones geomecánicas y su influencia en la reducción de la desviación.

- La intención de esta investigación fue **estimar la velocidad de rotación mediante la reducción de la desviación en la perforación rotopercutiva de taladros verticales en el tajo Ferrobamba, mina Bambas, Cotabambas, Apurímac 2023** se obtuvo resultados usando la maquina Schramm T685WS y se perforo un total de 30 taladros luego se obtiene los resultados de la velocidad de rotación de 3.1 % y lo que indica una estabilidad en la perforación La desviación ha disminuido significativamente con la distancia perforada, lo que indica que las técnicas y parámetros de perforación, posiblemente incluyendo la velocidad de rotación, han sido ajustados adecuadamente para minimizar las desviaciones en la perforación rotopercutiva de taladros verticales en el tajo Ferrobamba.

Esta resultado guarda relación con los autores Cupi Llanos y Pari Jara (2021) en su tesis "Optimización de la utilidad mediante la reducción de la desviación en la perforación rotopercutiva de taladros horizontales de la empresa Geodrill S.A.C." tienen como objetivo principal la optimización de la utilidad de la empresa Geodrill S.A.C. mediante la reducción de la desviación en los taladros perforados, la hipótesis planteada se centró en los taladros perforados en el año 2019, buscando reducir la desviación excesiva para mejorar la utilidad de la empresa. Uno de los puntos clave en la metodología de la investigación fue la implementación de instrumentos de mayor precisión para la nivelación de la máquina de perforación, un trípode para soportar el peso de la tubería beco al inicio de la perforación y la capacitación del personal Estas medidas llevaron a una mejora significativa en la utilidad percibida de la empresa, La investigación no solo busca mejorar la eficiencia y rentabilidad de Geodrill S.A.C., sino también motivar a estudiantes y profesionales en el área de la perforación rotopercutiva. Los resultados obtenidos resaltan la importancia de la precisión y el control en los procesos de perforación para lograr una optimización efectiva de los recursos y maximizar la utilidad de las operaciones.



- El propósito de esta investigación fue **estimar la fuerza de empuje en la reducción de la desviación en la perforación rotopercutiva de taladros verticales en el tajo Ferrobamba, mina Bambas, Cotabambas, Apurímac 2023**, se investigó la estimación de la fuerza de empuje para reducir la desviación en la perforación rotopercutiva de taladros verticales. Los datos obtenidos del objetivo mostraron cómo la presión de empuje influye en la desviación durante la perforación. se observó que la presión de empuje de 700 psi produce diferentes grados de desviación y distancia recorrida, lo cual es crucial para mantener la precisión en la perforación, Las diferencias porcentuales en la desviación, que varían entre 3.3% y 29.7%, reflejan la importancia de controlar la fuerza de empuje para minimizar la desviación y mejorar la calidad de los taladros.

Este resultado guarda relación con la tesis de Altamirano Cueva (2019) titulada "Optimización del costo de perforación para aceros DTH en la mina modelo a tajo abierto, Huamachuco, 2018" aborda la optimización de los costos de perforación mediante un análisis exhaustivo de la velocidad de penetración y la desviación de perforación. En este estudio, se utilizó información de bitácoras in situ de perforadoras D245s Sandvik y se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) para comparar la efectividad de las cinco marcas de aceros DTH en dos tipos de roca con diferentes durezas (R2, R3, R4 y R5) y operaciones unitarias de perforación y voladura, donde se logró una reducción de desviación del RPM Empuje y la Fuerza que genera el equipo de perforación. destaca la importancia de seleccionar adecuadamente los materiales de perforación para optimizar los costos y reducir la desviación de perforación operacionales en minas a tajo.

- El idea de esta investigación fue **estimar la velocidad y caudal de aire en la reducción de la desviación en la perforación rotopercutiva de taladros verticales en el tajo Ferrobamba, mina Bambas, Cotabambas, Apurímac 2023** se obtuvo los resultados obtenidos mostraron cómo la presión de empuje influye en la velocidad y caudal de aire, factores críticos para minimizar la desviación en la perforación, la presión de empuje constante de 700 psi resultó en una velocidad del aire de 297.032589 m/s y un caudal de aire de 0.02970326 m³/s. Estos parámetros son fundamentales para asegurar una perforación precisa y minimizar la desviación en los taladros verticales, lo que a su vez afecta la eficiencia y efectividad de la operación minera.

Tiene relación este resultado con lo hallado por Morrillo C. (2018), El objetivo principal de Morrillo fue evaluar el rendimiento de los equipos de perforación, identificando las diversas causas que afectan su desempeño tanto operativo como mecánico. Se realizó una investigación



de las características y especificaciones de los equipos, se determinaron los tiempos de perforación y parada durante un mes del año 2018, y se identificaron factores como la velocidad de perforación, la tonelada por hora (T/h) y la perforación específica (m/T). Finalmente, se propusieron acciones y recomendaciones para mejorar el rendimiento y reducir los costos operativos. Y se centra en la evaluación del rendimiento de los equipos de perforación en una operación de extracción de caliza, utilizada como materia prima para la fabricación de cemento. Este trabajo forma parte de un requisito del plan de estudios de Ingeniería de Minas, permitiendo a los estudiantes aplicar y ampliar sus conocimientos en un entorno real de una empresa minera.

- La idea de esta investigación fue **estimar la presión de torque en la reducción de la desviación en la perforación rotopercutiva de taladros verticales en el tajo Ferrobamba, mina Bambas, Cotabambas, Apurímac 2023** se observó una disminución significativa del torque al aumentar la presión de descarga, lo cual es fundamental para mantener la precisión y la eficiencia en la perforación rotopercutiva de taladros verticales. Al ser comparado ambos estudios realizan un enfoque de controlar y reducir el torque para mejorar la efectividad de la perforación. Ramos León muestra cómo un diseño de pozo en 4 secciones puede reducir el torque en un 30%, permitiendo el uso eficiente de un taladro de workover de 1000hp. Por otro lado, el estudio en Ferrobamba demuestra cómo el ajuste de la presión de empuje y descarga puede reducir significativamente el torque, mejorando así la precisión y eficiencia de la perforación. Se podría destacar que ambos estudios aportan valiosos conocimientos y estrategias para la optimización del torque en las operaciones de perforación.

SE Tiene relación con lo investigado por Ramos León (2022) en su proyecto "Diseño de un pozo de 4 secciones para optimización de torques" aborda el desafío de reducir el torque en la perforación direccional, específicamente en el campo ESPOL01. La empresa responsable utiliza un taladro de workover de 1000hp, enfrentándose al problema de alcanzar el límite de torque necesario para la perforación efectiva. La propuesta de diseñar un pozo de 4 secciones, comparándolo con un diseño de 3 secciones, permitió evaluar la reducción del torque y la viabilidad económica del proyecto. Los resultados mostraron una reducción del torque en un 30% en el pozo de 4 secciones. Económicamente, la inversión en el pozo de 3 secciones fue de \$4'224,462, mientras que el pozo de 4 secciones costó \$4'347,445. Se observó una disminución del diámetro de 8.5" a 6.125" en más de 1000' de profundidad, lo que confirmó la viabilidad del pozo de 4 secciones con el taladro de workover propuesto.



CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- El estudio del yacimiento tajo Ferrobamba mediante la clasificación geomecánica, propiedades mecánicas del macizo rocoso y se obtuvo mediante la clasificación de RMR de Bienawski, se obtuvo valores básicos de 51Mpa, ajustado 46Mpa y condiciones secas 56Mpa. lo que corresponde a la determinación de índice de Q de Barton del macizo rocoso, de haber realizado el mapeo geomecánico se obtuvo un índice de Q de 2.89 y índice corregido de Q' de 8.79, por lo que este valor se estableció como resultado en esta investigación y el RQD promedio de 65%. según el ensayo de resistencia a la compresión uniaxial se obtuvo el valor de la resistencia de 125.58 MPa en promedio total.
- En la investigación se enfatizó los siguientes usando la maquina Schramm T685WS y se perforo un total de 30 taladros luego se obtiene los resultados de la velocidad de rotación en torno al 3,1% de la velocidad nominal de 1800 rpm, es decir 55,8 rpm, ya que este ajuste parece haber sido efectivo para minimizar las desviaciones en la perforación rotopercutiva vertical en el tajo Ferrobamba. Cualquier cambio en la velocidad de rotación deberá evaluarse cuidadosamente para asegurar la estabilidad y precisión de la perforación.
- El estudio ha determinado la estimación de la fuerza de empuje para reducir la desviación en la perforación rotopercutiva de taladros verticales. Los datos obtenidos del objetivo mostraron cómo la presión de empuje influye en la desviación durante la perforación. se observó que la presión de empuje de 700 psi produce diferentes grados de desviación y distancia recorrida, lo cual es crucial para mantener la precisión en la perforación, Las diferencias porcentuales en la desviación, que varían entre 3.3% y 29.7%, esto quiere decir el 3.3% es 42.06 kg-f/cm² y el 29.7% es 378.53 kg-f/cm². Por lo tanto, reflejan



la importancia de controlar la fuerza de empuje para minimizar la desviación y mejorar la calidad de los taladros.

- La fuerza de empuje, nos indica que al ser aplicada tiene un impacto no muy significativo en la desviación de la perforación. Las desviaciones y las distancias proporcionadas muestran que, a mayor fuerza de empuje, la desviación se puede controlar mejor, pero también es inadecuado la fuerza de empuje por el tipo de roca que tenemos.

los resultados obtenidos mostraron que la presión Entonces para mantener una fuerza de empuje constante y adecuada, como la de 700 psi en el caso proporcionado, ayuda a reducir la desviación durante la perforación. Esto se refleja en las diferencias porcentuales más bajas en las estaciones finales.

- La presión de torque es desfavorable significativamente dependiendo de la presión de descarga, Las presiones de descarga más altas tienden a correlacionarse con presiones de torque más bajas, sugiriendo una relación inversa, para poder minimizar la desviación durante la perforación rotopercutiva se tiene que aumentar la presión de descarga. los resultados de presión de torque en la reducción de desviación en la perforación, teniendo a presión de empuje de 700 Psi, 20 rpm por barra y presión de descarga 280 PSI como resultado 50.000 NM (Newton-metros).

La estimación de presión de torque en la reducción de la desviación en la perforación rotopercutiva en el tajo Ferrobamba, según los resultados obtenidos se podría decir que al aumentar presión de descarga es una estrategia efectiva para la reducción de desviación. Para la selección de los accesorios de perforación es de suma importancia el estudio de la mecánica de rocas y además la geotecnia ya que tiene directa relación a la capa a perforación y estimar esta caracterización anticipadamente hace sumar mucho y tomar la mejor decisión y sobre todo escoger técnicamente el accesorio correcto de brocas de barras de perforación y además influenciar en los otros parámetros como equipo apropiado, personal capacitado, dirección técnica adecuada y entre otros.



6.2 Recomendaciones

- Se recomienda antes de realizar cualquier tipo de investigación minera es muy importante estudiar las propiedades mecánicas ya sean físicas del área a desarrollarse. la caracterización del macizo rocoso en las capas o los estratos de la roca su estimación anticipada es importante ya que esta retrae toma de sesiones importantes y correctas ejecuciones de actividades de perforación.

Se recomienda la buena supervisión y contante a cada metraje de perforación y así estar pendiente a las anomalías que podría presentarse y momento de la ejecución de la perforación, siempre es espíritu de investigar sumara en esta causa.

- Se recomienda que los parámetros de perforación sean acordes a la estimación y sincerado los estratos a intervenir esta provista por la compañía su información de estudio de geomecánica talvez está realizada mediante la perforación diamantina realizada anteriormente y no siendo suficiente esta información el control geomecánica es importante así en un momento en la no requiera realizar ajustes y otros aspectos de toma de decisiones respecto a la ejecución.

Se recomienda continuar monitoreando y ajustando la velocidad de rotación según sea necesario para mantener la baja desviación observada en las distancias más largas y evaluar cualquier anomalía para asegurar una perforación precisa y eficiente.

- Se recomienda implementar las siguientes medidas: Monitoreo Continuo y Ajuste Dinámico de la presión de empuje - Implementar sistemas de monitoreo continuo que permitan ajustar la presión de empuje en tiempo real durante las operaciones de perforación. Esto ayudará a mantener la presión óptima para minimizar el torque y reducir la desviación, mejorando la precisión de la perforación.
- Se recomienda monitorizar y Controlar Automáticamente la Velocidad y Caudal de Aire y también Implementar sistemas avanzados para buen control que permitan ajustar automáticamente la velocidad y el caudal de aire en tiempo real durante las operaciones de perforación. Estos sistemas pueden utilizar sensores y algoritmos para optimizar continuamente las condiciones de perforación y reducir la desviación.
- Se recomienda la Implementación de Tecnología de Reducción de Torque y también utilizar dispositivos y herramientas específicamente diseñados para la reducción del torque, como estabilizadores y subs de torque. Por lo cual estas herramientas podrían ayudar a equilibrar y distribuir la fuerza de manera más uniforme, mitigando el riesgo de desviaciones.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALTAMIRANO CUEVA, Manuel Hilder. 2019. “optimización del costo de perforación para aceros dth en la mina modelo a tajo abierto, huamachuco 2018. trujillo : s.n.pag.32

ALVARADO VALDES, Fabiola. 2020. Modelamiento geoestadístico de la clasificación geomecánica de bieniawski (RMR). Santiago de Chile : s.n. pág. 1.

ALVARES RAMOS, Maykol Barklin. 2023. control de la desviación de taladros largos en tajeos de producción por sub level caving, en la compañía minera volcan-up.san cristobal. pág. 21.

AMARO MONTAYA, Gustavo Cristian. 2022. clasificación geomecánica para mejorar diseños de mallas de perforación y voladura en labores de desarrollo minera aurífera retamas s.a.2022. págs. 8,10. 84-96426-71-8.

ARANA CABRERA, Jhonny Alex y CUEVA ROMERO, Jimmy Gerardo. 2019. Caracterización geomecánica del macizo rocoso y su influencia en el tipo de sostenimiento en el nivel 05 de la mina subterránea paredones, san pablo, Cajamarca,2019. Cajamarca : s.n. pág. 15.

Arango Marcañaua, Eber. 2020. Elección del tipo de sostenimiento requerido por cambio del dominio estructural en la construcción de nuevo pique yauricocha. Huancayo : s.n.

BEHAR RIVERO, Daniel Salomon. 2008. Metodología de la Investigación. 2008. 9789592127837.

Behar, Daniel Salomón. 2008. Metodología de la investigación. Bogotá, Colombia : Shalom, 2008. pág. 94. ISBN: 978-959-212-783-7.

BENAVENTE, David, Bernabeu , Ana y CAÑÁVERAS, Juan. 2004. Estudio de propiedades físicas de las rocas. Departamento de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente, Universidad de Alicante. Valencia : s.n. pág. 65.

Bingham. 1964. rotación paleomagnéticas en sistemas de pliegues . 1964

Bourgoyne y Young . 1974. MANUAL DE OPERACIONES DE perforación. 1974.

BRAJA M., Das. 2015. Fundamento de ingeniería geotécnica. s.l. : GENGAGE Learning,



CALAMA NINA, Alexander. 2021. Evaluacion geomecanica para la seleccion del tipo de sostenimiento en la construccion de la rampa-440, en la mineria aurifera cuatro de enero S.A. (MACDESA)-Arequipa. Cusco : s.n.

CUPI LLANOS, Julio & PARI JARA, Ricardo . 2021. “Optimización de la utilidad mediante la reducion de kla desviacion en la perforacion rotopercutiva de taladros horizontales . Arequipa : s.n.

CUYUBAMBA HILARIO, Jean paul. 2019 . zonificacion geomecanica para optimizar la voladura .

DAS, Braja M. 2015. Fundamentos de Ingenieria Geotecnica. Cuarta edicion. s.l. : CENGAGE Learning.

DIAZ CHOQUE, Manuel Alejandro. 2023. analisis y propuesta para la reduccion de la desviacion de los taladros de sondaje en el proceso de perforacion diamantina en un yacimiento cuprifero al sur del peru

EGG, Ezequiel Ander. 2011. Aprender a investigar. Buenos Aires : Brujas, 2011. 9789875912717.

FLORES CHAVEZ, Guillermo Jhoel. 2021. Caracterizacion geomecanica del macizo rocoso para determinar el tipo de rocoso para determinar el tipo de sostenimiento en la consecion minera subterranea zenit 1, distrito san luis. Cajamarca - Peru : s.n.

GONZALES DE VALLEJO, Luis. 2002. Ingenieria Geologica. Madrid : Pearson, 2002. pág. 711. 84-205-3104-9.

HERNANDEZ SAMPIERI, Roberto. 2014. Metodologia de la investigacion. Mexico : s.n., 2014. 9781456223960.

HOYOS PATIÑO, Fabian. 2012. Getecnia diccionario basico. Medellin : s.n.

IÑIGUEZ TORAL, Diana Camila. 2020. Velocidad de Corte en Rocas y su relacion con la Resistencia a la Compreseion Simple. Cuenca - Ecuador : s.n.

LERMA GONZALES, Hector Daniel. 2009. Metodologia de la investigacion. Bogota : s.n., 2009. 9789586486026.



LLAIQUE NUÑONCCA, Angel Antonio y SANCHEZ GUEVARA, William Orlando. 2015. Determinacion del costo total de perforacion para optimizar esta operacion unitaria en mina modelo a tajo abierto, Cajamarca-Peru, 2015. Universidad Privada del Norte. Cajamarca

LLAIQUE ÑUÑONCA Y SANCHEZ GUEVARA . 2015. estimacion de costos totaño de perforacion para optimizar esta operacion unitaria en mina modelo a tajo abierto,cajamarca peru. cajamarca

MANUEL ALONSO, jose. 2005. manual de perforación y sus aplicaciones industriales.

MORRILLO C, Jeniferc. 2018. Control de operaciones de perforación de la Cantera San Bernardo,municipio tomasplanta cementero lafargue. VENEZUELA

NIETO CALLE, Lenin. 2019. caracterizacion geomecanica del macizo rocoso para el adecuado sostenimiento de la mina pomperia -puno

ÑAUPAS PAITAN, Humberto. 2014. Metodologia de la investigacion . Bogota : s.n., 2014. 9789587621884.

OCHOA QUESADA, Alexander. 2018. Propuesta de una clasificación geomecánica para la evaluación del comportamiento del macizo rocoso en el frente de arranque del Tunel Levisa-Mayari Tramo IV. Moa :

RAMIREZ OYANGUREN, Pedro y ALEJANO MONGE, Leandro. 2004. Mecanica de rocas : fundamentos e ingenieria de taludes. Madrid : OpenAire.

Ramirez Oyanguren, Pedro y Alejano Monge, Leandro. 2004. Mecanica de Rocas: Fundamentos e ingenieria de Taludes.

RAMIREZ OYANGUREN, Pedro y ALEJANO MONGE, Leandro. 2004. Mecanica de Rocas: Fundamentos e Ingenieria de Taludes.

RAMOS LEON, Patricia Glenda. 2022. “Diseño de un pozo de 4 secciones para optimización de torques”. guayaquil :

RIVERA PEREZ, Franky. 2017. Reduccion de los costos totales e incrementodel rendimiento en la perforacion rotativa en una Mina Open Pit. Universidad Catolica del Peru. Lima : s.n.



RODRIGUEZ, Javier Alonso. 2007. Ingenieria Geologica: Caracterizacion de macizos rocosos. Oviedo : s.n., 2007. pág. 14.

RODRIGUEZ, JAVIER Alonso. 2007. Ingenieria geologica: Caracterizacion de macizos rocosos. Madrid

SAEZ, Esteban. 2010. Fundamentos de Geotecnia. s.l. : ICE.

SALAZAR ISLA , Edgar Samir. 2020. Evaluacion geomecanica para determinar el tipo de sostenimiento en tajeos de explotacion por el metodo de corte y relleno ascendente Unidad Minera Yauricocha-Sociedad Minera Corona S.A. Huancayo

TACURI GAMBOA, Amilcar. 2017. Evaluacion geomecanica del macizo rocoso para la aplicacion del sostenimiento en la mina hercules-cia minera Lincuna s.a. Ayacucho

THOMAS CABRERA, Carlos Enrique. 2014. Estudio comparativo entre requerimientos de soporte y fortificacion de tuneles definidos segun metodos empiricos de clasificaciones geomecanicas versus metodos analiticos y numericos. Santiago de Chile

VALDIVIA DONAYRE, Alex Fredy. 2020. Estimacion del comportamiento geomecanico, mediante metodo de kriging para el macizo rocoso del cerro callacpuma-sector huayrapongo,2020. Cajamarca-Peru

ZAPANA MAMANI, Reiser. 2020. Diseño de sostenimiento del tunel central Nv. 500 de la Minera Ana Maria. Arequipa : s.n. pág. 30.



ANEXOS



Anexo 1
Tabla 9 — Matriz de consistencia

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
Problema general ¿Como son las clasificaciones geomecánicas y su influencia en la reducción de la desviación en la perforación rotopercutiva de taladros verticales en el tajo Ferrobamba, mina Bambas, Cotabambas, Apurímac 2023?	Objetivo general Determinar las clasificaciones geomecánicas y su influencia en la reducción de la desviación en la perforación rotopercutiva de taladros verticales en el tajo ferrobamba, mina Bambas, Cotabambas, Apurímac 2023	Hipótesis general Las clasificaciones geomecánicas influyen en la reducción de la desviación en la perforación rotopercutiva de taladros verticales en el tajo ferrobamba, mina Bambas, Cotabambas, Apurímac 2023	V1: Reducción de la desviación en la perforación rotopercutiva V2: Clasificaciones geomecánicas	D1: Velocidad de rotación D2: Fuerza de empuje D3: Velocidad y caudal de Aire D4: Presión de torque	I1: RPM I2: PSI I3: RPM I4: PSI
Problema específico ¿Cuál es la velocidad de rotación en la reducción de la desviación en la perforación rotopercutiva de taladros verticales en el tajo ferrobamba, mina Bambas, Cotabambas, Apurímac 2023? ¿Cuál es la fuerza de empuje en la reducción de la desviación en la perforación rotopercutiva de taladros verticales en el tajo ferrobamba, mina Bambas, Cotabambas, Apurímac 2023? ¿Cuál es la velocidad y caudal de aire en la reducción de la desviación en la perforación rotopercutiva de taladros verticales en el tajo ferrobamba, mina Bambas, Cotabambas, Apurímac 2023? ¿Cuál es la presión de torque en la reducción de la desviación en la perforación rotopercutiva de taladros verticales en el tajo ferrobamba, mina Bambas, Cotabambas, Apurímac 2023?	Objetivos específicos Estimar la velocidad de rotación mediante la reducción de la desviación en la perforación rotopercutiva de taladros verticales en el tajo Ferrobamba, mina Bambas, Cotabambas, Apurímac 2023 Estimar la fuerza de empuje en la reducción de la desviación en la perforación rotopercutiva de taladros verticales en el tajo ferrobamba, mina Bambas, Cotabambas, Apurímac 2023 Estimar la velocidad y caudal de aire en la reducción de la desviación en la perforación rotopercutiva de taladros verticales en el tajo ferrobamba, mina Bambas, Cotabambas, Apurímac 2023 Estimar la presión de torque en la reducción de la desviación en la perforación rotopercutiva de taladros verticales en el tajo ferrobamba, mina Bambas, Cotabambas, Apurímac 2023	Hipótesis específicas La velocidad de rotación en inadecuado en la reducción de la desviación en la perforación rotopercutiva de taladros verticales en el tajo ferrobamba, mina Bambas, Cotabambas, Apurímac 2023 La fuerza de empuje es desfavorable en la reducción de la desviación en la perforación rotopercutiva de taladros verticales en el tajo ferrobamba, mina Bambas, Cotabambas, Apurímac 2023 La velocidad y caudal de aire no son adecuados en reducción de la desviación en la perforación rotopercutiva de taladros verticales en el tajo ferrobamba, mina Bambas, Cotabambas, Apurímac 2023 La presión de torque es favorable en la reducción de la desviación en la perforación rotopercutiva de taladros verticales en el tajo ferrobamba, mina Bambas, Cotabambas, Apurímac 2023		D1: Clasificación geomecánica de RMR de Bieniawski D2: Clasificación geomecánica de Q de Barton	I1: Muy malo I2: Malo I3: Medio I4: Bueno I5: Excelente I1: Excepcionalmente buena I2: Extremadamente buena I3: Muy buena I4: Buena I5: Regular I6: Pobre I7: Muy pobre I8: Extremadamente pobre I4: Excepcionalmente pobre

Anexo 2

Panel Fotográfico



Figura 5 — Vista panorámico del tajo Ferrobamba desde mirador Mafer.



Figura 6 — Plataforma y perforación rotopercutiva



Figura 7 — Equipo de perforación en jornada de perforación



Figura 8 — Maquina de perforacion Schramm TH685 en plataforma de perforacion Tajo Ferrobamba Fase5W



Figura 9 — Broca de botones para la perforacion rotopercutiva



Figura 10 — Control de parametros de perforacion en el tajo ferrobamba Fase5E



Figura 11 — Equipo de perforacion Schramm TH685WS Fase 3 tajo ferrobamba



Figura 12 — Flota de equipos de perforacion AK Drilling International U.M Las Bambas



Figura 13 — Ensayo de compresion uniaxial en el laboratorio de mecanica de rocas de la universidad nacional micaela bastidas de Apurimac



Figura 14 — Rotura de la muestra siendo el diametro de la muestra 54 mm

Longitud de variante que comprende en promedio 125 mm con una fuerza de ruptura en promedio de 304 kN siendo tipo de roca Andesita resultando una resistencia a compresión simple en promedio de 132.60 MPa.



Figura 15 — Vista de la ejecucion de ensayos en el laboratorio

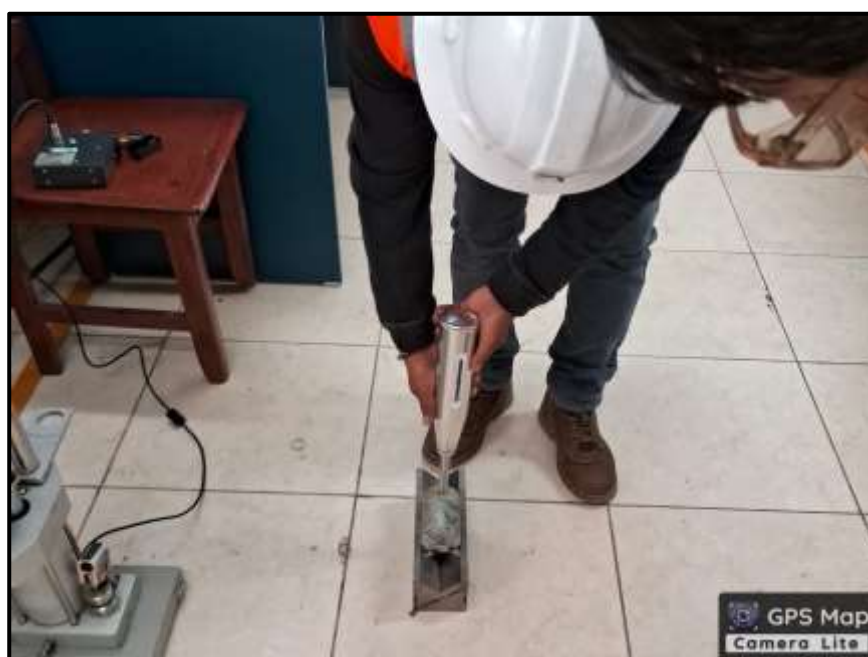


Figura 16 — Vista de la ejecucion de ensayos en el laboratorio uso del martillo smith

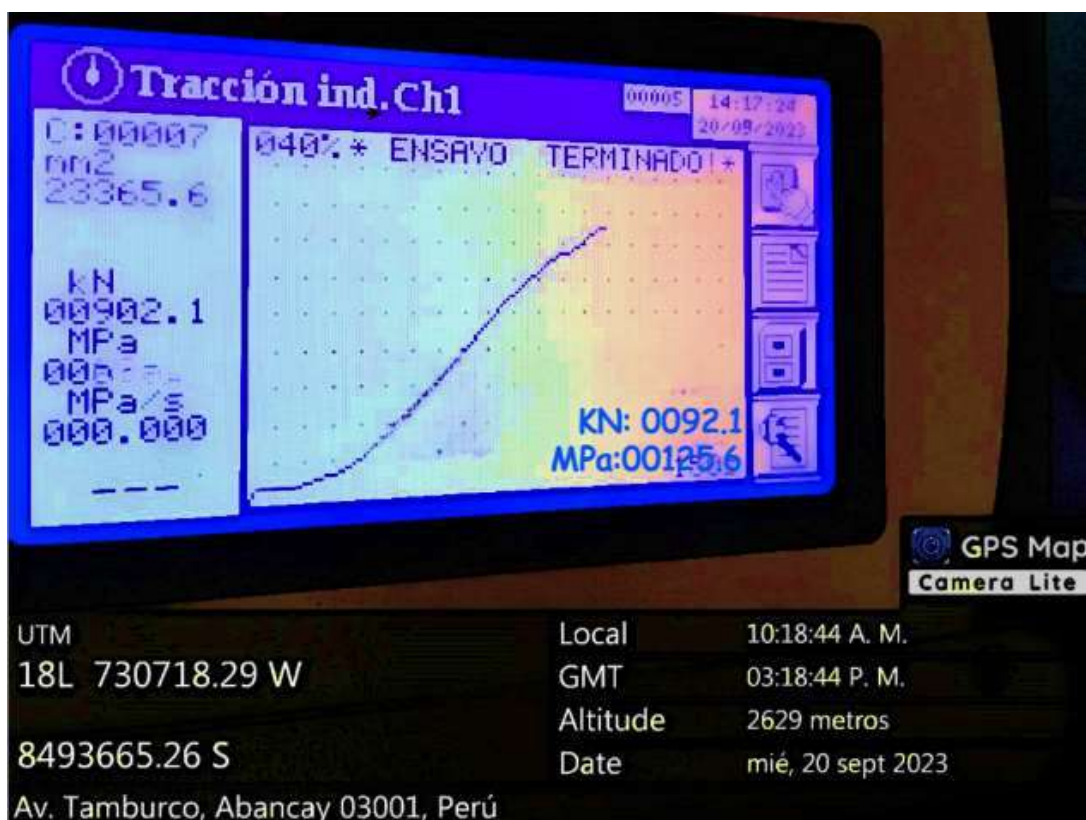


Figura 17 — Vista de los resultados de carga en la ocasióno el corte de la muestra

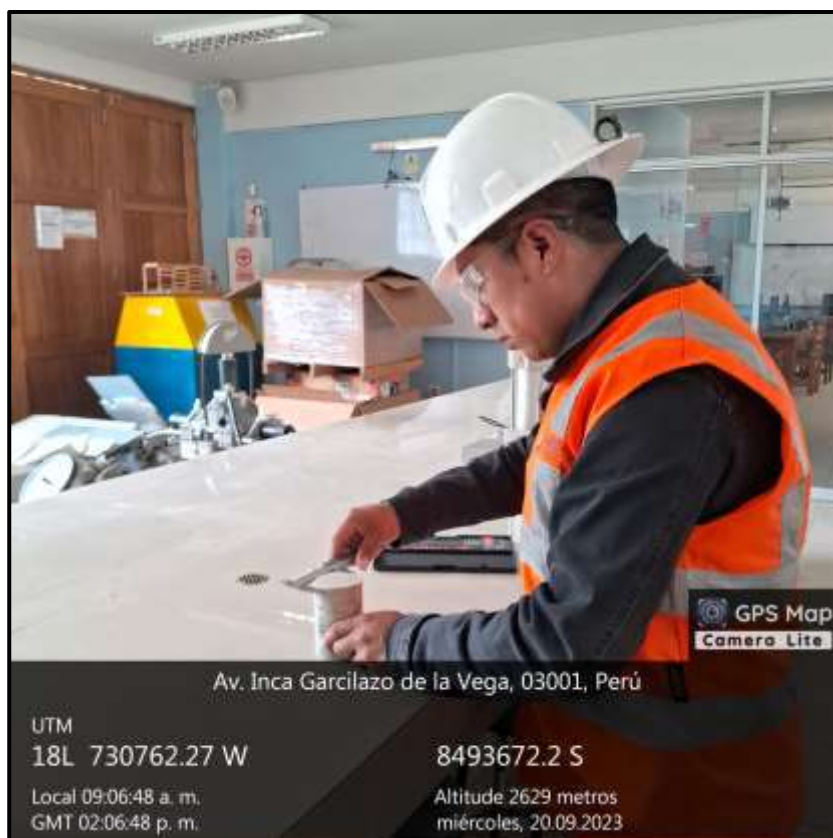


Figura 18 — Vista de ensayos en el laboratorio



Figura 19 — Vista de pesado de la muestra usando la balanza electronica



Figura 20 — Vista de pesado de la muestra usando la balanza electronica

Anexo 3 Resultados de ensayos



UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC

ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS
LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS Y SUELOS



PRESENTACIÓN DE RESULTADOS REALIZADOS EN LABORATORIO

A) ENSAYOS LA COMPRESION SIMPLE O UNIAXIAL

Normas sugeridas por ISRM (International Society for Rock Mechanics)

INFORME : L.M.R. UNAMBA -2023
SOLICITANTE : LELIS EDILBERTO CHOQUENEIRA ESPERILLA
PROYECTO : "CLASIFICACIONES GEOMECÁNICAS Y SU INFLUENCIA EN LA REDUCCIÓN DE LA DESVIACIÓN EN LA PERFORACIÓN ROTOPERCUTIVA DE TALADROS VERTICALES EN EL TAJO FERROBAMBA, MINA BAMBAS, COTABAMBAS, APURÍMAC 2023"
UBICACIÓN : TAJO FERROBAMBA , MINA BAMBAS
FECHA : 20 DE SETIEMBRE DEL 2023
MUESTRAS : TRES GRUPOS CON CODIGOS M-1,M-2, M-3 y M-4

ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESION UNIAXIAL

ENSAYOS DE LA RESISTENCIA A COMPRESION UNIAXIAL					
DOMINIO EXTRACTURAL 01					
Nº DE MUESTRA	LITOLOGIA	DIAMETRO (mm)	LONGITUD (mm)	CARGA (P) (KN)	C (Mpa)
M-1	ANDESITA	54	108	317.25	138.52
M-2	ANDESITA	54	120	315.90	137.93
M-3	ANDESITA	54	135	297.50	129.90
M-4	ANDESITA	54	135	284.10	124.05
PROMEDIO					132.60
DOMINIO EXTRACTURAL 02					
Nº DE MUESTRA	LITOLOGIA	DIAMETRO (mm)	LONGITUD (mm)	CARGA (P) (KN)	C (Mpa)
M-1	ANDESITA	54	120	291.30	127.19
M-2	ANDESITA	54	135	319.91	139.68
M-3	ANDESITA	54	136	310.57	135.61
M-4	ANDESITA	54	134	270.12	117.94
PROMEDIO					130.11
DOMINIO EXTRACTURAL 03					
Nº DE MUESTRA	LITOLOGIA	DIAMETRO (mm)	LONGITUD (mm)	CARGA (P) (KN)	C (Mpa)
M-1	ANDESITA	54	120	316.10	138.02
M-2	ANDESITA	54	125	318.62	139.12
M-3	ANDESITA	54	135	214.35	93.59
M-4	ANDESITA	54	135	195.60	85.41
PROMEDIO					114.04
PROMEDIO TOTAL					125.58

Dr. Leoncio T. Carrasco Carrero
DOCENTE

Av. Garcilazo de la Vega S/N Tamburco - Abancay - Apurímac

Figura 21 — Ensayo a la compresión simple



Las propiedades físicas de la roca, los ensayos de laboratorio

Su determinación se basó en el establecimiento del peso seco, peso saturado, y el volumen externo de las muestras rocosas.

Para secar las muestras, se colocaron éstas dentro de un horno ventilado a una temperatura de 105°C; para saturarlas, se sumergieron en agua destilada.

Llevando un registro diario de los pesos con una precisión de 0.01 gr., los pesos seco y saturado se obtuvieron cuando la diferencia entre dos pesadas sucesivas no excedía de 0.1 gr., lo cual fue logrado en aproximadamente 48 horas.

Pesos saturados

Peso saturado de la muestra 1=108.34 gr

Peso saturado de la muestra 2=110.31 gr

Peso saturado de la muestra 3=107.16 gr

Pesos secos:

Peso seco de la muestra 1=107.29 gr

Peso seco de la muestra 2=109.25 gr

Peso seco de la muestra 3=106.15 gr

Volumen de muestras:

Volumen de la muestra 1 = 39.57 cm³

Volumen de la muestra 2 = 39.13 cm³

Volumen de la muestra 3 = 39.25 cm³

Con estos datos se puede hallar la densidad de las muestras

$$\gamma = \frac{\text{Peso Seco}}{\text{Volumen}} \text{ (gr/cm}^3\text{)}$$

Volumen

$$\text{Densidad M1} = 107.29 \text{ gr} / 39.57 \text{ cm}^3 = 2.71 \text{ (gr/cm}^3\text{)}$$

$$\text{Densidad M2} = 109.35 \text{ gr} / 39.1 \text{ cm}^3 = 2.79 \text{ (gr/cm}^3\text{)}$$

$$\text{Densidad M3} = 106.15 \text{ gr} / 39.35 \text{ cm}^3 = 2.70 \text{ (gr/cm}^3\text{)}$$



Ahora tenemos que calcular el **peso específico aparente**

$$P.E.A. = \frac{\text{Peso Seco} \times 9,81 \text{ (KN/m}^3\text{)}}{\text{Volumen}}$$

$$P.E.A. M1 = \frac{107.29 \text{ gr} \times 9.81 \text{ (KN/m}^3\text{)}}{39.57 \text{ cm}^3} = 26.60 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$P.E.A. M2 = \frac{109.25 \text{ gr} \times 9.81 \text{ (KN/m}^3\text{)}}{39.13 \text{ cm}^3} = 27.39 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$P.E.A. M3 = \frac{106.15 \text{ gr} \times 9.81 \text{ (KN/m}^3\text{)}}{39.35 \text{ cm}^3} = 26.46 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

Promedio: 26.82 redondeando = 27 KN/m³

Con estos datos obtenidos se puede hallar

porosidad aparente

$$P.a = \frac{\text{Peso saturado} - \text{Peso seco}}{\gamma W \times \text{Volumen}} \times 100 \text{ (\%)}$$

$$P.a M1 = \frac{108.34 \text{ gr} - 107.29 \text{ gr}}{1 \times 39.57 \text{ cm}^3} \times 100 \text{ (\%)} = 2.65 \text{ \%}$$

$$P.a M2 = \frac{110.31 \text{ gr} - 109.25 \text{ gr}}{1 \times 39.13 \text{ cm}^3} \times 100 \text{ (\%)} = 2.71 \text{ \%}$$

$$P.a M3 = \frac{107.16 \text{ gr} - 106.15 \text{ gr}}{1 \times 39.35 \text{ cm}^3} \times 100 \text{ (\%)} = 2.57 \text{ \%}$$

Cálculo de absorción

$$P.a = \frac{\text{Peso saturado} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}} \times 100 \text{ (\%)}$$

$$Abs M1 = \frac{108.34 \text{ gr} - 107.29 \text{ gr}}{107.29 \text{ gr}} \times 100 \text{ (\%)} = 0.98 \text{ \%}$$



$$\text{Abs M2} = \frac{110.31 \text{ gr} - 109.25 \text{ gr}}{109.25 \text{ gr}} \times 100 (\%) = 0.97 \%$$

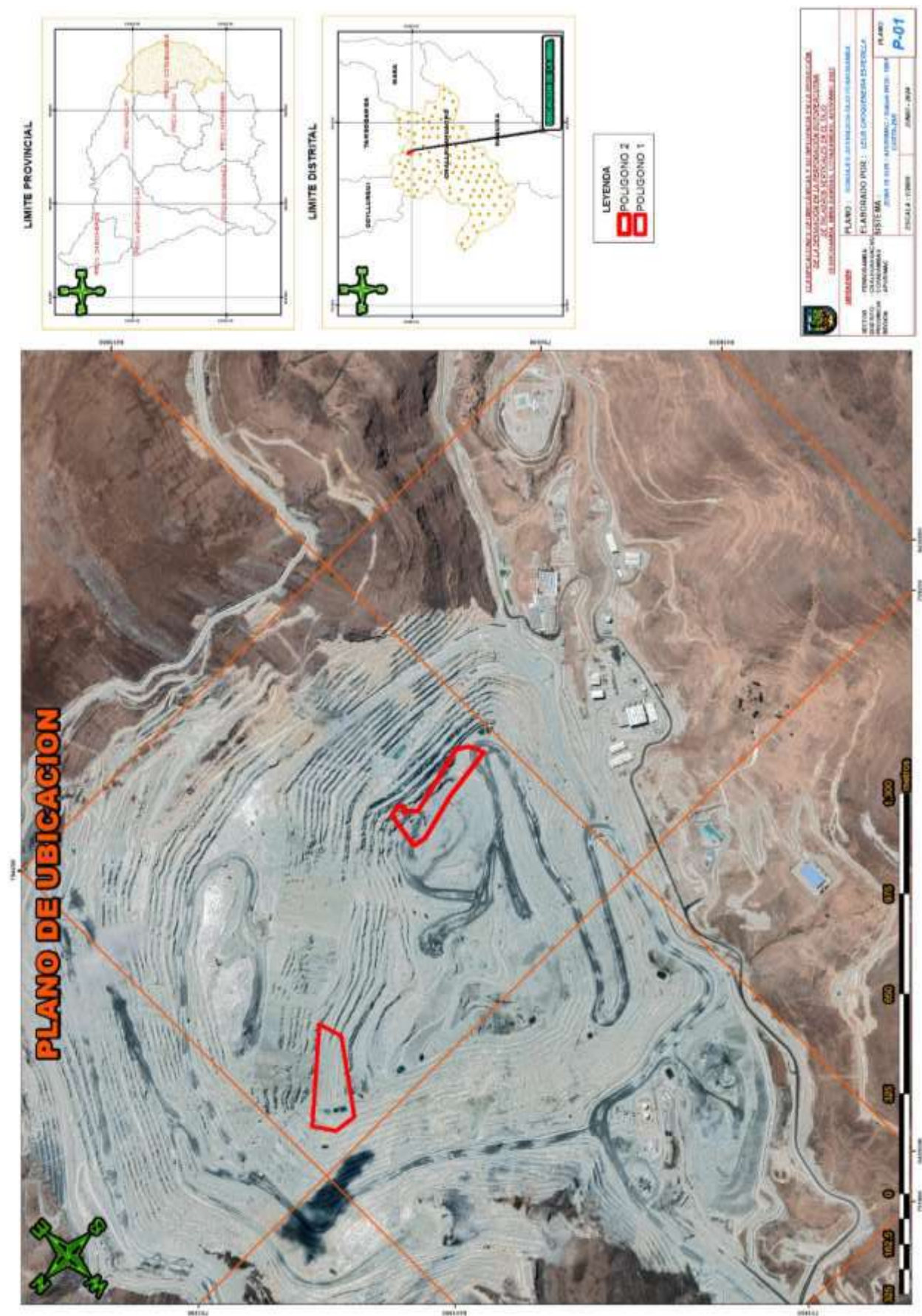
$$\text{Abs M3} = \frac{107.16 \text{ gr} - 106.15 \text{ gr}}{106.15 \text{ gr}} \times 100 (\%) = 0.95 \%$$

Resumen de los cálculos de propiedades físicas de la roca

Tabla 10 — Resumen de resultados de propiedades físicas de la roca

Peso saturado (gr)	Peso seco (gr)	Volumen (cm3)	Densidad gr/cm ³	P.E.A KN/m3	P.A %	Absorción %
108.34	107.29	39.57	2.71	26.60	2.65 %	0.98 %
110.31	109.25	39.13	2.79	27.39	2.71 %	0.97 %
107.16	106.15	39.35	2.70	26.46	2.57 %	0.95 %
PROMEDIO			2.73	26.82	2.64 %	0.97 %

Repositorio Institucional - UNAMBA Perú



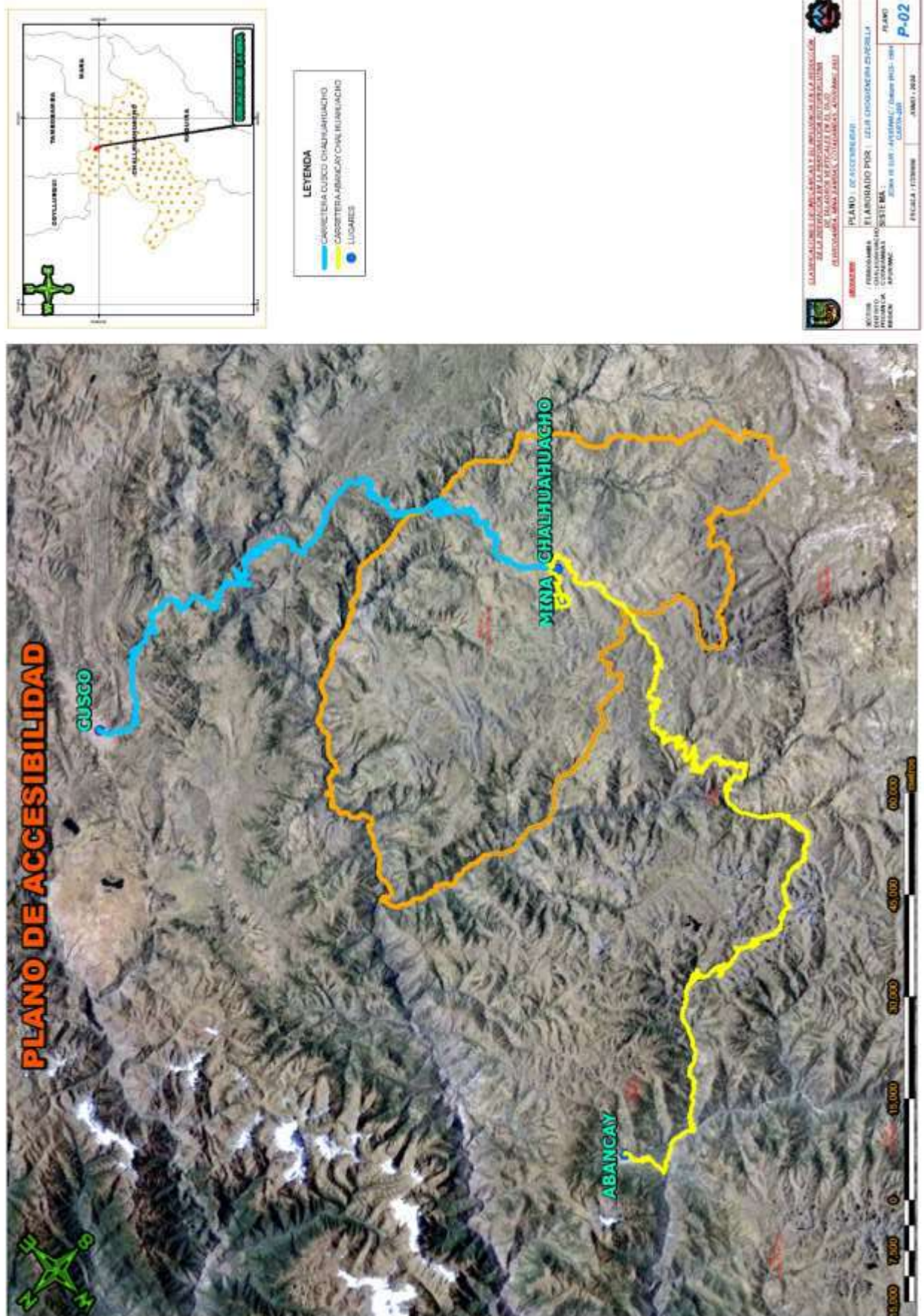


Figura 23 — Plano de accesibilidad

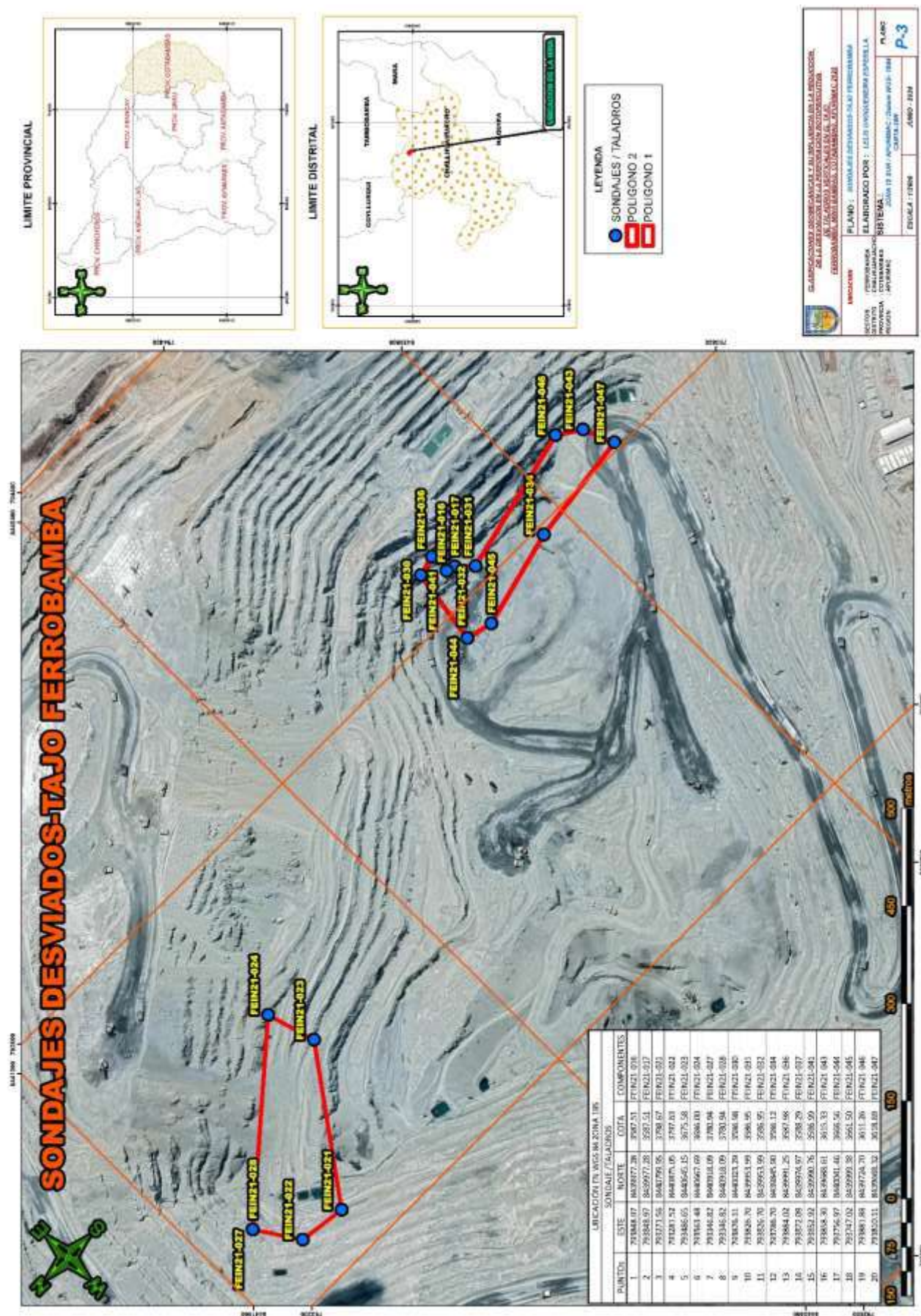


Figura 24 — Plano de localización de la mina



UNIVERSIDAD NACIONAL
MICAELA BASTIDAS
DE APURIMAC

Reconocida por SUNEDU

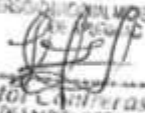


CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

Nº 097-2024

La Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, a través de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería declara que, la Tesis intitulada **“Clasificaciones geomecánicas y su influencia en la reducción de la desviación en la perforación rotopercutiva de taladros verticales en el tajo Ferrobamba, mina Bambas, Cotabambas, Apurímac 2023”**, presentado por el Bach. Lelis Edilberto Choqueneira Esperilla, para optar el Título de Ingeniero de Minas; ha sido sometido a un mecanismo de evaluación y verificación de similitud, a través del Software Turnitin, siendo el índice de similitud **ACEPTABLE de (22%)** por lo que, cumple con los criterios de originalidad establecidos por la Universidad.

Abancay, 14 de junio del 2024



UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURIMAC

Dr. Lintor Canteras Salas

DIRECTOR DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA

C. c.
Archivo
REG. Nº 383

Figura 25 — Constancia de Originalidad

