

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS

**EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA LA ELECCIÓN DEL MÉTODO DE
EXPLOTACIÓN DE LAS ARENISCAS CUARZOSAS PERTENECIENTE A LAS
FORMACIONES CHIMÚ Y FARRAT COMO MINERALES INDUSTRIALES.
ZONA DE PARIAMARCA - CRUZ BLANCA**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

Autor:

Bach. VÁSQUEZ MACEDO EDERSON MICHAEL

Asesor:

Dr. Ing. LAGOS MANRIQUE ALEJANDRO CLAUDIO

Cajamarca – Perú

2024

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

1. Investigador : EDERSON MICHAEL VÁSQUEZ MACEDO
DNI : 71261529
Escuela Profesional : INGENIERÍA DE MINAS
2. Asesor : ALEJANDRO CLAUDIO LAGOS MANRIQUE
Facultad : INGENIERÍA
3. Grado académico o título profesional
 Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor
4. Tipo de Investigación:
 Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
 Trabajo académico
5. Título de Trabajo de Investigación:
EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA LA ELECCIÓN DEL MÉTODO DE EXPLOTACIÓN DE LAS ARENISCAS CUARZOSAS PERTENECIENTE A LAS FORMACIONES CHIMÚ Y FARRAT COMO MINERALES INDUSTRIALES. ZONA DE PARIAMARCA - CRUZ BLANCA
6. Fecha de evaluación: 24 DE SETIEMBRE DE 2024
7. Software antiplagio: TURNITIN URKUND (OURIGINAL) (*)
8. Porcentaje de Informe de Similitud: 16%
9. Código Documento: oid:3117:384848890
10. Resultado de la Evaluación de Similitud:
 APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 25 DE SETIEMBRE DE 2024



Ing. Alejandro C. Lagos Manrique

FIRMA DEL ASESOR
Alejandro Claudio Lagos Manrique
DNI: 09224934



Firmado digitalmente por:
FERNANDEZ LEON Yvonne
Katherine FAU 20148258601 soft
Motivo: Soy el autor del
documento
Fecha: 25/09/2024 13:18:39-0500

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI

* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023

AGRADECIMIENTO

Este trabajo de tesis, ha sido una realidad gracias al apoyo incondicional de mis señores padres, mi esposa e hijo Anthuan, hermanos y demás amigos incondicionales, a la Universidad Nacional de Cajamarca, a la Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas y a todos mis docentes.

Un agradecimiento especial a mi asesor, el Dr. Alejandro Claudio Lagos Manrique, por sus sugerencias y correcciones en el presente trabajo de investigación.

DEDICATORIA

A mis señores padres Luis Vásquez Balladares y Rocío Macedo Vega por darme la educación que tengo y por su comprensión y apoyo durante mi etapa difícil como estudiante en la Universidad Nacional de Cajamarca (UNC) y en todo el transcurso de mi vida.

A mi esposa Leticia y a mi hijo Anthuan, por ser el motivo principal que me incentiva a cumplir con mis metas y proyecciones hacia el futuro.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
AGRADECIMIENTO.....	i
DEDICATORIA.....	ii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II	3
MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS.....	3
2.2. BASES TEÓRICAS.....	6
2.2.1. Macizo Rocoso.....	6
2.2.2. Propiedades físicas de las rocas.....	6
2.2.2.1. La resistencia uniaxial.....	6
2.2.3. Discontinuidades del macizo rocoso	8
2.2.3.1. Tipos de discontinuidades	9
2.2.4. Caracterización geomecánica	10
2.2.4. Rock Quality Designation (RQD).....	12
2.2.5. Calidad del Macizo Rocoso (RMR)	14
2.2.6. Geological Strength Index (GSI).....	16
2.2.7. Criterios de resistencia en macizos rocosos	18

	Pág.
2.2.7.1. Criterio de Mohr – Coulomb	19
2. 2. 7. 2. Criterio de Hoek y Brown.....	20
2.2.8. Métodos de explotación en minería.....	22
2.2.8.1. Importancia de la selección del método de explotación	22
2.2.8.2. Definición de “Método Minero”	22
2.2.9. Métodos mineros y sistemas de explotación a cielo abierto.....	23
2.2.9.1. Cortas.....	23
2.2.9.2. Descubiertas	24
2.2.9.3. Terrazas	24
2.2.9.4. Graveras.....	24
2.2.9.5. Canteras.....	24
2.2.9.5.1. Clasificación de los tipos de explotaciones de canteras.....	25
2.2.9.5.2. Diseño de explotaciones de cantera.....	26
2.2.9.5.3. Parámetros para el diseño de una cantera.....	27
2.2.9.5.4. Explotación de canteras en laderas.....	29
2.2.10. Estabilidad de taludes	30
2.2.11. Minerales Industriales.....	31
2.2.12. Arena de sílice.....	32
2.2.12.1. Usos de la arena de sílice	33
2.2.12.2. Fabricación del vidrio a partir de la arena de sílice.....	33
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	35
CAPÍTULO III	37
MATERIALES Y MÉTODOS	37
3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	37
3.2. ACCESIBILIDAD	38
3.3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	39

	Pág.
3.3.1. Tipo, nivel, diseño y método de la investigación	39
3.3.1.1. Tipo de investigación.....	39
3.3.1.2. Nivel de investigación.....	39
3.3.1.3. Diseño de investigación.....	40
3.3.1.4. Método de investigación.....	40
3.3.1.5. Población de estudio	40
3.3.1.6. Muestras	40
3.3.1.7. Unidad de análisis.....	40
3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	40
3.4.1. Técnicas	40
3.4.2. Instrumentos y equipos	41
3.5. PROCEDIMIENTOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	43
3.5.1. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS	44
3.6. GEOLOGÍA LOCAL.....	45
3.6.1 Cretácico inferior	45
3.6.2. Cuaternario.....	47
3. 7. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	47
CAPÍTULO IV	48
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	48
4.1. Análisis de Parámetros Geomecánicos y de Resistencia RQD, RMR, GSI, Cohesión y Angulo de Fricción en cada Estación Geomecánica	55
4.1.1. Estación geomecánica EG-01 CB.....	56
4.1.1.1. Cálculo del RQD en la EG-01 CB.....	56
4.1.1.2. Cálculo del RMR en la EG-01 CB.....	57
4.1.1.3. Cálculo del GSI en EG-01 CB.....	59
4.1.1.4. Cálculo de la Cohesión y el ángulo de fricción en EG-01 CB.....	61

	Pág.
4.1.2. Estación geomecánica EG- 02 CB	63
4.1.2.1. Cálculo del RQD en la EG- 02 CB.....	63
4.1.2.2. Cálculo del RMR en la EG- 02 CB	64
4.1.2.3. Cálculo del GSI en la EG-02 CB	66
4.1.2.4. Cálculo de la cohesión y ángulo de fricción en la EG-02 CB	68
4.1.3. Estación geomecánica EG- 01 PA	70
4.1.3.1. Cálculo del RQD en la EG- 01 PA.....	70
4.1.3.2. Cálculo del RMR en la EG- 01 PA	71
4.1.3.3. Cálculo del GSI en la EG- 01 PA	73
4.1.3.4. Cálculo de la cohesión y ángulo de fricción en la EG- 01 PA.....	75
4.1.4. Estación geomecánica EG-02 PA.....	77
4.1.4.1. Cálculo del RQD en la EG-02 PA.....	77
4.1.4.2. Cálculo del RMR en la EG-02 PA.....	78
4.1.4.3. Cálculo del GSI en la EG-02 PA.....	80
4.1.4.4. Cálculo de la cohesión y ángulo de fricción en la EG-02 PA.....	82
4.2. ANÁLISIS DE FALLAS EN TALUDES (ANÁLISIS POBLACIONAL DE FRACTURAS, ANÁLISIS CINEMÁTICO DE FALLAS Y CÁLCULO DEL FACTOR DE SEGURIDAD)	85
4.2.1. Análisis poblacional de fracturas (APF) en la Estación Geomecánica Cruz Blanca (EG- 01 CB)	85
4.2.2. Análisis cinemático de las fracturas en la EG- 01 CB	88
4.2.3. Análisis poblacional de fracturas (APF) en la estación geomecánica de Pariamarca (EG-01 PA)	91
4.2.4. Análisis cinemático de las fracturas en la EG- 01 PA.....	93
4.2.5. Análisis del Factor de Seguridad (FS) mediante SLIDE.....	96
4.3.3. ANÁLISIS QUÍMICO DE LAS ARENISCAS	98

	Pág.
4.3. MÉTODO DE EXPLOTACIÓN Y DISEÑO DE EXPLOTACIÓN TOMANDO EN CUENTA PARÁMETROS GEOMÉTRICOS Y GEOMECÁNICOS.....	100
4.3.1. Diseño del yacimiento Cruz Blanca (9295000, 775000).....	100
4.3.2. Diseño del yacimiento Pariamarca (9204100, 776200).....	108
4.4. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	115
CAPÍTULO V.....	116
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	116
5.1. CONCLUSIONES.....	116
5.2. RECOMENDACIONES.....	117
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	118
ANEXOS.....	121
ANÁLISIS QUÍMICO.....	130
PANEL FOTOGRÁFICO.....	139

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Estimación de resistencia medida a ciertas rocas.....	8
Figura 2: Dirección y buzamiento en un plano de discontinuidad.....	11
Figura 3: Medida y cálculo del RQD.....	12
Figura 4: Estimación del Índice GSI en base a descripciones geológicas.....	17
Figura 5: Envolventes de Mohr-Coulomb en términos de esfuerzos tangenciales y normales (a) y esfuerzos principales (b).....	20
Figura 6: Valoración de la constante m_i para tipo de rocas.....	21
Figura 7: Envolventes de rotura del criterio de Hoek y Brown en función de los esfuerzos principales (a) y de los esfuerzos normal y tangente	22
Figura 8: Parámetros para el diseño de cantera	27
Figura 9: Diseño de cantera en ladera	30
Figura 10: Ubicación del área de estudio	37
Figura 11: Carretera salida a la Costa acceso importante a la zona de Cruz Blanca,	38
Figura 12: Puesto de Salud Pariamarca. Al frente se observa la Formación Chimú y	39
Figura 13: Instrumentos y equipos de campo utilizados en la presente investigación.....	42
Figura 14: Procedimiento seguido en la presente investigación.....	44
Figura 15: Afloramientos de la Formación Chimú. Foto tomada cerca al Cerro Carambayoc con coordenadas Este: 775866.28, Norte: 9202171.48, Cota 2999 m.s.n.m	45
Figura 16: Estrato de arcilla de 50cm dentro de la Formación Carhuaz con coordenadas Este: 774484.70, Norte: 9203481.41, Cota 3032 m.s.n.m	46
Figura 17: Gráfico de Miller	49
Figura 18: Fracturas medidas en la estación Geomecánica Cruz Blanca EG- 01CB,.....	56
Figura 19: Estimación del Índice GSI en base a inspección visual del macizo rocoso.	60

	Pág.
Figura 20: Determinación de la cohesión y el ángulo de fricción para la EG-01 CB en Rocdata.....	62
Figura 21: Fracturas medidas en la estación Geomecánica Cruz Blanca EG- 02CB,.....	63
Figura 22: Estimación del Índice GSI en base a inspección visual del macizo rocoso.	67
Figura 23: Determinación de la cohesión y el ángulo de fricción para la EG-02 CB en Rocdata.....	69
Figura 24: Medición de las fracturas en la Estación Pariamarca EG- 01PA, con coordenadas Este: 777422.68Norte: 9202525.76, Cota 2808 m.s.n.m	70
Figura 25: Estimación del Índice GSI en base a inspección visual del macizo rocoso.	74
Figura 26: Determinación de la cohesión y el ángulo de fricción para la EG- 01 PA en Rocdata.	76
Figura 27: Medición de las fracturas en la Estación EG- 02PA, con coordenadas Este: 777444.23 Norte: 9203081.8, Cota 2770 m.s.n.m.....	77
Figura 28: Estimación del Índice GSI en base a inspección visual del macizo rocoso.	81
Figura 29: Determinación de la cohesión y el ángulo de fricción para la EG-02 PA en Rocdata.....	83
Figura 30: Roseta estructural en la estación geomecánica de Cruz Blanca	87
Figura 31: Diagrama de polos de la estación Cruz Blanca.....	88
Figura 32: Análisis de Falla planar en la estación Cruz Blanca.....	89
Figura 33: Análisis de falla en cuña en la estación Cruz Blanca.	90
Figura 34: Roseta estructural de la estación Pariamarca.....	92
Figura 35: Diagrama de polos de la estación Pariamarca.....	93
Figura 36: Análisis de falla planar en la estación Pariamarca.	94
Figura 37: Análisis de falla por cuña en la estación Pariamarca.	95
Figura 38: El FS es de 1.254 lo que indica que no existen valores menores a este valor, en cualquier lugar de la cara del talud el FS mejora.	96
Figura 39: El FS es de 1.199 lo que indica que no existen valores menores a este valor, en cualquier lugar de la cara del talud el FS mejora.	97

	Pág.
Figura 40: Comparación del análisis químico de las zonas de Cruz Blanca y Pariamarca.....	99
Figura 41: Dimensiones calculadas del diseño del banco en el yacimiento Cruz Blanca.....	104
Figura 42: Parámetros geométricos calculados del yacimiento Cruz Blanca ...	107
Figura 43: Dimensiones calculadas del diseño del banco en el yacimiento Pariamarca.....	111
Figura 44: Parámetros geométricos calculados del yacimiento Pariamarca.	114

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Estimación de la resistencia de las rocas en campo.	7
Tabla 2. Clasificación Geomecánica RQD	13
Tabla 3. Tabla de Valorización para RMR ₈₉	15
Tabla 4. Clasificación de la roca según RMR ₈₉	16
Tabla 5. Clasificación rocosa con GSI.....	18
Tabla 6. Composición de arenas para la fabricación de vidrio	34
Tabla 7. Acceso a la zona de estudio.....	38
Tabla 8 Ubicación de las estaciones geomecánicas en la zona de estudio	48
Tabla 9. Correcciones de los valores de la Resistencia a la compresión	50
Tabla 10. Cálculo del valor de la RCU de la Estación Geomecánica EG-01CB...	51
Tabla 11. Cálculo del valor de la RCU de la Estación Geomecánica EG-02CB...	52
Tabla 12. Cálculo del valor de la RCU de la Estación Geomecánica EG-01PA...	53
Tabla 13. Cálculo del valor de la RCU de la Estación Geomecánica EG-02 PA..	54
Tabla 14. Resumen de los valores de la Resistencia a la compresión uniaxial ...	55
Tabla 15. Clasificación de la resistencia según la ISRM	55
Tabla 16. Valores del RQD en la EG-01 CB.....	57
Tabla 17. tabla de valoración del RMR ₈₉ en la EG-01 CB	58
Tabla 18. Clasificación de la roca según RMR ₈₉ en la EG-01 CB	59
Tabla 19. Clasificación rocosa con GSI en la EG-01 CB.....	59
Tabla 20. Valores de cohesión y ángulo de fricción mediante Rocdata en la EG-01 CB.....	61
Tabla 21. Valores del RQD en la EG- 02 CB.....	64
Tabla 22. tabla de valoración del RMR ₈₉ en la EG- 02 CB	65
Tabla 23. Clasificación de la roca según RMR ₈₉ en la EG- 02 CB	66
Tabla 24. Clasificación rocosa con GSI en la EG- 02 CB.....	66
Tabla 25. Valores de cohesión y ángulo de fricción mediante Rocdata en la EG- 02 CB.....	68
Tabla 26. Valores del RQD en la EG- 01 PA.....	71

	Pág.
Tabla 27. Tabla de valoración del RMR89 en la EG- 01 PA	72
Tabla 28. Clasificación de la roca según RMR89 en la EG- 01 PA.....	73
Tabla 29. Clasificación rocosa con GSI en la EG- 01 PA.....	73
Tabla 30. Valores de cohesión y el ángulo de fricción mediante Rocdata en la EG- 01 PA.	75
Tabla 31. Valores del RQD en la EG-02 PA.....	78
Tabla 32. Tabla de valoración del RMR89 en la EG-02 PA	79
Tabla 33. Clasificación de la roca según RMR ₈₉ en la EG-02 PA	80
Tabla 34. Clasificación rocosa con GSI en la EG-02 PA.....	80
Tabla 35. Valores de cohesión y ángulo de fricción hallados en Rocdata en la EG-02 PA.	82
Tabla 36. Resumen del cálculo del ángulo de fricción y cohesión	84
Tabla 37. Resumen del cálculo del RQD, RMR y del GSI.....	84
Tabla 38. Datos de buzamientos y dirección de buzamiento de la estación Cruz Blanca.	86
Tabla 39. Datos del talud de Cruz Blanca	88
Tabla 40. Datos de buzamientos y dirección de buzamiento de la estación Pariamarca.	91
Tabla 41. Datos del talud Pariamarca	93
Tabla 42. Composición química de las muestras de areniscas.....	98
Tabla 43. Resumen de los parámetros de diseño del yacimiento Cruz Blanca.	106
Tabla 44. Resumen de los parámetros de diseño del yacimiento Pariamarca. .	113

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

m	:	Metro
cm	:	Centímetro
mm	:	Milímetro
msnm	:	Metros sobre el nivel de mar
h	:	Hora
S	:	Sur
N	:	Norte
E	:	Este
O	:	Oeste
NE	:	Noreste
NO	:	Noroeste
SE	:	Sureste
SO	:	Suroeste
SENAMHI	:	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
TM	:	Toneladas métricas
RQD	:	Rock Quality Designation
RMR	:	Rock Mass Rating
GSI	:	Geological Strength Index
Km	:	kilómetros
GPS	:	Global Positioning System
EG	:	Estación Geomecánica
MPa	:	Mega Pascales
MPa	:	Mega Pascal
APF	:	Análisis poblacional de fracturas
C	:	Cohesión
RCU	:	Resistencia a la Comprensión Uniaxial
ISRM	:	Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas

RESUMEN

Las localidades de Cruz Blanca y Paríamarca se encuentran ubicadas al SO del distrito de Cajamarca, provincia de Cajamarca. En estos lugares afloran rocas areniscas con alto contenido de SiO_2 que las hacen atractivos para ser explotadas como materiales industriales principalmente para la obtención de vidrio. El objetivo de esta investigación es evaluar la geomecánica de los macizos rocosos areniscos de las formaciones Chimú y Farrat para la elección del método de explotación como minerales industriales en la zona de Paríamarca y Cruz blanca. En el desarrollo de la investigación se realizó una exhaustiva recopilación bibliográfica, y se tomó como muestra cuatro estaciones geomecánicas ubicadas en los macizos rocosos pertenecientes a las formaciones Chimú y Farrat donde se calculó el RQD, RMR, GSI dándonos como resultado roca de regular calidad, también se utilizó el programa RocData para la determinación de la cohesión y ángulo de fricción de la roca, además se calculó el FS utilizando el programa SLIDE cuyo valor fue de 1.254 para el talud en Cruz Blanca y ligeramente inferior de 1.199 para Paríamarca. El análisis químico realizado a las muestras de arenisca tomadas en los afloramientos rocosos nos permitió identificar su composición mineralógica, lo que arroja valores por encima del 88% de SiO_2 indicando que son económicamente rentables e idóneas para ser explotadas como materia prima para la fabricación de vidrio. Con los resultados obtenidos determinamos el método de explotación que será a cielo abierto tipo cantera mediante la utilización de bancos en forma descendente en la localidad de Cruz Blanca y cuyos parámetros de diseño indican 20 bancos de 6m de altura, talud de trabajo final de 33° y ancho de berma de 4m; para la localidad de Paríamarca indican 25 bancos de 5m de altura con 31° de talud final de trabajo.

Palabras clave: Evaluación geomecánica, Parámetros de diseño, Factor de seguridad, cohesión, ángulo de fricción.

ABSTRACT

The towns of Cruz Blanca and Paríamarca are located SW of the Cajamarca district, province of Cajamarca. In these places, sandy rocks with a high SiO₂ content emerge, making them attractive to be exploited as industrial materials, mainly to obtain glass. The main objective is to evaluate the geomechanics of the sandstone rock masses of the Chimú and Farrat formations for the choice of the exploitation method as industrial minerals in the Paríamarca and Cruz Blanca area. In the development of the research, an exhaustive bibliographic compilation was carried out, and four geomechanical stations located in the rock masses belonging to the Chimú and Farrat formations were taken as a sample, where the RQD, RMR, GSI was calculated, resulting in rock of regular quality, The RocData program was also used to determine the cohesion and friction angle of the rock, in addition the FS was calculated using the SLIDE program whose value was 1.254 for the slope in Cruz Blanca and slightly lower than 1.199 for Paríamarca. The chemical analysis carried out on the sandstone samples taken from the rock outcrops allowed us to identify their mineralogical composition, which yields values above 88% of SiO₂, indicating that they are economically profitable and suitable to be exploited as raw material for the manufacture of glass. With the results obtained, we determined the exploitation method, which will be an open-pit quarry type by using banks in a descending manner in the town of Cruz Blanca and whose design parameters indicate 20 banks of 6m height, final work slope of 33° and berm width of 4m; For the town of Paríamarca they indicate 25 benches 5m high with a 31° final slope of work.

Keywords: Geomechanical evaluation, Design parameters, Safety factor, cohesion, friction angle.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Actualmente la industria de los minerales no metálicos es considerada como una actividad minera lucrativa debido a la gran demanda en el mercado sobre todo el de la construcción. En los últimos años, en la región de Cajamarca se está experimentado un gran auge en la actividad de las construcciones, por lo que hay fuerte demanda de materiales de construcción como: arena fina, arena gruesa y piedra chancada, por esta razón es necesario explotar estos yacimientos de forma racional teniendo en cuenta estudios geológicos y gemecánicos para el diseño del método de explotación. En la Región de Cajamarca existen extensos afloramientos de areniscas los cuales poseen un alto contenido de óxido de Sílice, este mineral es muy estable mineralógicamente, lo que los hace atractivos para ser explotados masivamente como materiales industriales para la obtención de vidrio.

Debido a ello, en esta investigación se formula el problema ¿Cómo influye la evaluación geomecánica de los macizos rocosos areniscos de las formaciones Chimú y Farrat en la elección del método de explotación como minerales industriales, en la zona de Paríamarca y Cruz blanca?

Para lo cual la hipótesis fue: Los afloramientos de los macizos rocosos areniscos de las formaciones Chimú y Farrat que pertenecen al Grupo Goyllarisquizga al ser evaluados se determinara que poseen características Geomecánicas, petrológicas y mineralógicas favorables para ser explotadas masivamente con fines industriales, mediante la Explotación a cielo abierto utilizando el método de canteras con bancos en las zonas de Paríamarca y Cruz Blanca.

El objetivo principal de la investigación es Evaluar la geomecánica de los macizos rocosos areniscos de las formaciones Chimú y Farrat para la elección del método de explotación como minerales industriales en la zona de Paríamarca y Cruz blanca. Como Objetivos Específicos se plantean: Realizar el análisis de los parámetros geomecánicos y de resistencia utilizando la clasificación RMR, RQD,

GSI, ángulo de fricción y cohesión del macizo rocoso de las formaciones Chimú y Farrat de la zona Paríamarca – Cruz Blanca; Realizar el análisis de fallas en las taludes (análisis poblacional de fracturas, análisis cinemático de fallas y cálculo del factor de seguridad) del macizo rocoso de las formaciones Chimú y Farrat de la zona de Paríamarca - Cruz Blanca; Realizar el análisis químico de areniscas de las formaciones Chimú y Farrat para determinar su composición mineralógica y verificar si son económicamente rentables para ser explotadas como minerales industriales en la zona de Paríamarca - Cruz Blanca y Determinar el método de explotación de los yacimientos de areniscas tomando en cuenta para su diseño parámetros geotécnicos y geométricos en la zona de Paríamarca - Cruz Blanca.

El orden de los capítulos se describe de la siguiente manera: Dentro del Capítulo I, denominado Introducción, aquí están contenidos la formulación de problema, los objetivos y la hipótesis; el Capítulo II, denominado Marco Teórico se encuentran los antecedentes de la investigación en donde están los internacionales, nacionales y locales, el siguiente subcapítulo es el Marco Teórico en donde están las bases teóricas relacionadas al tema de investigación que va a reforzar a la investigación y en el tercer subcapítulo esta la Definición de los términos básicos, en donde se definen algunos términos básicos que se usaran en la tesis exclusivamente; el capítulo III, denominado Materiales y Métodos están: la ubicación del área de estudio, la accesibilidad, la metodología de la investigación, los procedimientos, las variables, las técnicas utilizadas, los instrumentos y los equipos, dentro de este capítulo se presenta el desarrollo de los objetivos planteados que generarán las conclusiones, dentro del capítulo IV, denominado Análisis y Discusión de Resultados, están los resultados de la investigación el cual debe estar en concordancia con los objetivos, además debe contener la parte de la contrastación de la hipótesis. Finalmente, dentro del Capítulo V, denominado Conclusiones y Recomendaciones, se encuentran las conclusiones obtenidas en base a los objetivos planteados y realizados; encontrándose también las recomendaciones hechas en base a sugerencias para complementar la investigación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Mucuta, Cartaya-Pires & Cuni-Calzada (2019), En su artículo titulado: Evaluación geomecánica del macizo rocoso en frentes de explotación del yacimiento polimetálico Castellanos, plantea como objetivo principal evaluar en tres frentes de explotación, la calidad geomecánica del macizo rocoso del yacimiento polimetálico Castellano, provincia de Pinar del Río. En la evaluación de discontinuidades se empleó el software DIP V.6.0, para hallar las direcciones de los sistemas de grietas. Utilizando GEMCOM v 6.5 se obtuvo el modelo 3D de cada frente. La calidad del macizo se estableció a partir de los índices RQD y RMR. Como resultado se identificaron tres familias de grietas predominantes; en el frente I se encontró como roca pizarra con un RQD 47% de y un RMR de 31 (clase IV – mala), en el frente II se encontró roca arenisca con un RQD de 61% y un RMR de 45 (clase III – media) y en el III frente se encontró rocas brechosa con un RQD de 60% y un RMR de 44 (clase III – media). Se concluyó que el macizo rocoso del yacimiento polimetálico Castellanos es de calidad geomecánica media y que la representación en 3D de los tres frentes de explotación resulta de gran utilidad para definir las direcciones de avance de los frentes de explotación.

López (2013), en su tesis para obtener el título de ingeniero de minas, titulado: “Diseño de un Método de Explotación para la Mina Colombia, CVG Minerven, El Callao, Estado Bolívar”, se concluyó que el aprovechamiento de los minerales se realizará por el método Post Pillar Stopping, mediante subniveles en los cuales se construirán galerías de producción para la extracción de mineral. Los subniveles se construirán en cámaras de 5 metros de alto dejando 10 metros de separación entre pilares que se encargan de soportar el techo. Esta separación es suficiente para la operación de los equipos.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Soto (2018), en su tesis titulada: “Estudio geomecánico y dimensionamiento de minado del cuerpo esperanza de mina yauricocha”. Tiene como objetivo elegir el mejor método de explotación subterránea realizando una buena caracterización de los parámetros de resistencia de la roca del cuerpo Esperanza, la muestra de estudio es el cuerpo Esperanza. Entre sus resultados de evaluación geomecánica según Bieniawski (1989), se obtuvo resultados que oscilan desde roca tipo V (muy mala) hasta roca tipo III (regular). Concluyendo que los valores encontrados aplicando una adecuada caracterización geomecánica, contribuyo a la elección del método de explotación hundimiento por subniveles.

Alcántara (2018), en su tesis “Caracterización geomecánica para determinar el tipo de sostenimiento en labores subterráneas , Perú -2018”, tiene como objetivo conocer y estudiar la caracterización geomecánica para determinar un tipo de sostenimiento para labores subterráneas en el Perú en 2018 ; concluye que el factor de seguridad influye significativamente en la elección de un tipo de sostenimiento para que las labores permanezcan estables y brindar condiciones de trabajo seguro; y que los métodos de estudio, funcionan tanto asiendo trabajo manual de campo (levantamiento de información-puntos), como también llevando la data a un software para facilitar los cálculos y acortar el tiempo de respuesta; un ejemplo es el programa Rock Data v3, que se encarga de determinar las propiedades de los materiales de roca y suelo utilizando el sistema Hoek Brown.

Chong & Carpio (2016), en su investigación titulada: Importancia geoeconómico de la secuencia silicoclástica de las arenas silíceas del norte de Chachapoyas: usos y aplicaciones. Determina que el Grupo Goyllarisquizga contiene areniscas con alto contenido de sílice ideal para la explotación industrial, es por eso que el objeto de estudio es analizar las propiedades de esta materia prima para ser aprovechadas correctamente en satisfacción de la sociedad. Al realizar el análisis mineralógico de estas areniscas se obtuvo como resultados promedio los siguientes: SiO₂ (94%), Al₂O₃ (2%) y Fe₂O₃ (1%). Por ende, llegan a la conclusión que durante mucho

tiempo por falta de estudios de las cualidades de las arenas silíceas estas han sido explotadas artesanalmente como materiales de construcción, pero en la actualidad los afloramientos de areniscas pertenecientes al grupo Goyllarisquizga, son potencialmente favorables para la explotación como minerales industriales especialmente para la fabricación de vidrio.

Calderón (2018), en la tesis “caracterización geomecánica para la determinación del tipo de sostenimiento en la galería Gavilán de Oro de la UEA Ana María”, con el objetivo de realizar una caracterización geomecánica y determinar el tipo de sostenimiento de la galería se, concluyo que: para (06) seis estaciones geomecánicas tienen un valor de RMR de Bieniawski de 53 (regular), 61(buena), 58(regular), 69(buena), 57(regular) y 63(buena) respectivamente , y de igual forma un valor de índice Q de Barton de 5.4 (regular), 21.1(buena), 12.7(buena), 82.0(muy buena), 10.7(buena) y 29.7 (buena).

2.1.3. Antecedentes Locales

Chilón y López (2021), en su proyecto titulado “Evaluación geomecánica de los macizos rocosos para el diseño de explotación de materiales pétreos en la cantera San Cirilo Cajamarca - 2021”, nos indican que mediante la evaluación geomecánica del macizo rocoso utilizando criterios de RMR y GSI, encontraron valores clasificándolos como roca buena la cual sirvió como sustento para diseñar el método de explotación el cual sería a tajo abierto mediante bancos y contaría con una altura de banco de 10m y ancho de 10m.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Macizo Rocosó

Macizo rocoso es el conjunto de los bloques de matriz rocosa y de las discontinuidades de diverso tipo que afectan al medio rocoso. Mecánicamente los macizos rocosos son medios discontinuos, anisótropos y heterogéneos. Prácticamente puede considerarse que presentan una resistencia a la tracción nula (González de Vallejo, 2004).

Se refiere al enfoque geomecánico o geotécnico de la masa rocosa in situ para su intervención ingenieril (labores subterráneas, corrección de taludes, etc.). Dicho enfoque considera tanto las propiedades físicas de la roca como el efecto de las estructuras que presenta (fracturas, pliegues) y de los cuerpos de aguas subterráneas respecto a su probable comportamiento geomecánico y geotécnico (Oyarzún, 2014).

2.2.2. Propiedades físicas de las rocas

Según (González de Vallejo, 2002), son propiedades estudiadas y analizadas que nos permitirán la caracterización de estructuras rocosas en campo tales como la deformación de estructuras producto de esfuerzos, siendo una de las más importantes la resistencia uniaxial.

2.2.2.1. La resistencia uniaxial

Es el resultado de la relación que existe entre las fuerzas aplicadas a la roca y el área de la roca, la resistencia en campo se calcula contando el número de golpes propinados con picota de geólogo y compararlo a la tabla siguiente (Ramírez, 2004).

Tabla 1. Estimación de la resistencia de las rocas en campo.

Grado	Descripción	Identificación de campo	Valor aproximado de la resistencia a la compresión simple en MPA
R0	Extremadamente débil	Se puede penetrar con el dedo pulgar	0.25- 1.0
R1	Muy débil	Deleznable bajo golpes fuertes con la parte puntiaguda del martillo del geólogo: puede cortarse con una navaja.	1.0-5.0
R2	Débil	Puede cortarse con dificultad con una navaja; se puede hacer marcas poco profundas golpeando fuertemente la roca con la cuchilla.	5.0- 25
R3	Media	No se puede cortar con una navaja; las muestras se pueden romper con un golpe firme con el martillo.	25-50
R4	Resistente	Se necesita más de un golpe con el martillo del geólogo para romper la muestra	50-100
R5	Muy resistente	Se necesita muchos golpes con el martillo para romper la muestra	100-250
R6	Extremadamente resistente	Solo se puede desprender esquirlas de la muestra con el martillo del geólogo	>250

Fuente: Ramírez, (2004)

Martillo Schmidt (Esclerómetro)

Sirve para medir la resistencia a la compresión uniaxial en campo, se evalúa según el valor de rebote del embolo al hacer contacto con la superficie de a roca matriz, el valor de rebote se correlaciona con la densidad de la roca y con la posición del esclerómetro con cual se mide mediante el ábaco de Miller (Lozano, 2009).

Tipo de roca	Resistencia a compresión simple (MPa)		
	Mínima	Máxima	Media
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
Lutita	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
Gabro	290	326	298
Taconita	425	475	450
Sílice	587	683	635

Figura 1: Estimación de resistencia medida a ciertas rocas

Fuente: Bieniawski, (1973)

2.2.3. Discontinuidades del macizo rocoso

Según (González de Vallejo, 2002), las discontinuidades son cualquier plano de separación en el macizo rocoso, estas superficies o planos de discontinuidad de los macizos rocosos condicionan sus propiedades y comportamiento resistente, deformacional e hidráulico. Las discontinuidades les dan un carácter anisótropo a los macizos haciéndolos más deformables y débiles, lo que representa una gran dificultad al evaluar el comportamiento mecánico de los mismos. Las discontinuidades pueden ser sistemáticas, cuando se presentan en familias, y singulares cuando aparecen como un único plano que atraviesa el macizo rocoso, estas últimas suelen ser más continuos y persistentes que las sistemáticas pudiendo llegar hasta varios kilómetros.

2.2.3.1. Tipos de discontinuidades

Entre los diferentes tipos de discontinuidades tenemos:

Diaclasas o juntas. Son los planos de discontinuidad más frecuentes en los macizos rocosos y corresponden a superficies de fracturación o rotura de la roca sin desplazamiento o este haya sido muy pequeño. Dependiendo de su origen se distinguen varios tipos de diaclasas (González de Vallejo, 2002).

Las diaclasas pueden ser:

Diaclasas de origen tectónico. Estas se encuentran asociadas a plegamientos y fallas, en el primer caso presentan una disposición característica como se observa en la figura y las diaclasas asociadas a fallas se encuentran dispuestas paralelamente a la superficie de falla y su frecuencia disminuye a medida que nos alejamos de la misma.

Diaclasas de relajación. Se producen debido a la reducción de la carga litostática, su disposición es paralela a la superficie topográfica y disminuyen a medida que aumenta la profundidad.

Fallas. Son discontinuidades que corresponden a planos de rotura o fracturación con desplazamiento relativo entre los bloques. La extensión de las fallas puede variar desde pocos metros hasta centenares de kilómetros, se asocian con zonas de debilidad conocidas como zonas de falla o brechas, en las que en varias ocasiones no se puede distinguir un plano de rotura neto (González de Vallejo, 2002).

Planos de estratificación. Son superficies que limitan los estratos en los que se disponen las rocas sedimentarias, son discontinuidades sistemáticas con una continuidad elevada y con un espaciado que oscila entre unos pocos centímetros y varios metros.

Planos de esquistosidad. Estas discontinuidades son de origen tectónico y aparecen dispuestas perpendicularmente a la dirección compresiva en rocas que

han sufrido deformación importante. Estas discontinuidades se desarrollan mejor cuanto más pequeño es el grano de la roca, presentan una frecuencia alta y espaciados de tamaño milimétrico.

Superficies de laminación. Son discontinuidades sistemáticas que se presentan en las rocas sedimentarias y corresponden a planos que limitan las láminas de una secuencia sedimentaria, su espaciado es reducido que varía entre milímetros a centímetros. Resultan de gran importancia en rocas de grano fino.

Superficies de contacto litológico. Son planos singulares de separación entre diferentes litologías de un macizo rocoso.

2.2.4. Caracterización geomecánica

Tiene como objetivo analizar en campo o laboratorio las propiedades mecánicas del macizo rocoso para obtener posteriormente resultados que sirvan para el diseño y sostenimiento de proyectos de ingeniería. Para el análisis de estas propiedades es necesario caracterizar y cuantificar las discontinuidades presentes en el macizo rocoso (González de Vallejo, 2002).

Para la caracterización del macizo rocoso se tendrá en cuenta los siguientes factores:

Orientación de las discontinuidades: La orientación está referida a la dirección y buzamiento de las discontinuidades; así como la identificación de las familias de discontinuidades, de las cuales su orientación media se determina a partir de valores representativos.

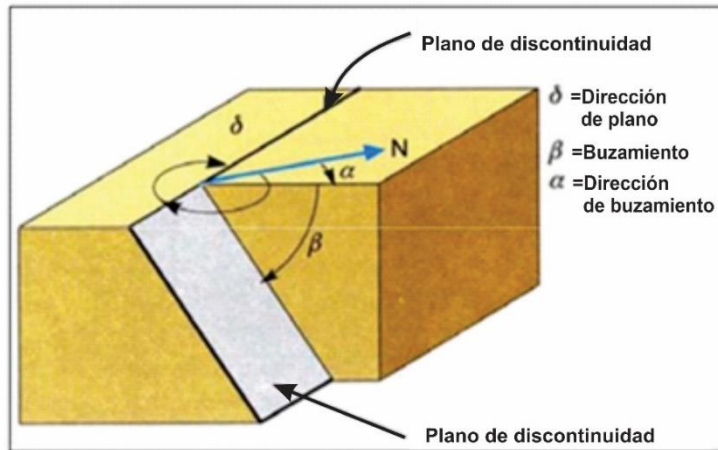


Figura 2: Dirección y buzamiento en un plano de discontinuidad.

Fuente: González de Vallejo, (2002)

Espaciamiento: Representa la distancia perpendicular entre discontinuidades contiguas.

Persistencia: Representa la longitud de la discontinuidad.

Rugosidad: Representa las marcas irregulares en la superficie de la roca.

Apertura: Representa la longitud de separación que existe entre las paredes de las discontinuidades.

Relleno: Representa el material inmerso dentro de las discontinuidades.

Filtraciones: El flujo de agua se da preferentemente a través de las discontinuidades (permeabilidad secundaria), aunque en rocas sedimentarias también puede haber permeabilidad primaria, es decir, a través de la matriz rocosa.

Resistencia a la compresión simple: Esta resistencia de las paredes de una discontinuidad depende del tipo de matriz rocosa, si hay relleno o no y el grado de alteración de las paredes, los cuales influyen en la resistencia al corte y la deformabilidad del plano de discontinuidad, especialmente si no tienen relleno.

Grado de alteración: Este grado de alteración es mayor en la superficie de las discontinuidades que en el macizo rocoso.

2.2.4. Rock Quality Designation (RQD)

El índice RQD (Rock Quality Designation) fue desarrollado en (1964-1967) por Deere. Establece la calidad del macizo rocoso in situ a partir del grado de fracturación, de manera cuantitativa (González de Vallejo, 2002). Se define como una relación porcentual de la sumatoria de los testigos carentes de discontinuidades naturales de longitud superior o igual a 10 cm respecto a la longitud total del sondeo.

como se indica en la siguiente formula:

$$RQD = \frac{\sum \text{Longitud de trozos de testigos} \geq 10 \text{ cm}}{\text{longitud total del sondeo}} * 100$$

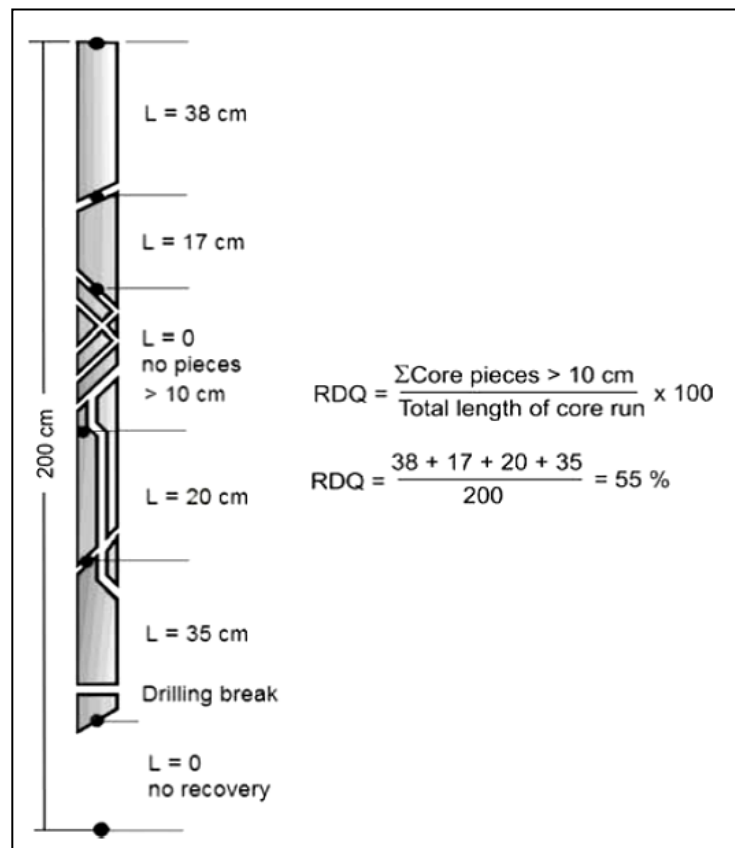


Figura 3: Medida y cálculo del RQD

Fuente: Practical Rock Engineering, Hoek (2007)

Teniendo en cuenta los valores del RQD, los macizos rocosos pueden ser categorizados de la siguiente manera:

Tabla 2. Clasificación Geomecánica RQD

RQD (%)	Calidad de la roca
100-90	Muy buena
90-75	Buena
75-50	Mediana
50-25	Mala
25-0	Muy mala

Fuente: Deere, (1967).

Asimismo, el índice RQD se puede determinar de manera indirecta cuando no se dispone de sondeos utilizando del índice volumétrico de juntas (J_v) ((J_v = Joint Volumétric number), bien sea porque se puedan visualizar las discontinuidades en un afloramiento en superficie o por la realización de calicatas o trincheras de reconocimiento (EADIC, 2021). Este método se utiliza después de realizar el levantamiento litológico- estructural (Detail line) en el área o zona predeterminada de la operación minera.

Donde: J_v = número de fisuras por metro cúbico.

De acuerdo a esto se puede obtener el RQD mediante la siguiente expresión matemática:

$$RQD = 115 - 3,3 * J_v(\%)$$

El índice RQD en afloramientos de los macizos rocosos también se puede realizar mediante la utilización de la siguiente expresión matemática:

$$RQD = 100e^{(-0.1*\lambda)} * (0.1 * \lambda + 1)$$

$$\text{Donde: } \lambda = \frac{\text{N}^\circ \text{ discontinuidades}}{\text{longitud total del macizo rocoso}}$$

2.2.5. Calidad del Macizo Rocoso (RMR)

Es una clasificación geomecánica realizada por Bieniawski en 1973 y con actualizaciones en 1979 y 1989. Esta clasificación toma en cuenta 06 parámetros geomecánicos que posteriormente serán sumados para hallar el RMR y son los siguientes:

1. Resistencia uniaxial de la matriz rocosa.
2. Grado de fracturación en términos del RQD.
3. Espaciado de las discontinuidades.
4. Condiciones de las discontinuidades, que son:

Longitud de las discontinuidades (Persistencia).

Abertura.

Rugosidad.

Relleno.

Alteración.

5. Condiciones hidrogeológicas.
6. Orientación de las discontinuidades con respecto a la excavación (túneles)

Según (González de Vallejo, 2004) para hallar el valor del RMR es necesario dividir el macizo rocoso en tramos que presenten características geológicas uniformes de acuerdo a las observaciones hechas en campo, en las estructuras que se tomaran los datos de los seis parámetros para calcular la calidad del macizo rocoso.

Tabla 3. Taba de Valorización para RMR₈₉

1	Resistencia de la matriz rocosa (Mpa)	Ensayo de la carga puntual	>10	10-4	4-2	2-1	Compresión simple		
		Compresión simple	>250	250-100	100-50	50-25	25-5	5-1	<1
Puntuación		15	12	7	4	2	1	0	
2	RQD		90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	<25%		
	Puntuación		20	17	13	6	3		
3	Separación entre diaclasas		>2m	0.6-2 m	0.2-0.6 m	0.06-0.2 m	<0.06 m		
	Puntuación		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	<1 m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	> 20 m		
		Puntuación	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	<0.1 mm	0.1-1.0 mm	1-5 mm	> 5 mm		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulado	Suave		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro < 5 mm	Relleno duro > 5 mm	Relleno blando < 5 mm	Relleno blando > 5 mm		
		Puntuación	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
5	Agua freática	Caudal por 10 de túnel	Nulo	< 10 litros/min	10 - 25 litros/min	25-125 litros/min	> 125 litros/min		
		Relación: Presión de agua/Tensión principal mayor	0	0 - 0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	> 0.5		
		Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo		
	Puntuación		15	10	7	4	0		
RESULTADO DE RMR									

Fuente: González de Vallejo, (2004).

Tabla 4. Clasificación de la roca según RMR₈₉

RMR	Clase N°	Clasificación/ tipo
100- 81	I	Roca Muy Buena
80-61	II	Roca Buena
60-41	III	Roca Regular
40-21	IV	Roca Pobre
>20	V	Roca Muy Pobre

Fuente: Bieniawski, (1989)

2.2.6. Geological Strength Index (GSI)

Es un sistema de caracterización de las propiedades geomecánicas de los macizos rocosos, a través de la evaluación visual de las propiedades geológicas en el campo. Puede ser realizada por un geólogo o ingeniero geólogo. Las observaciones se basan en la apreciación del macizo a nivel estructural y de las condiciones presentes en su superficie (discontinuidades), por lo cual, el criterio toma en cuenta el nivel de alteración- meteorización de las rocas, su historia geológica y condiciones de formación, estado de fracturación presente en ellas, así como la disposición de las juntas o discontinuidades. Este método se creó en base a la necesidad de estimar las propiedades intactas de la roca, contemplando especialmente aquellas de baja calidad con un RMR menor a 20.

Según (Osinergrmin, 2017), el índice de resistencia geológica (GSI) es un índice de caracterización de macizos rocosos que evalúa al macizo rocoso en función a dos criterios: estructura geológica y condición de la superficie de las juntas.

De acuerdo a (González de Vallejo, 2002) la valoración para GSI > 25, correspondientes a macizos rocosos de media, buena y muy buena calidad este valor de GSI puede obtenerse a partir del RMR mediante la correlación siguiente.

$$GSI = RMR_{89} - 5$$

En la aplicación del criterio de Hoek y Brown y en la interpretación de los valores de resistencia obtenidos debe tenerse en cuenta:

El criterio es válido únicamente para macizos rocosos con comportamiento isotrópico.

El índice GSI se basa en estimaciones cualitativas y en modelos simples, que rara vez coinciden con las condiciones reales.

Los resultados deben ser cotejados con otros métodos y siempre que sea posible con datos de campo y análisis a posteriori.

ÍNDICE GEOLÓGICO DE RESISTENCIA GSI (<i>geological strength index</i>) A partir de la clasificación obtenida en la Figura 3.94 seleccionar el cuadro correspondiente en este ábaco y obtener el valor medio del índice GSI.		CONDICIÓN DEL FRENTE				
ESTRUCTURA		MUY BUENA (MB) Superficies muy rugosas sin alterar	BUENA (B) Superficies rugosas ligeramente alteradas, con patinas de oxidación	MEDIA (M) Superficies suaves moderadamente alteradas	POBRE (P) Superficies de cizalla muy alteradas con rellenos compactos contenido fragmentos rocosos	MUY POBRE (MP) Superficies de cizalla muy alteradas con rellenos arcillosos
	BLOQUES REGULARES (BR) Macizo rocoso sin alterar. Bloques en contacto de forma cúbica formados por tres familias de discontinuidades ortogonales, sin relleno.	80	70			
	BLOQUES IRREGULARES (BI) Macizo rocoso parcialmente alterado. Bloques en contacto de forma angular formados por cuatro o más familias de discontinuidades con rellenos con baja proporción de finos.		60	50		
	BLOQUES Y CAPAS (BC) Macizo alterado, plegado y fracturado con múltiples discontinuidades que forman bloques angulosos y con baja proporción de finos.			40	30	
	FRACTURACIÓN INTENSA (FI) Macizo rocoso muy fracturado formado por bloques angulosos y redondeados, con alto contenido de finos.				20	10

Figura 4: Estimación del Índice GSI en base a descripciones geológicas

Fuente: Hoek y Brown, (1997)

Tabla 5. Clasificación rocosa con GSI

Calidad del macizo rocoso	Clase	Valor de GSI
Muy mala	V	0- 20
Mala	VI	21- 40
Regular	III	41- 60
Buena	II	61- 80
Excelente	I	81- 100

Fuente: Hoek et al., (2002).

2.2.7. Criterios de resistencia en macizos rocosos

Permiten analizar la resistencia del macizo rocoso partiendo de las fuerzas actuantes y de las propiedades estructurales de los macizos rocosos, esta resistencia puede evaluarse aplicando máximos esfuerzos y relacionándose con propiedades de la roca (cohesión y ángulo de fricción), siendo de gran importancia en el ámbito de la ingeniería (González de Vallejo, 2004).

Los dos factores más importantes para el análisis de resistencia del macizo rocoso son:

Cohesión (C): Es la propiedad que tienen los macizos rocosos a genera adhesión de sus partículas mediante esfuerzos que permite la reagrupación de las mismas.

Fricción (Φ): Concerniente a la propiedad que tienen los macizos rocos a generar rozamiento en su interior e imposibilitar el desplazamiento de sus estructuras.

La evaluación de la resistencia del macizo rocoso se hace mediante métodos lineales aplicando el criterio de Mohr- Coulomb y métodos no lineales aplicando el criterio de Hoek y Brown. (González de Vallejo, 2004).

2.2.7.1. Criterio de Mohr – Coulomb

De acuerdo con (González de Vallejo, 2004) este criterio analiza la resistencia de rotura de la roca y lo representa a través de un plano en un estado triaxial de tensiones, consiguiéndose la relación entre los esfuerzos (normal y tangencial) actuantes en el momento de la rotura y se calcula a través de la siguiente fórmula:

$$\tau = c + \sigma_n * tg\phi$$

En donde

τ = es el esfuerzo tangencial sobre el plano de falla.

σ_n = es el esfuerzo normal sobre el plano de falla.

C = es la fuerza cohesiva.

Φ = es el ángulo de fricción interna.

El criterio de rotura de Mohr-Coulomb se interpreta en función de los esfuerzos mayor σ_1 y menor σ_3 .

$$\sigma_1 = \sigma_3 = \frac{2c * \cos \phi}{(1 - \sin \phi)}$$

Estas incógnitas también son útiles para representar gráficamente el proceso de resistencia a la rotura de la roca.

$$\sigma_t = \frac{2c * \cos \phi}{(1 + \sin \phi)}$$

A su vez el criterio de Mohr – Coulomb sufre algunos inconvenientes, ya que el comportamiento de la roca al momento de aplicarle la fuerza de compresión uniaxial no es lineal, esto podría ocasionar errores de cálculo en zonas de bajos esfuerzos confinantes (González de Vallejo, 2004).

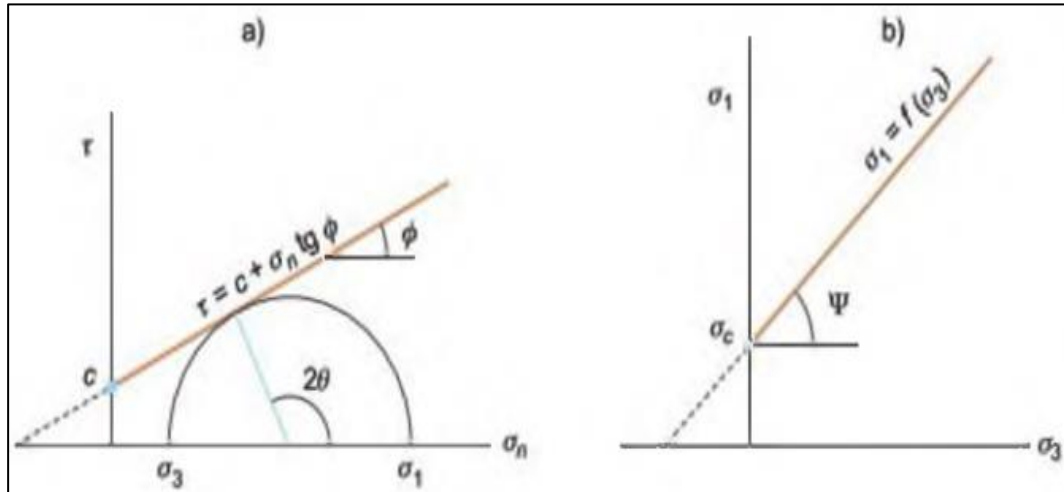


Figura 5: Envolventes de Mohr-Coulomb en términos de esfuerzos tangenciales y normales (a) y esfuerzos principales (b)

Fuente: González de Vallejo, (2004).

2. 2. 7. 2. Criterio de Hoek y Brown

Es el criterio más apropiado para analizar la resistencia de la roca intacta, debido a que tiene un funcionamiento no lineal representado en forma triaxial y bajo una curva cóncava, este criterio es practico y permite la valoración de la rotura de la roca intacta evaluando las principales propiedades geológicas (González de Vallejo, 2002).

Propuesta en el año de 1980 por Hoek y Brown para hallar la resistencia de la roca intacta, este criterio solo se usaba para roca competente y se aplicaba al RMR, posteriormente en el año 2002 fue modificada por los mismos autores remplazando al RMR por el GSI con el fin de ser aplicada también a roca de calidad mala ya que el RMR no se aplicaba para este tipo de roca.

La última modificación plantea el siguiente modelo matemático:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} \left(mb \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^\alpha$$

Donde:

σ₁ y **σ₃** son las fuerzas que actúan sobre la roca.

s y **α** son constantes que varían de acuerdo a las características de la roca.

σ_{ci} es la resistencia a la compresión de la roca.

m_b es un valor simplificado para macizos rocosos.

Los valores de s y α se calculan mediante las ecuaciones:

$$s = \exp \frac{GSI - 100}{9 - 3D}$$

$$\alpha = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left(e^{\frac{-GSI}{15}} - e^{-\frac{20}{3}} \right)$$

El valor se m_b se calcula mediante la ecuación:

$$m_b = m_i \exp \left(\frac{GSI - 100}{28 - 14D} \right)$$

Donde la variable D varía de acuerdo al grado de perturbación producto de la voladura o las tenciones en el macizo rocoso como se muestra a continuación.

En la siguiente figura encontramos valores asignados a la constante “ m_i ”

Tipo de roca y valor de la constante m_i				
Sedimentarias clásticas	Conglomerado	(22)	Lutita	4
	Arenisca	19	Grauvaca	(18)
	Limolita	9		
Sedimentarias no clásticas	Caliza margosa	7	Caliza micrítica	8
	Brecha caliza	(20)	Yeso	16
	Caliza esparítica	(10)	Anhidrita	13
Metamórficas	Mármol	9	Gneiss (*)	33
	Cuarcita	24	Esquisto (*)	4-8
	Migmatita	(30)	Filita (*)	(10)
	Anfibolita	25-31	Pizarra (*)	9
	Milonita	(6)		
Ígneas	Granito	33	Diorita	(28)
	Riolita	(16)	Andesita	19
	Granodiorita	(30)	Gabro	27
	Dacita	(17)	Basalto	(17)
Ígneas extrusivas piroclásticas	Aglomerado	(20)	Toba	(15)
	Brecha	(18)		

Figura 6: Valoración de la constante m_i para tipo de rocas

Fuente: González de Vallejo, (2002)

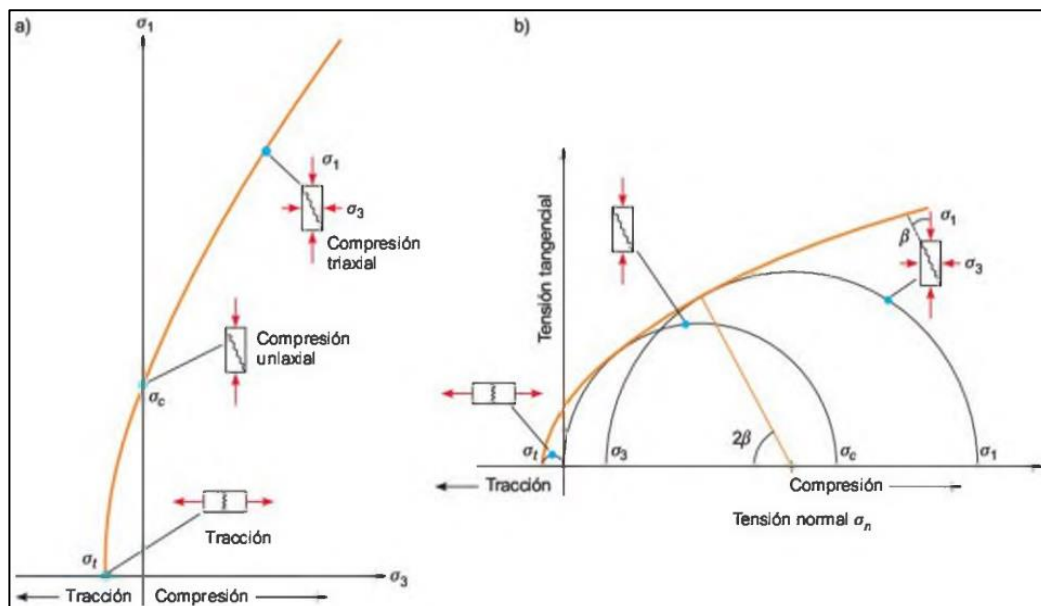


Figura 7: Envolventes de rotura del criterio de Hoek y Brown en función de los esfuerzos principales (a) y de los esfuerzos normal y tangente

Fuente: González de Vallejo, (2002)

2.2.8. Métodos de explotación en minería

2.2.8.1. Importancia de la selección del método de explotación

La selección del método de explotación de un yacimiento anteriormente se basaba en la aplicación de técnicas utilizadas en otros yacimientos o en la experiencia utilizada en la explotación de depósitos similares. En la actualidad debido a la elevada inversión de capital que existe para abrir nuevas minas, se necesita la aplicación de nuevos métodos de explotación y un análisis sistemático y global de los parámetros del yacimiento tales como: geometría del depósito, geomecánica de las rocas, distribución de leyes, entre otras (Herrera, 2006).

2.2.8.2. Definición de “Método Minero”

Es un proceso constante tanto temporalmente como espacialmente que permite realizar la explotación minera de un yacimiento mediante un conjunto de sistemas, procesos y máquinas que operan de manera ordenada y repetitiva (Herrera, 2006).

Según (Herrera, 2006), en su sentido más amplio existen actualmente tres métodos de explotación que son:

Método de explotación por minería a cielo abierto. Se caracteriza por el movimiento de grandes volúmenes de material, siendo un parámetro principal la relación entre estéril/mineral (ratio), ya que este condiciona la viabilidad de la explotación y la profundidad máxima a alcanzar por la minería superficial.

Método de explotación por minería subterránea. En este método una de las consideraciones más importantes para la explotación del yacimiento es el control del terreno después de la extracción del mineral.

Método de explotación por sondeos. En esta minería la explotación es totalmente diferente, se consigue alta producción con poco personal y tiene altas cotas de automatización del proceso.

2.2.9. Métodos mineros y sistemas de explotación a cielo abierto

Las diferencias que existen entre yacimientos de acuerdo a sus características estructural y sus aplicaciones originaran la aplicación de distintos submétodos clásicos de minería a cielo abierto tales como: cortas, descubiertas, terrazas, graveras, canteras, entre otros (Herrera, 2006).

2.2.9.1. Cortas

Es un método tradicional aplicado a yacimientos masivos y utilizado en minería metálica, últimamente adaptado en minas de carbón, esta explotación se realiza en forma tridimensional utilizando bancos descendentes en forma troncocónica. Son explotaciones de gran profundidad llegando a más de 300m, en minería metálica estas explotaciones pueden durar más de 15 o 20 años, la maquinaria utilizada para el arranque del mineral son bulldozers y retroexcavadoras (Herrera, 2006).

2.2.9.2. Descubiertas

Es un método aplicado a yacimientos horizontales con recubrimientos de estéril menores a 50m, consiste en la explotación en una sola dirección y con un solo banco, a continuación de excavar el primer hueco inicial el estéril de los siguientes será relleno en los mismos huecos anteriores. La maquinaria utilizada dependerá del volumen de las reservas, en gran minería se utilizará la dragalinas y en pequeña minería equipos convencionales como tractores orugas, excavadoras hidráulicas (Herrera, 2006).

2.2.9.3. Terrazas

Es un método aplicado a yacimientos relativamente horizontales con uno o varios niveles mineralizados, esta explotación consiste en el banqueo en una sola dirección que permiten depositar el estéril en el hueco creado para luego ser transportado. Este método alcanza grandes profundidades siendo su única limitación económica la determinación de la explotación del último nivel mineralizado (Herrera, 2006).

2.2.9.4. Graveras

Este método de explotación es aplicado a materiales detríticos (arenas y gravas) que se alojan en depósitos de valles y terrazas de ríos, estos materiales tienen gran demanda en el campo de la construcción. El arranque del material se realiza directamente por equipos mecánicos debido a que se encuentran poco cohesionados y se explotan en un solo banco llegando a alcanzar bajas profundidades generalmente 20m. (Herrera, 2006).

2.2.9.5. Canteras

Término utilizado para referirse a la explotación superficial de rocas industriales, ornamentales y de construcción, conforma el sector más importante en cuanto a número ya que se vienen explotando desde épocas antiguas con el fin de extraer materias primas utilizadas en el campo de la construcción. Por lo general el método de explotación utilizado es el de banqueo con uno o más niveles, la mayoría de canteras se sitúan en laderas (Herrera, 2006).

Según (Herrera, 2006) las canteras se subdividen en dos grupos que son:

El primero, donde la explotación es masiva para obtener un producto destinado a la elaboración de cemento, fabricación de productos industriales y a la construcción. En esta explotación de canteras la extracción de material no es cuidadosa y sus bancos tienen a grandes alturas.

El segundo, la explotación se da de manera cuidadosa obteniendo grandes bloques isométricos que posteriormente se cortan y elaboran, esta explotación tiene gran número de bancos y se aplica para obtener rocas ornamentales.

Concepción antigua o tradicional de cantera

Antiguamente las canteras fueron explotaciones de bajo interés debido al escaso valor económico que tenían sus productos. Anteriormente el término cantera comprendía aquellas explotaciones superficiales que eran pequeñas, sin tecnificación y baja producción, tenían uno o dos bancos de gran altura y no tenían un adecuado planeamiento (Herrera, 2006).

Definición actual del concepto de cantera

En la actualidad el concepto de cantera que se tenía antiguamente está desapareciendo. Hoy en día la demanda de estos productos ha crecido enormemente y actualmente para la explotación de canteras se debe cumplir con exigencias técnicas, teniendo como base un planeamiento adecuado y un estudio ambiental previo por más pequeño que sea el proyecto (Herrera, 2006).

2.2.9.5.1. Clasificación de los tipos de explotaciones de canteras

Según (Herrera, 2006) haciendo una clasificación elemental de tipo de explotaciones de canteras se distinguen:

Canteras de áridos: A este grupo pertenecen los asfaltos, hormigones, incluyéndose también las graveras.

Canteras de roca ornamental: A este grupo pertenece las pizarras, granitos y mármoles.

Canteras de rocas y minerales industriales: A este grupo pertenece los cementos, ladrillería, cerámica y vidrio.

2.2.9.5.2. Diseño de explotaciones de cantera

De acuerdo a (Herbert, 2017), para elaborar el diseño de explotación de una cantera previamente se debe analizar los siguientes parámetros:

Parámetros del material extraíble. Es uno de los parámetros más importantes ya que determinara mediante un exhaustivo análisis las propiedades individuales y la calidad de los componentes de los materiales a ser explotados, este parámetro está relacionado a la importancia económica que generara un yacimiento al ser explotado.

Parámetros hidrogeológicos. Establece la relación que tendrá el yacimiento a explotar con respecto al nivel freático, la posición que este adopte repercutirá en los costos de explotación.

Parámetros ambientales. Consisten en la evaluación detallada de aspectos relacionados al medio ambiente, analiza el impacto que generara la explotación de un yacimiento al medio ambiente.

Parámetros geométricos. Son modelos geológicos y estructurales que permiten:
Evaluar detalladamente las dimensiones y homogeneidad de las formaciones geológicas.

Evaluar la orientación de los afloramientos de la roca e inclinación del macizo rocoso(taludes)

Analizar las características geomecánicas de los yacimientos.

2.2.9.5.3. Parámetros para el diseño de una cantera

Para la explotación de una cantera se analizarán parámetros y criterios que permitan alcanzar producciones óptimas de forma económica y de la mano con la seguridad integral de los trabajadores (Herbert, 2017).

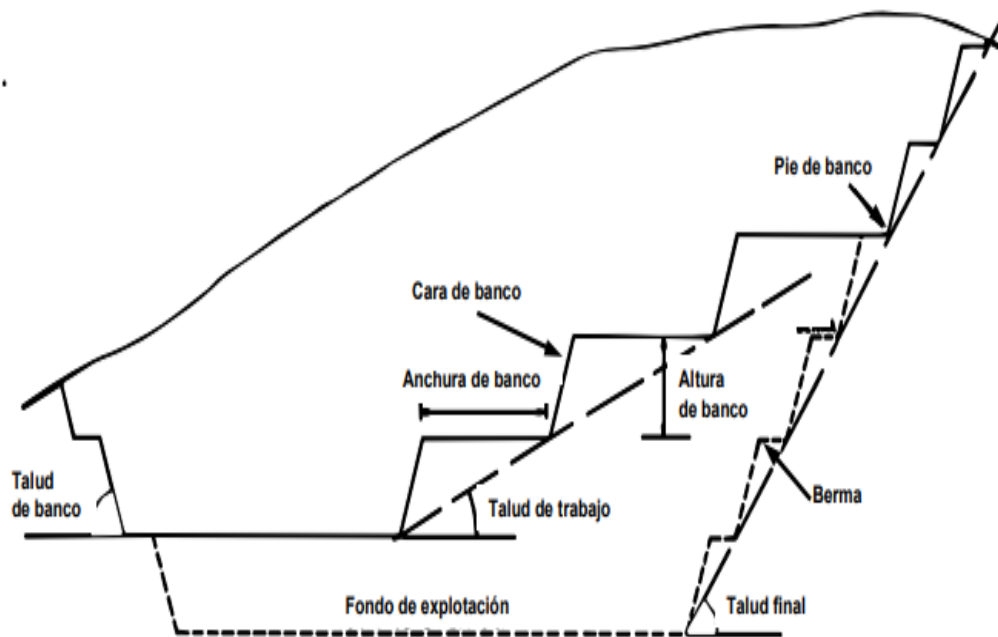


Figura 8: Parámetros para el diseño de cantera

Fuente. Herbert, (2017)

Según (Herbert, 2017), los parámetros fundamentales a tomar en cuenta para el diseño de canteras son:

Ancho de las plataformas de trabajo (tajo): Es la longitud necesaria para que los equipos de carguío y acarreo (palas y volquetes) operen simultáneamente sin complicaciones.

Bancos: Es la porción o bloque de material que se va a explotar y se encuentra situada entre dos niveles en forma de escalón.

Altura de banco: Es la longitud medida verticalmente desde en el nivel inferior (pie) de un banco hasta el nivel superior(cabeza) del mismo. La altura del banco está relacionada directamente a la altura que alcanza la cuchara de los equipos de carga.

Talud de banco: Es el ángulo formado por la horizontal y la línea de máxima pendiente de la cara del banco.

Talud de trabajo: Es el ángulo que constituye una pendiente temporal, formado por los pies de los bancos entre los cuales se ubica las zonas de trabajo.

Límites finales de la explotación: Son aquellas fronteras hasta donde se realizan explotaciones. El fondo de la explotación está determinado por el límite vertical y los taludes finales por límites laterales.

Talud final de explotación: Es el ángulo formado por la horizontal imaginaria trazada sobre el pie del primer banco (inferior) y la línea que lo une con la cresta del último banco(superior).

Bermas: Son estructuras horizontales existentes sobre los taludes finales, hechas para mantener la estabilidad de un talud y también sirven como soporte frente a deslizamientos de rocas. Las bermas están relacionadas con el ángulo que adoptan los taludes de los bancos, si el ángulo es menor a 45° entonces se hará una berma cada tres cuatro bancos, pero si el ángulo es 75° se hará una berma cada dos bancos.

Ancho de las Pistas o Rampas: Son caminos de acceso que sirven para el desplazamiento de equipos y materiales dentro de la explotación y el ancho se calcula mediante la siguiente operación matemática:

$$A = a (0,5 + 1,5 n)$$

Donde:

A = ancho de la rampa (m)
a = ancho de maquinaria (m)
n = número de carriles requeridos.

Ángulo de reposo del material: Es el ángulo máximo del talud para que el material suelto este estable.

2.2.9.5.4. Explotación de canteras en laderas

De acuerdo con (Herbert, 2017) respecto al rumbo en que se realicen los trabajos de explotación, pueden aplicarse los siguientes procedimientos:

Avance frontal y frente de trabajo de altura creciente: Es la forma más frecuente de explotación de canteras por tener la distancia de acarreo más corta, sin embargo, no es posible la restauración de los taludes de bancos debido a las elevadas alturas de explotación del yacimiento.

Excavación descendente y abandono del talud final en bancos altos: Se puede iniciar con anticipación la restauración de los bancos desde la parte superior hasta la parte inferior, es por ende que se necesita un diseño previo de talud final, también se requiere la construcción de las vías de acceso a los niveles superiores para iniciar la explotación en forma descendente.

Avance lateral y abandono del talud final: Se lleva a cabo cuando se prioriza el avance lateral amplio de la cantera y no el avance a profundidad de yacimiento.



Figura 9: Diseño de cantera en ladera

Fuente: Herbert, (2017)

2.2.10. Estabilidad de taludes

Es un parámetro fundamental para la explotación de un yacimiento, debe ser analizada antes de empezar un proyecto y también constantemente durante la explotación. Los estudios realizados para el diseño de un talud implican una evaluación minuciosa de las características geomecánicas del macizo. El F.S (Factor de seguridad) es la valoración que mide la estabilidad de los taludes y es la relación existente entre las fuerzas resistentes sobre las fuerzas desestabilizadoras, para que el talud sea estable el Factor de Seguridad tiene que ser mayor que el valor 01 (Herbert ,2017).

2.2.11. Minerales Industriales

Son aquellos que se utilizan principalmente en la industria para la fabricación de diferentes productos o materiales. Son minerales que se extraen de la tierra y se procesan para obtener los componentes que se necesitan para diversos usos. Existen diferentes tipos de minerales industriales, cada uno con propiedades y características específicas que los hacen aptos para su uso en diferentes aplicaciones. Los minerales industriales son esenciales para numerosas industrias, ya que proporcionan propiedades y características específicas que mejoran la calidad y el desempeño de los productos. Los ejemplos mencionados son solo algunos de los muchos minerales industriales que se utilizan (Guerrero, 2014).

Algunos ejemplos de minerales industriales son:

Talco: es un mineral suave y sedoso que se encuentra en la naturaleza en forma de rocas. Se utiliza en industrias como la cosmética, la farmacéutica y la cerámica debido a su capacidad para absorber humedad y proporcionar propiedades lubricantes.

Feldespato: es un mineral muy común que se utiliza en la fabricación de vidrio, cerámica y esmaltes debido a su capacidad para reducir la temperatura de fusión y mejorar las propiedades mecánicas de los materiales.

Caolín: es un mineral arcilloso que se utiliza en la industria del papel, la cerámica y la pintura debido a su capacidad para aportar blancura y opacidad a los productos.

Cuarzo: es un mineral duro y resistente que se utiliza en la industria del vidrio debido a su alto punto de fusión y su capacidad de transmitir la luz de manera eficiente.

Barita: es un mineral denso que se utiliza en la industria petrolera como aditivo para controlar la densidad del fluido de perforación y evitar la migración de los fluidos hacia la formación.

2.2.12. Arena de sílice

La arena de sílice es un tipo de arena compuesta principalmente de granos de sílice, un compuesto químico formado por sílice y oxígeno. Es uno de los minerales más abundantes en la corteza terrestre y se encuentra en diversas formas, como la arena de sílice blanca, la arena de sílice transparente y la arena de sílice de color. Su composición química posee altos valores de SiO₂. (Guerrero, 2014).

Propiedades físicas de la arena de sílice

La arena de sílice tiene varias propiedades físicas que la hacen valiosa en diversos campos y aplicaciones. Una de sus características más destacadas es su textura granulada y su tamaño de partícula. La granulometría de la arena de sílice puede variar desde partículas muy finas hasta granos más gruesos.

Otra propiedad importante de la arena de sílice es su dureza y resistencia. Debido a su estructura cristalina, la arena de sílice es un material bastante duro y resistente, lo que la hace adecuada para su uso en la fabricación de productos que requieren durabilidad y resistencia al desgaste.

Además de su textura y dureza, la arena de sílice también se caracteriza por su transparencia y color. Dependiendo de la forma y la ubicación geográfica, la arena de sílice puede ser completamente transparente, blanca o tener diferentes colores debido a la presencia de impurezas. (Guerrero, 2014).

Propiedades químicas de la arena de sílice

La arena de sílice también tiene propiedades químicas destacadas que la hacen útil en varias aplicaciones. Una de estas propiedades es su estabilidad térmica. La arena de sílice puede soportar temperaturas extremadamente altas sin sufrir cambios significativos en su estructura. Esto la convierte en un material ideal para su uso en aplicaciones que implican altas temperaturas, como la fabricación de vidrio o la fundición de metales. Otra propiedad química importante de la arena de sílice es su inercia química. La arena de sílice es un material no reactivo, lo que

significa que no reaccionará químicamente con la mayoría de los productos químicos y sustancias. Esta propiedad la hace segura y adecuada para su uso en aplicaciones donde se requiere un material no reactivo o como filtro para sustancias químicas. (Guerrero, 2014).

2.2.12.1. Usos de la arena de sílice

La arena de sílice se utiliza en una amplia gama de aplicaciones industriales y no industriales debido a sus propiedades físicas y químicas únicas.

De acuerdo con (Guerrero, 2014) los usos más comunes son:

Industria del vidrio: La arena de sílice es un componente básico en la fabricación de vidrio. Debido a su alta pureza y estabilidad térmica, la arena de sílice se utiliza para hacer vidrio transparente y resistente. También se utiliza en la fabricación de vidrio especializado, como vidrio de fibra óptica.

Producción de cerámica: La arena de sílice también se utiliza en la producción de cerámica, donde actúa como un agente de formación y ayuda a crear una estructura sólida. En la producción de cerámica, la arena de sílice se mezcla con otros materiales cerámicos y se calienta a altas temperaturas para formar objetos cerámicos duraderos.

Fabricación de hormigón: La arena de sílice es un constituyente fundamental en la fabricación de hormigón. Es usado como material de relleno para proporcionar fuerza y estabilidad estructural al hormigón, la arena de sílice mejora la calidad y durabilidad del hormigón.

Filtración de agua: La arena de sílice también se utiliza en sistemas de filtración de agua. Debido a su granulometría y capacidad para retener partículas pequeñas, la arena de sílice se utiliza como medio de filtración en piscinas, plantas de tratamiento de agua y sistemas de filtración de agua potable.

2.2.12.2. Fabricación del vidrio a partir de la arena de sílice

El vidrio tiene componentes inorgánicos que se encuentran en el medioambiente y son utilizados por el hombre para generar vidrio artificial, este tipo de vidrio se genera mezclando arena de sílice, caliza y carbonato de sodio estos se calientan a 1500° C para lograr su fusión, luego se enfrían formando estructuras solidas no cristalinas.

La fabricación de vidrio es muy importante en la rama de la ingeniería, aplicado a la construcción, sirve para la elaboración de ventanas, lunas para vehículos, computadora entre otras. También por ser un correcto aislante eléctrico se utiliza para elaborar materiales de laboratorio y recipientes herméticos.

El vidrio tiene mucha importancia debido a que son muy útiles para las aplicaciones de ingeniería como en la construcción para cristales de vehículos, ventanas, lámparas, televisores, computadoras, etc. Una de las propiedades más importantes del vidrio es que es un buen aislante eléctrico, con él se pueden hacer recipientes herméticos al vacío, así mismo como para la elaboración de productos de laboratorio (Guerrero, 2014).

Tabla 6. Composición de arenas para la fabricación de vidrio

Componentes	Desde	Hasta
SiO ₂	68.0	74.5
Al ₂ O ₂	0.0	4.0
Fe ₂ O ₃	0.0	0.45
K ₂ O	0.0	4.0
MgO	0.0	4.0

Fuente: Guerrero, (2014).

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Macizo rocoso: se define macizo rocoso como la forma en la que se presenta las rocas en medio natural. Así pues, un macizo rocoso estará definido como por la roca y la estructura, que a su vez contendrá planos de estratificación, fallas, juntas, pliegues y otros caracteres estructurales. Los macizos rocosos son por tanto discontinuos y pueden presentar propiedades heterogéneas y/o anisotrópicas (Ramírez & Alejano, 2004).

Según (González de Vallejo, 2004) un macizo rocoso es “conjunto de los bloques de matriz rocosa y de las discontinuidades de diverso tipo que afectan al medio rocoso. Mecánicamente los macizos rocosos son medios discontinuos, anisótropos y heterogéneos”.

Discontinuidades: una discontinuidad es cualquier plano de origen mecánico o sedimentario que independiza o separa los bloques de matriz rocosa en un macizo rocoso. Generalmente la resistencia a la tracción de los planos de discontinuidad es muy baja o nula. Su comportamiento mecánico queda caracterizado por su resistencia al corte o, en su caso, por la del material de relleno (González de Vallejo, 2004).

Diaclasa: fractura que aparece en el cuerpo de una roca ocasionalmente producida por los esfuerzos tectónicos, presentando direcciones definidas a las cuales se les denomina sistemas de diaclasas. Las diaclasas tienen especial importancia en el modelado terrestre dado que facilita la erosión. El diaclasamiento está controlado por la estructura geológica y por las deformaciones tectónicas (Dávila Burga, 2011).

Las diaclasas o juntas son los planos de discontinuidad más frecuentes en los macizos rocosos, y corresponden a superficies de fracturación o rotura de la roca a favor de las cuales no ha habido desplazamiento o ha sido muy pequeño y afectan a cualquier tipo de roca (González de Vallejo, 2004).

Estructura: se refiere a rasgos morfológicos asociados al proceso de formación de una roca o un macizo rocoso, por ejemplo, una colada de lava, un dique, un estrato sedimentario, o al posterior efecto de procesos tectónicos deformativos (plegamiento, diaclasamiento, fallamiento, cizalla dúctil). También se aplica en rocas sedimentarias, donde se reconocen estructuras que permiten deducir los procesos deposicionales. Las estructuras, junto a la litología, ejercen un control principal en la distribución de las mineralizaciones a sus distintas escalas (Oyarzún, 2014).

Estabilidad de taludes: el estudio de la estabilidad de taludes se efectúa evaluando talud por talud y se asocian a la presencia de discontinuidades y la orientación del macizo rocoso; la estabilidad de taludes está directamente relacionada con la presencia de agua ya que es un factor determinante a tener en cuenta en el momento de la explotación (Oyanguren y Monge, 2004)

Deformabilidad de la roca: para (Goodman, 1987), “La deformabilidad significa la capacidad de la roca para deformarse bajo cargas aplicadas o en respuesta a descargas en la excavación. Las deformaciones en las rocas son de interés para la ingeniería incluso cuando hay poco riesgo de falla de las rocas porque los grandes desplazamientos de rocas locales pueden aumentar las tensiones dentro de las estructuras”.

La deformabilidad de un macizo rocoso viene dada por las relaciones entre los esfuerzos aplicados y las deformaciones producidas, y queda definida por su módulo de deformación, que relaciona la tensión o esfuerzo con la deformación correspondiente (Gonzales de Vallejo, 2004).

Coefficiente de Seguridad (F.S): el coeficiente de seguridad en un talud debe ser mayor que 1 para que no haya rotura, para esto el talud debe tener cierta inclinación; para taludes mineros donde se necesita la estabilidad temporal solo es necesario un coeficiente igual o mayor de 1.2; pero para taludes mineros donde la estabilidad será permanente se necesita un coeficiente mayor a 1.5 (Oyanguren y Monge, 2004).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

La zona de la presente investigación se encuentra en el centro Poblado de Cruz Blanca y Pariamarca. Provincia y departamento de Cajamarca. Se ubica a 4 km y al SO de la ciudad de Cajamarca. (Ver Anexo 1. Plano N.º 01)

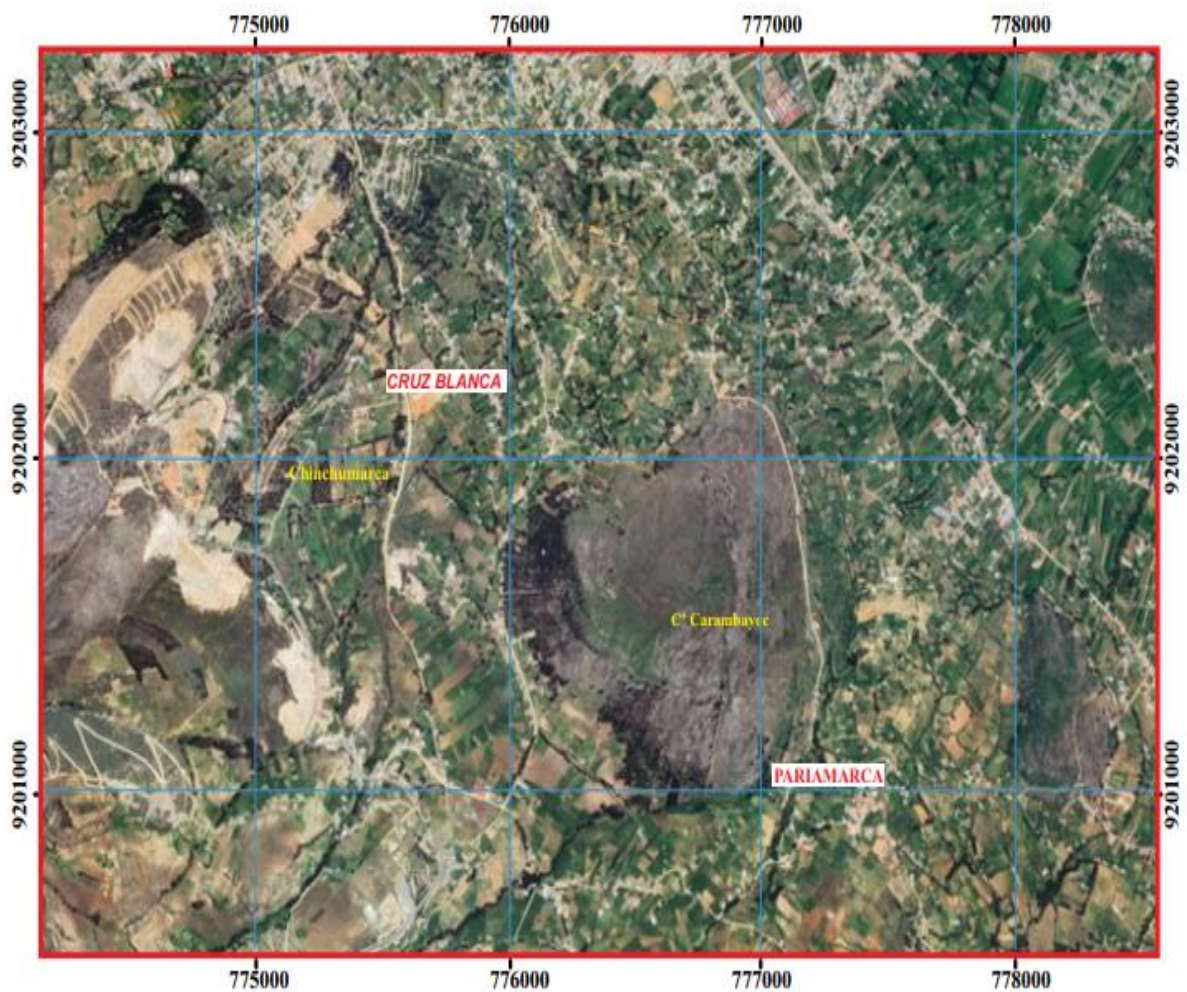


Figura 10: Ubicación del área de estudio

3.2. ACCESIBILIDAD

Las vías de acceso a la zona de estudios son diversas entre ellas tenemos:

Tabla 7. Acceso a la zona de estudio

Tramo	Distancia (Km)	Tiempo (hrs)	Condición
Cajamarca- Pariamarca	15	1.30	Asfaltada- afirmada
La Paccha- Pariamarca	03	0.50	Camino herradura
Cajamarca- Cruz Blanca	10	0.80	Asfaltada
Cruz Blanca- Pariamarca	08	0.50	Camino de herradura



Figura 11: Carretera salida a la Costa acceso importante a la zona de Cruz Blanca, con coordenadas Este: 775020.93, Norte: 9204284.68 y Cota :2837 m.s.n.m



Figura 12: Puesto de Salud Pariamarca. Al frente se observa la Formación Chimú y que conforma el Cerro Carambayoc, con coordenadas Este: 774940.16, Norte: 9202201.49 y Cota :311 9 m.s.n.m

3.3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.3.1. Tipo, nivel, diseño y método de la investigación

De acuerdo con (Hernández, 2014), el tipo, nivel, diseño y método de la investigación es:

3.3.1.1. Tipo de investigación

De carácter exploratorio- correlacional, ya que tiene por finalidad el estudio de un tema específico que servirá como antecedente de futuras investigaciones y se describirán y evaluarán las variables con el fin de determinar su relación.

3.3.1.2. Nivel de investigación

De carácter cualitativo y cuantitativo porque se caracterizará los macizos rocosos por medio de la observación, para luego mediante mediciones y ecuaciones matemáticas estos se cuantifiquen en valores.

3.3.1.3. Diseño de investigación

De carácter no experimental pues no se manipulan ni se controlan las variables y de sección transversal pues se estudia en un momento determinado de tiempo.

3.3.1.4. Método de investigación

De carácter analítico porque no solo describe las variables, sino que las analiza desde un punto de vista más profundo y minucioso.

3.3.1.5. Población de estudio

Todas las formaciones de areniscas del Grupo Goyllarisquizga que afloran en la localidad de Cajamarca.

3.3.1.6. Muestras

Cuatro estaciones geomecánicas para la evaluación geomecánica en los macizos rocosos de las formaciones Chimú y Farrat.

3.3.1.7. Unidad de análisis

La unidad de análisis está conformada por las Clasificaciones Geomecánicas (RQD, RMR y GSI) realizadas a los macizos rocosos areniscos que afloran en las localidades de Paríamarca y Cruz Blanca.

3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.4.1. Técnicas

Para el desarrollo de la investigación se aplicará técnicas directas, basándose en la observación directa en campo, descripción y explicación de las unidades de análisis para su posterior cartografiado, empleando como instrumento fundamental la ficha de recolección de datos y libreta de campo. También se realizará, en su parte inicial un análisis documental haciendo una exhaustiva recopilación bibliográfica. Luego se realizarán salidas al campo con el fin de observar directamente las estructuras y obtener información insitu; posteriormente se describirá las propiedades y características del macizo rocoso para su evaluación

geomecánica y también se sacarán muestras en cada estación geomecánica para la realización del análisis químico; a continuación, se hizo una serie de mediciones para determinar el diseño y el tipo de método de explotación a aplicar. Con la ayuda de softwares se obtendrán resultados que serán explicados, finalmente se elaboran los mapas geológicos, perfiles para su interpretación final.

3.4.2. Instrumentos y equipos

Los instrumentos y equipos utilizados en la ejecución de la presente investigación con el fin de recopilar datos fueron:

Boletines geológicos del INGEMET: Para obtener información geológica de la zona de estudio.

Ficha de recolección de datos: Instrumentos en los cuales plasmamos por escrito información importante que hemos encontrado en nuestros procesos de búsqueda de información y que deseamos tener al alcance de nuestras manos en cualquier momento.

Libreta de campo: Usado para anotar apuntes importantes de acuerdo a las estaciones geomecánicas evaluadas.

GPS Navegatorio: Utilizado para la ubicación exacta de las zonas de estudio, mediante coordenadas de las estaciones geomecánicas.

Brújula Brunton: Utilizado para medir en grados direccionales la orientación (rumbo y buzamiento) de las discontinuidades del macizo rocoso.

Martillo Schmidt: Utilizado para calcular la resistencia a la compresión uniaxial de la roca de manera más exacta en campo.

Martillo de geólogo: Utilizado para romper estructuras del macizo rocoso y poder analizarlas de la mejor manera.

Protáctor: Se utiliza para medir ángulos, abertura y relleno de discontinuidades.

Flexómetro de 5 m.: Instrumento que sirve para medir longitudes en superficies rectas o curvas.

Ácido clorhídrico: Utilizado para analizar la constitución mineralógica de las rocas.

Wincha 30 m: Utilizado para medir grandes distancias de las estructuras de macizo rocoso en la zona de investigación.

Lupa 40X (40 aumentos): Instrumento que nos servirá para identificar minerales, texturas y estructuras de la roca.

Cámara fotográfica Lumix de 15mp: Usado para capturar imágenes para luego ser plasmado en el informe final.



GPS Navegatorio



Brújula Tipo Brunton



Martillo de geólogo



Ácido clorhídrico



Protactor escala
1/20000



Wincha 30m



Flexómetro 5 m



Libreta de campo



Lupa 40x (40 aumento)



Martillo Schmitd



Camara fotográfica

Figura 13: Instrumentos y equipos de campo utilizados en la presente investigación.

3.5. PROCEDIMIENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

Información Preliminar

En esta etapa se hizo el plan de trabajo, se recopiló información a base de libros, artículos científicos y páginas de internet y se delimitó objeto de estudio.

Saida a Campo

En esta etapa se visitó las zonas de estudio con el fin de fijar 04 estaciones y tomar información "insitu" de las estructuras a evaluar para posteriormente hacerse la evaluación geomecánica del macizo rocoso, también en esta etapa se tomaron 08 muestras para ser analizadas en laboratorio.

Procesamiento de la información

Se dividió en tres etapas que son:

Análisis de la información: En esta etapa se realizó el análisis exhaustivo de la información tomada en campo para encontrar los valores del RQD, RMR, GSI y APF.

Procesamiento e Interpretación: Se procesó la información utilizando los softwares ROCADATA que nos permitió encontrar el ángulo de fricción y la cohesión de la roca, el DIPS que nos permitió evaluar el criterio de rotura de las fallas existentes en las estructuras, el SLIDE que permitió encontrar el F.S para determinar a estabilidad del talud, el ARCGIS que permitió elaborar los perfiles geológicos de las zonas de estudio y el AutoCAD para el diseño geométrico de los yacimientos.

Resultados de la evaluación geomecánica: En esta etapa se contrasta los resultados con el afán de elegir el mejor método de explotación

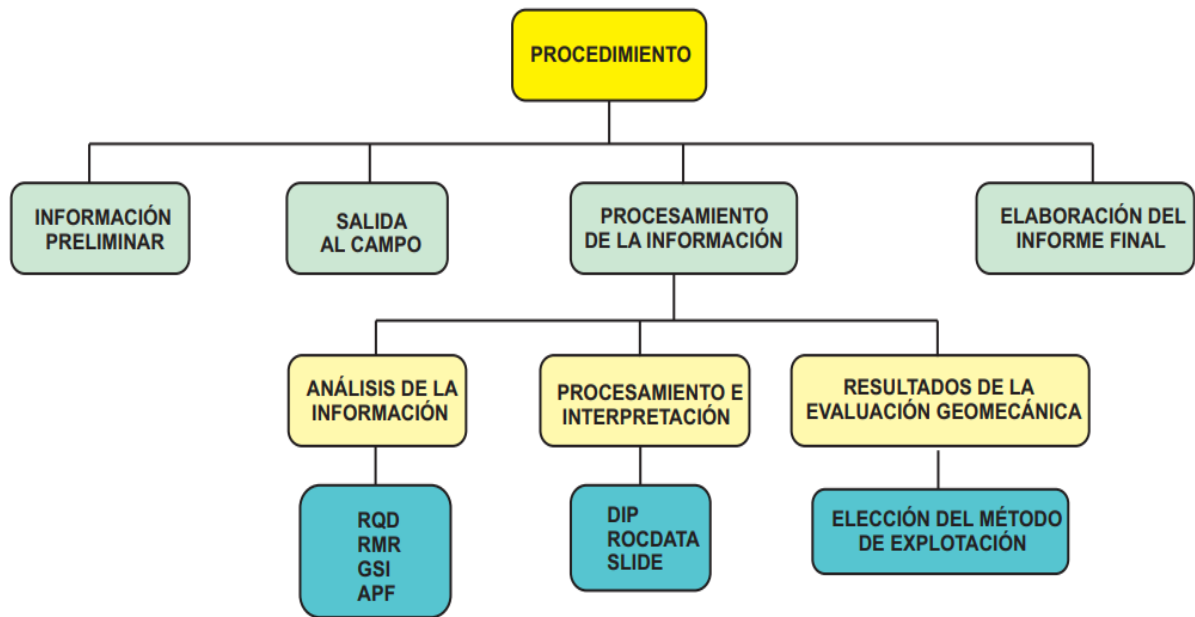


Figura 14: Procedimiento seguido en la presente investigación

3.5.1. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS

Los datos obtenidos producto de la recopilación tomada tanto en gabinete como en campo serán plasmados en libretas y fichas de recolección los que posteriormente serán analizados y procesados por los softwares DIPS para evaluar el criterio de rotura de las fallas existentes en las estructuras, el ROCDATA para análisis de las propiedades de las rocas cohesión y ángulo de fricción, el SLIDE para calcular el F.S de las estructuras y el software ArcGIS 10.2 para elaborar los diferentes mapas, perfiles y columnas geológicas y el AutoCAD para el diseño geométrico de los yacimientos.

3.6. GEOLOGÍA LOCAL

En las localidades Cruz Blanca y Pariamarca afloran rocas que poseen edades desde el Cretácico Inferior al reciente. El Grupo Goyllarisquizga está conformado por las Formaciones Chimú, Santa, Carhuaz y Farrat (Benavides, 1956):

3.6.1 Cretácico inferior

Grupo Goyllarisquizga

Formación Chimú (Ki-chim)

Se encuentra aflorando en el Centro Poblado de Pariamarca y en el cerro Carambayoc. Litológicamente está constituida por una alternancia de areniscas cuarzosas, areniscas conglomeráticas finas y esporádicamente se observan lentes de arcillitas. Están dispuestas en estratos delgados a gruesos. Esta unidad se depositó en un ambiente continental. A veces se observan mantos de carbón principalmente en la parte inferior de esta unidad. Se encuentra infrayaciendo en forma transicional a la Formación Santa.



Figura 15: Afloramientos de la Formación Chimú. Foto tomada cerca al Cerro Carambayoc con coordenadas Este: 775866.28, Norte: 9202171.48, Cota 2999 m.s.n.m

Formación Santa (Ki-sa)

Esta unidad se encuentra aflorando al SE de la localidad de Cruz Blanca, litológicamente está compuesta por una alternancia de arcillitas calcáreas, areniscas de grano fino y horizontes de calizas fosilíferas. Estratigráficamente está compuesta por estratos delgados a muy delgados. Posee un espesor aproximado de 80m. Se encuentra sobre yaciendo en forma concordante a la Formación Chimú e infrayace en la misma relación a la Formación Carhuaz.

Formación Carhuáz (Ki-ca)

Se encuentra aflorando al SO de la localidad de Pariamarca y está conformada por una alternancia de areniscas, limo y arcillitas. Posee un espesor aproximado de 400m. Estratigráficamente está conformada por estratos delgados. Se encuentra sobreyaciendo en forma concordante a la Formación Santa y en la misma relación se encuentra infrayaciendo a la Formación Farrat. Esta unidad se depositó en un ambiente continental.



Figura 16: Estrato de arcilla de 50cm dentro de la Formación Carhuaz con coordenadas Este: 774484.70, Norte: 9203481.41, Cota 3032 m.s.n.m

Formación Farrat (Ki-fa)

Esta unidad se encuentra aflorando en la localidad de Cruz Blanca. Litológicamente está constituida por una secuencia de areniscas cuarzosas muy similar a la Formación Chimú. Esta unidad se depositó en un ambiente continental. Estratigráficamente está conformada por estratos medianos a gruesos. Se encuentra sobreyaciendo a la Formación Carhuaz e infrayaciendo a la Formación Inca.

3.6.2. Cuaternario

Depósitos fluviales (Qh- al)

Se encuentran en la parte baja de la zona de estudio. Está conformado por depósitos de arenas, limos, gravas. Estos sedimentos a veces son utilizados por los pobladores para la construcción de sus viviendas. Se encuentran rellenando una paleo- depresión.

3. 7. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

En la zona de estudio se observa un sinclinal dentro de la Formación Farrat y cuyo eje posee una orientación del NO- SE y otro dentro de la Formación Yumagual cuya orientación también es NO- SE. Estos pliegues se caracterizan por ser simétricos. Al SO de la localidad de Pariamarca se observa una falla que pone en contacto anormal a la Formación Carhuaz con la Formación Chimú y a la Formación Chimú y Formación Chulec y que es una proyección de una falla secundaria de la Falla Cajamarca. El área de estudio se ubica al NO de la Falla Cajamarca y dentro de la Zona de Falla por lo que ha sido afectada intensamente por fracturas secundarias. Se ha efectuado el análisis poblacional de fracturas (APF) de dos estaciones estructurales, uno en la localidad de Pariamarca y la otra en la localidad de Cruz Blanca. Se determinó que las fracturas existentes en estas dos localidades fueron generadas por la acción de la Falla Cajamarca existiendo esfuerzos de orientación NE- SO y NO- SE. Además, se determinó que estas fracturas se intersectan generando fracturamiento de las rocas areniscosas.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se explican detalladamente los procedimientos que se realizaron para obtener los resultados de acuerdo a los objetivos específicos planteados; primeramente, como muestra se identificaron 04 estaciones geomecánicas para ser evaluadas y se analizaron los parámetros geomecánicos de los macizos rocosos tales como el: RQD, RMR de Bieniawski (1989) y el índice de resistencia geológica (GSI). También se utilizó el programa ROCDATA para determinar los valores de la cohesión y el ángulo de fricción, estos dos valores fueron utilizados en el programa DIPS y SLIDE para realizar los análisis cinemáticos y calcular el Factor de Seguridad (FS) de los taludes existentes; se realizó el análisis químico de 08 muestras de areniscas para verificar si son económicamente rentables para ser explotadas como minerales industriales y por último se determinó el método de explotación y se diseñó parámetros geotécnicos, geométricos para la explotación de las areniscas pertenecientes a las formaciones Chimú y Farrat de la zona Paríamarca - Cruz Blanca.

Se han analizado 04 estaciones geomecánicas en los macizos rocosos 02 en la localidad de Cruz Blanca y 02 en la localidad de Paríamarca.

Tabla 8 Ubicación de las estaciones geomecánicas en la zona de estudio

Código	Coordenadas UTM	
	Norte	Este
EG-01CB	9205450	774750
EG-02CB	9205150	774850
EG-01PA	9204950	774150
EG-02PA	9204650	773650

Análisis de la resistencia de la roca (RCU) en las 04 estaciones

Se determino utilizando martillo Schmidt (esclerómetro) tipo L, modelo 45-561, el martillo se puede utilizar en 5 posiciones: vertical de arriba hacia abajo (-90°), inclinado (-45°; +45°), Horizontal (0°), vertical de abajo hacia arriba (+90°).

Para calcular el valor promedio de rebote utilizamos el procedimiento modificado por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM) que consiste en realizar diez lecturas en varios lugares de la superficie de la roca para luego descartar los cinco valores más bajos y promediar los cinco valores más altos, dándonos como resultado el valor promedio de rebotes que se correlacionara con el peso específico en el ábaco de Miller dándonos como resultado la resistencia de la roca como se muestra en la siguiente grafica.

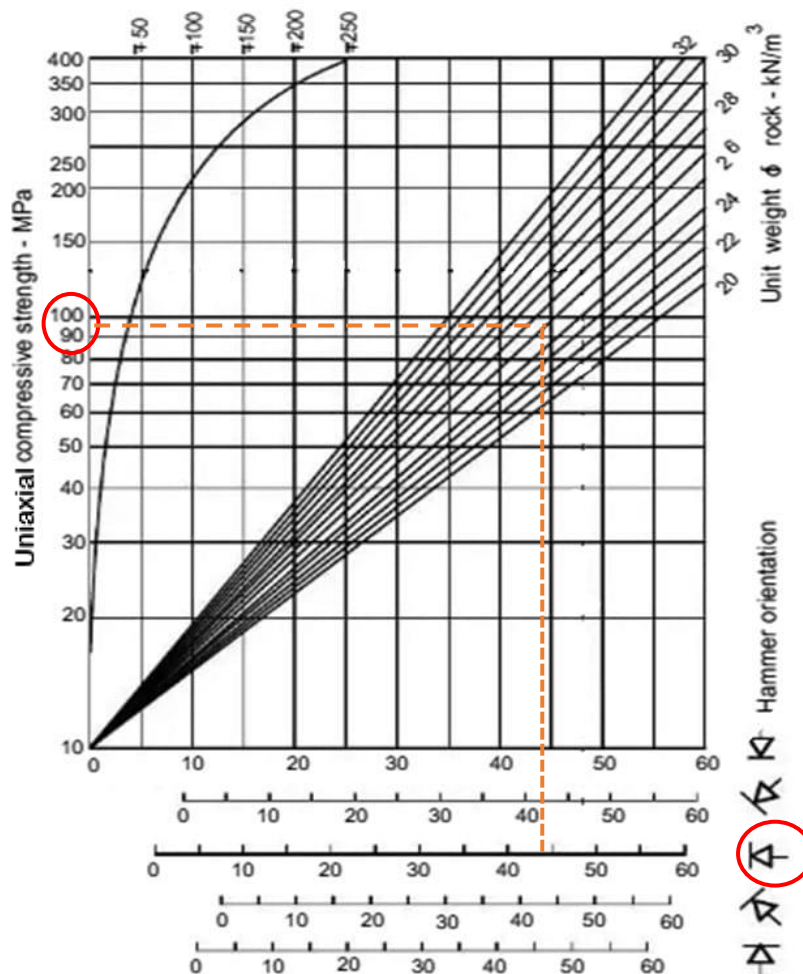


Figura 17: Gráfico de Miller

Fuente: Lozano, (2009).

Sin embargo, el gráfico de Miller nos presenta un valor que se encuentra en un intervalo mas no un valor exacto es por es que para hallar el valor más exacto se ha utilizado la siguiente ecuación:

$$\text{Log}(RCU) = (0.00088 * PE * VR) + 1.01$$

Donde:

RCU: es la resistencia de la roca a la compresión uniaxial (MPa).

PE: es el peso específico de a roca (KN/m3).

VR: es el valor de rebote de esclerómetro.

Pero solo esta fórmula es aplicable en el caso que el martillo tenga orientación vertical de arriba hacia abajo (-90), en caso contrario se aplicaran las correcciones para cada posición de martillo con el fin de utilizar correctamente dicha fórmula.

A continuación, se muestra una tabla con las correcciones para cada posición del martillo Schmidt

Tabla 9. Correcciones de los valores de la Resistencia a la compresión

VR (-)	Inclinación del Martillo (°)				
	-90	-45	0	45	90
10	0	-0.8	-3.2	-	-
20	0	-0.9	-3,4	-6.9	-8.8
30	0	-0.8	-3.1	-6.2	-7.8
40	0	-0.7	-2.7	-5.3	-6.6
50	0	-0.6	-2.2	-4.3	-5.3
60	0	-0.4	-1.7	-3.3	-4.0

Fuente: ISRM, (2003).

Tabla 10. Cálculo del valor de la RCU de la Estación Geomecánica EG-01CB

Macizo rocoso		Especificaciones del martillo de Schmidt	Ensayo de campo			
Litología	Peso específico (PE) (KN/m3)	Orientación	Valor de Rebote (VR)	Corrección del valor de rebote	RCU (MPa) Log (RCU)=(0.00088*PE*NR) +1.01	VALOR DE RCU (MPa)
Arenisca	25.9	Horizontal	46	43.5	100.2	98.00
		Horizontal	45	42.4	94.6	
		Horizontal	45	42.4	94.6	
		Horizontal	46	43.5	100.2	
		Horizontal	46	43.5	100.2	
		Horizontal	44	41.4	89.7	
		Horizontal	44	41.4	89.7	
		Horizontal	44	41.4	89.7	
		Horizontal	43	40.3	67.6	
		Horizontal	43	40.3	67.6	

Tabla 11. Cálculo del valor de la RCU de la Estación Geomecánica EG-02CB

Macizo rocoso		Especificaciones del martillo de Schmidt	Ensayo de campo		RCU (MPa) Log (RCU)=(0.00088*PE*NR) +1.01	VALOR DE RCU (MPa)
Litología	Peso específico (PE) (KN/m3)	Orientación	Valor de Rebote (VR)	Corrección del valor de rebote		
Arenisca	25.9	Vertical hacia abajo	43	43	97.7	90.00
		Vertical hacia abajo	41	41	87.9	
		Vertical hacia abajo	42	42	92.7	
		Vertical hacia abajo	40	40	83.4	
		Vertical hacia abajo	41	41	87.9	
		Vertical hacia abajo	39	39	79.1	
		Vertical hacia abajo	38	38	75.2	
		Vertical hacia abajo	36	36	67.6	
		Vertical hacia abajo	36	36	67.6	
		Vertical hacia abajo	34	34	60.8	

Tabla 12. Cálculo del valor de la RCU de la Estación Geomecánica EG-01PA

Macizo rocoso		Especificaciones del martillo de Schmidt	Ensayo de campo		RCU (MPa) Log (RCU)=(0.00088*PE*NR) +1.01	VALOR DE RCU (MPa)
Litología	Peso específico (PE) (KN/m3)	Orientación	Valor de Rebote (VR)	Corrección del valor de rebote		
Arenisca	25.9	Vertical hacia abajo	42	42	92.7	95.00
		Diagonal hacia abajo	44	43.3	99.1	
		Diagonal hacia abajo	42	41.3	89.4	
		Vertical hacia abajo	43	43	97.7	
		Diagonal hacia abajo	43	42.3	94.2	
		Diagonal hacia abajo	41	40.3	84.7	
		Diagonal hacia abajo	41	40.3	84.7	
		Vertical hacia abajo	37	37	75.2	
		Vertical hacia abajo	36	36	67.6	
		Vertical hacia abajo	34	34	67.6	

Tabla 13. Cálculo del valor de la RCU de la Estación Geomecánica EG-02 PA

Macizo rocoso		Especificaciones del martillo de Schmidt	Ensayo de campo		RCU (MPa) Log (RCU)=(0.00088*PE*NR) +1.01	VALOR DE RCU (MPa)
Litología	Peso específico (PE) (KN/m3)	Orientación	Valor de Rebote (VR)	Corrección del valor de rebote		
Arenisca	25.9	Horizontal	45	42.4	94.6	96.00
		Diagonal hacia abajo	44	43.3	99.1	
		Horizontal	45	42.4	94.6	
		Diagonal hacia abajo	42	41.3	89.4	
		Horizontal	46	43.5	100.2	
		Diagonal hacia abajo	42	41.3	89.4	
		Diagonal hacia abajo	42	41.3	89.4	
		Diagonal hacia abajo	42	41.3	89.4	
		Diagonal hacia abajo	41	40.3	84.7	
		Diagonal hacia abajo	41	40.3	84.7	

Tabla 14. Resumen de los valores de la Resistencia a la compresión uniaxial

Estaciones	Resistencia a la compresión uniaxial (MPa)
EG-01 CB	98
EG-02 CB	90
EG-01 PA	95
EG-02 PA	96

Los resultados encontrados nos muestran que la roca es dura según la clasificación ISRM.

Tabla 15. Clasificación de la resistencia según la ISRM

Descripción	Resistencia a la compresión uniaxial (MPa)
Extremadamente blanda	< 1 MPa
Muy blanda	1-5 MPa
Blanda	5-25 MPa
Moderadamente blanda	25-50 MPa
Dura	50-100 MPa
Muy dura	100-250 MPa
Extremadamente dura	> 250 MPa

Fuente: Lozano, (2009).

4.1. Análisis de Parámetros Geomecánicos y de Resistencia RQD, RMR, GSI, Cohesión y Angulo de Fricción en cada Estación Geomecánica

Se ha realizado la evaluación de los parámetros geomecánicos y de resistencia de los macizos rocosos ubicados en la localidad de Cruz Blanca y Paríamarca, para lo cual se necesitó conocer la resistencia de la roca a la compresión uniaxial, el Dip, Dip Direction de las fracturas, espaciado, persistencia, apertura, rugosidad, ondulación, tipo de relleno, grado de meteorización, presencia de agua subterránea. La geometría de los taludes se determinó mediante visitas al campo.

4.1.1. Estación geomecánica EG-01 CB

Se ubica en las estructuras de las rocas areniscas de la Formación Farrat. Las areniscas poseen una coloración gris blanquecinas, de grano fino. El análisis macroscópico indica dureza alta. Los estratos son delgados de 50cm en promedio, el rumbo de los estratos está en promedio de N45°0 y su buzamiento de 35° al NE.



Figura 18: Fracturas medidas en la estación Geomecánica Cruz Blanca EG- 01CB, con coordenadas Este: 775410.75, Norte: 9202742.33, Cota 2954 m.s.n.m

4.1.1.1. Cálculo del RQD en la EG-01 CB

El análisis del índice RQD se realizó mediante la ecuación:

$$RQD = 100 * e^{-0.1\lambda} (0.1\lambda + 1)$$

Donde:

Nº de fracturas= 8

Ancho del macizo rocoso= 0.7m

$$\text{Donde: } \lambda = \frac{\text{Nº discontinuidades}}{\text{longitud total del macizo rocoso}} = \frac{8}{0.7} = 11.43$$

Reemplazando se tiene:

$$RQD = 100 * e^{-0.1(11.43)} ((0.1 * 11.43) + 1)$$
$$RQD = 68.33\%$$

Se obtiene un resultado de RQD = 68.33%, lo que indica que el macizo rocoso se ubica en el rango de 50% - 75% de RQD caracterizándose como una roca de mediana calidad. Por lo cual posee una valoración de 13

Tabla 16. Valores del RQD en la EG-01 CB

RQD (%)	Calidad de la roca
100-90	Muy buena
90-75	Buena
75-50	Mediana
50-25	Mala
25-0	Muy mala

Fuente: Deere (1967).

4.1.1.2. Cálculo del RMR en la EG-01 CB

Puntuación de la resistencia de la roca

El valor de la resistencia de la roca es de 98 MPa y por ende le asignamos una puntuación de 7.

Espaciamiento de las discontinuidades

El análisis de los espaciamentos entre las discontinuidades se realizó mediante la medición con el flexómetro y en centímetros. Las fracturas poseen un espaciamiento desde 0.6- 2m dándole una puntuación de 15.

Abertura

Las fracturas poseen una valoración promedio de 3.

Rugosidad

La evaluación de las fracturas por rugosidad se determinó, mediante el tacto, ligeramente rugosa por lo que se le asigna una valoración de 3.

Relleno

Para el cálculo del valor del relleno se le asignó un valor promedio de 4.

Alteración

Se asigna una valoración de 3 (moderadamente alterada).

Presencia de agua

Evaluando el macizo rocoso por presencia de agua, se determina que el macizo rocoso esta ligeramente húmeda por lo que se asigna una valoración de 10.

Resultado de la evaluación por RMR(89)

La valoración de cada caracterización geomecánica está representada en la tabla y se procede a realizar la suma:

Tabla 17. tabla de valoración del RMR89 en la EG-01 CB

1	Resistencia de la matriz rocosa (Mpa)	Ensayo de la carga puntual	>10	10-4	4-2	2-1	Compresión simple		
		Compresión simple	>250	250-100	100-50	50-25	25-5	5-1	<1
	Puntuación		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	<25%		
	Puntuación		20	17	13	6	3		
3	Separación entre diaclasas		>2m	0.6-2 m	0.2-0.6 m	0.06-0.2 m	<0.06 m		
	Puntuación		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	<1 m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	> 20 m		
		Puntuación	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	<0.1 mm	0.1-1.0 mm	1-5 mm	> 5 mm		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulado	Suave		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro < 5 mm	Relleno duro > 5 mm	Relleno blando < 5 mm	Relleno blando > 5 mm		
		Puntuación	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
Puntuación	6	5	3	1	0				
5	Agua freática	Caudal por 10 de túnel	Nulo	< 10 litros/min	10 - 25 litros/min	25-125 litros/min	> 125 litros/min		
		Relación: Presión de agua/Tensión principal mayor	0	0 - 0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	> 0.5		
		Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo		
	Puntuación		15	10	7	4	0		
RMR		57							

La suma de las valoraciones se realiza de la siguiente manera:

$$\text{RMR}(89) = 7 + 13 + 10 + 4 + 3 + 3 + 4 + 3 + 10$$

Obteniendo un resultado de

$$\text{RMR}(89) = 57$$

Este valor RMR de 57 nos indica que el macizo rocoso es de Clase III – Tipo media, que es concordante con el valor del RQD de regular.

Tabla 18. Clasificación de la roca según RMR_{89} en la EG-01 CB

CLASE Nº	TIPO	VALORACIÓN RMR	ANGULO DE FRICCIÓN
I	Roca Muy buena	100- 81	> 45°
II	Roca Buena	80- 61	35°-45°
III	Media	60- 41	25°-35°
IV	Roca Mala	40- 21	1.1- 15°-25°
V	Roca Muy mala	<20	<15°

Fuente: Bieniawski (1973)

4.1.1.3. Cálculo del GSI en EG-01 CB

El cálculo del GSI se realizó mediante el análisis visual en campo, luego se procedió a intersecar las condiciones del macizo rocoso tal como se muestra en la siguiente tabla:

Al realizar el análisis visual y luego intersecar las condiciones del macizo rocoso da como resultado el valor de 52 lo que indica roca de clase III.

Tabla 19. Clasificación rocosa con GSI en la EG-01 CB

Calidad del macizo rocoso	Clase	Valor de GSI
Muy mala	V	1- 20
Mala	VI	21- 40
Regular	III	41- 60
Buena	II	61- 80
Excelente	I	81- 100

Fuente: Hoek et al., (2002).

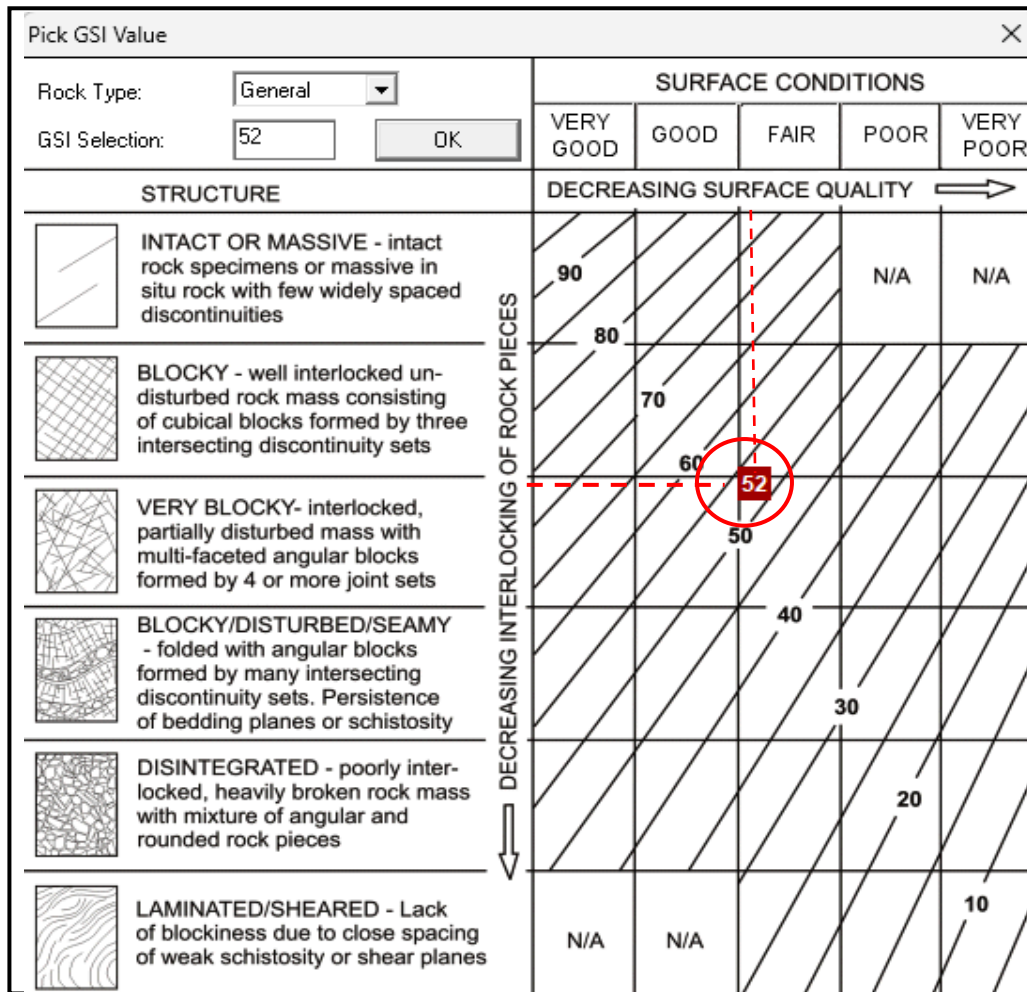


Figura 19: Estimación del Índice GSI en base a inspección visual del macizo rocoso.

Fuente: Hoek y Brown, (1997)

Cabe indicar que para llevar un control de calidad de los resultados obtenidos se debe comparar:

$$RMR = GSI + 5$$

$$RMR = 52 + 5$$

$$RMR = 57$$

Que es muy similar al RMR calculado.

4.1.1.4. Cálculo de la Cohesión y el ángulo de fricción en EG-01 CB

Para determinar las diferentes tensiones existentes en el talud, se usó el criterio de resistencia de Mohr-Coulomb, con el uso del software Rocdata. Para el cálculo de la cohesión y el ángulo de fricción, se utilizaron los datos: sigci, GSI, mi, D,

Tabla 20. Valores de cohesión y ángulo de fricción mediante Rocdata en la EG-01 CB.

Clasificación de Hoek-Brown	
Sigci	98 MPa
GSI	52
Mi	17
D	0.7
Criterio de Hoek-Brown	
Mb	1.285
S	0.0011
A	0.505
Rango de envolvente de falla	
Aplicación	General
sig3max	24.05 MPa
Ajuste de Mohr-Coulomb	
C	4.386 MPa
Phi	28.35°

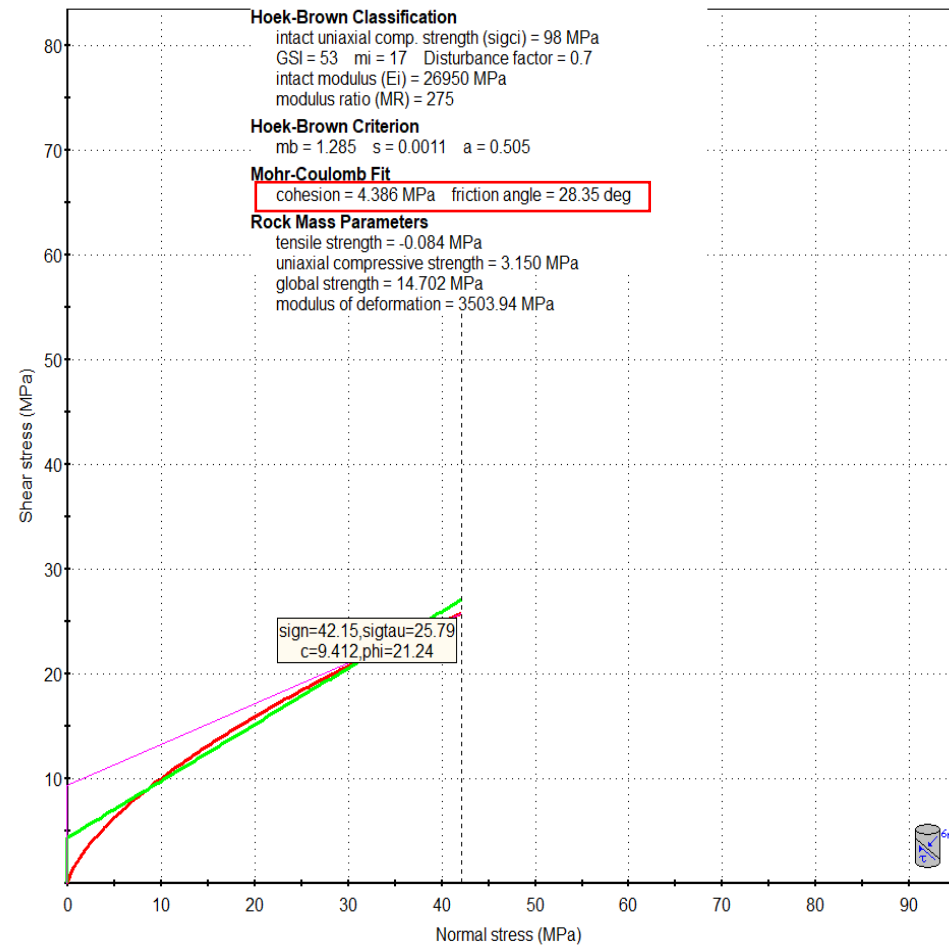
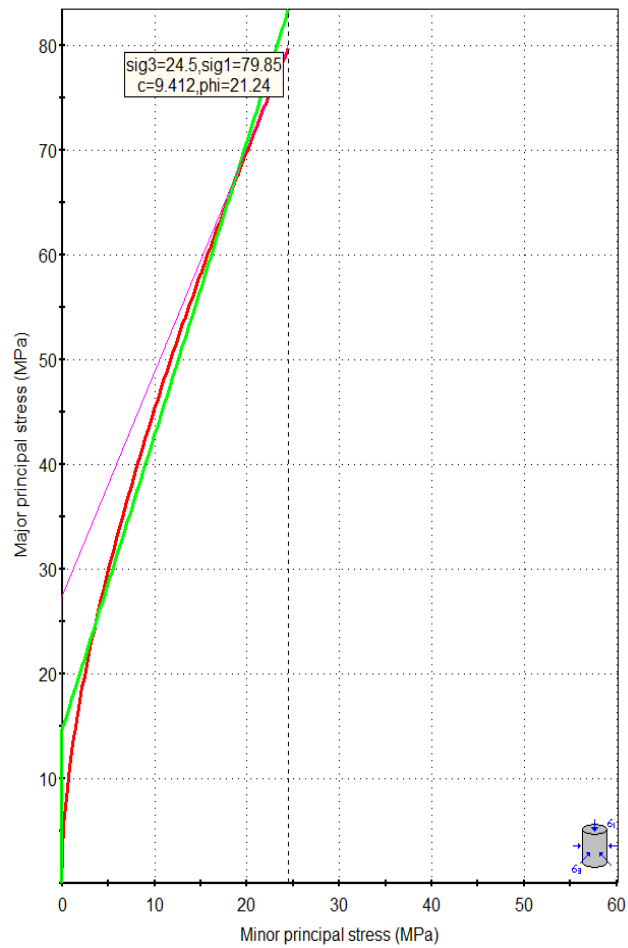


Figura 20: Determinación de la cohesión y el ángulo de fricción para la EG-01 CB en Rocdata

4.1.2. Estación geomecánica EG- 02 CB

Esta estación geomecánica se ubica en rocas de la Formación Farrat. Las areniscas poseen una coloración gris blanquecinas, posee granos medios a finos. Los estratos son medianos 60cm en promedio, el rumbo de los estratos está en promedio de N55°0 y su buzamiento de 45° al NE.



Figura 21: Fracturas medidas en la estación Geomecánica Cruz Blanca EG- 02CB, con coordenadas Este: 777267.58, Norte: 9203254.46, Cota 2798 m.s.n.m

4.1.2.1. Cálculo del RQD en la EG- 02 CB

El análisis del índice RQD se realizó mediante la ecuación:

$$RQD = 100 * e^{-0.1\lambda} (0.1\lambda + 1)$$

Donde:

Nº de fracturas= 10

Ancho del macizo rocoso= 0.7m

$$\text{Donde: } \lambda = \frac{\text{Nº discontinuidades}}{\text{longitud total del macizo rocoso}} = \frac{10}{0.7} = 14.29$$

Reemplazando se tiene:

$$RQD = 100 * e^{-0.1(14.29)} ((0.1 * 14.29) + 1)$$
$$RQD = 58.17\%$$

Se obtiene un resultado de RQD = 58.17%, lo que indica que el macizo rocoso se ubica en el rango de 50% - 75% de RQD caracterizándose como una roca de mediana calidad. Por lo cual posee una valoración de 13

Tabla 21. Valores del RQD en la EG- 02 CB

RQD (%)	Calidad de la roca
100-90	Muy buena
90-75	Buena
75-50	Mediana
50-25	Mala
25-0	Muy mala

Fuente: Deere (1967).

4.1.2.2. Cálculo del RMR en la EG- 02 CB

Puntuación de la resistencia de la roca

El valor de la resistencia de la roca es de 90 MPa y por ende le asignamos una puntuación de 7.

Espaciamiento de las discontinuidades

El análisis de los espaciamentos entre las discontinuidades se realizó mediante la medición con el flexómetro y la wincha. Las fracturas poseen un espaciamiento desde 0.6- 2m dándole una puntuación de 15.

Abertura

Las fracturas poseen una valoración promedio de 3.

Rugosidad

La evaluación de las fracturas por rugosidad se determinó, mediante el tacto, ligeramente rugosa por lo que se le asigna una valoración de 3.

Relleno

Para el cálculo del valor del relleno se le asignó un valor promedio de 4.

Alteración

Se asigna una valoración de 3 (moderadamente alterada).

Presencia de agua

Evaluando el macizo rocoso por presencia de agua, se determina que el macizo rocoso esta ligeramente húmeda por lo que se asigna una valoración de 10.

Resultado de la Clasificación Geomecánica del RMR(89)

La valoración de cada caracterización geomecánica está representada en la tabla y se procede a realizar la suma:

Tabla 22. tabla de valoración del RMR89 en la EG- 02 CB

1	Resistencia de la matriz rocosa (Mpa)	Ensayo de la carga puntual	>10	10-4	4- 2	2-1	Compresión simple			
		Compresión simple	>250	250-100	100-50	50-25	25-5	5-1	<1	
Puntuación			15	12	7	4	2	1	0	
2	RQD		90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	<25%			
	Puntuación			20	17	13	6	3		
3	Separación entre diaclasas		>2m	0.6-2 m	0.2-0.6 m	0.06-0.2 m	<0.06 m			
	Puntuación			20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	<1 m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	> 20 m			
		Puntuación		6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	<0.1 mm	0.1-1.0 mm	1-5 mm	> 5 mm			
		Puntuación		6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulado	Suave			
		Puntuación		6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro < 5 mm	Relleno duro > 5 mm	Relleno blando < 5 mm	Relleno blando > 5 mm			
		Puntuación		6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta			
Puntuación		6	5	3	1	0				
5	Agua freática	Caudal por 10 de túnel	Nulo	< 10 litros/min	10 - 25 litros/min	25-125 litros/min	> 125 litros/min			
		Relación: Presión de agua/Tensión principal mayor	0	0 - 0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	> 0.5			
		Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo			
	Puntuación			15	10	7	4	0		
RMR			57							

La suma de las valoraciones se realiza de la siguiente manera:

$$\text{RMR}(89) = 7 + 13 + 10 + 4 + 3 + 3 + 4 + 5 + 10$$

$$\text{RMR}(89) = 59$$

Este valor RMR de 59 nos indica que el macizo rocoso es de Clase III – Tipo media, que es concordante con el valor del RQD de regular.

Tabla 23. Clasificación de la roca según RMR_{89} en la EG- 02 CB

CLASE Nº	TIPO	VALORACIÓN RMR	ANGULO DE FRICCIÓN
I	Roca Muy buena	100- 81	> 45°
II	Roca Buena	80- 61	35°-45°
III	Media	60- 41	25°-35°
IV	Roca Mala	40- 21	1.2- 15°-25°
V	Roca Muy mala	<20	<15°

Fuente: Bieniawski (1973)

4.1.2.3. Cálculo del GSI en la EG-02 CB

El cálculo del GSI se realizó mediante el análisis visual en campo, luego se procedió a intersecar las condiciones del macizo rocoso tal como se muestra en la siguiente tabla:

Al realizar el análisis visual y luego intersecar las condiciones del macizo rocoso da como resultado el valor de 53 lo que indica roca de clase III.

Tabla 24. Clasificación rocosa con GSI en la EG- 02 CB

Calidad del macizo rocoso	Clase	Valor de GSI
Muy mala	V	2- 20
Mala	VI	21- 40
Regular	III	41- 60
Buena	II	61- 80
Excelente	I	81- 100

Fuente: Hoek et al., (2002).

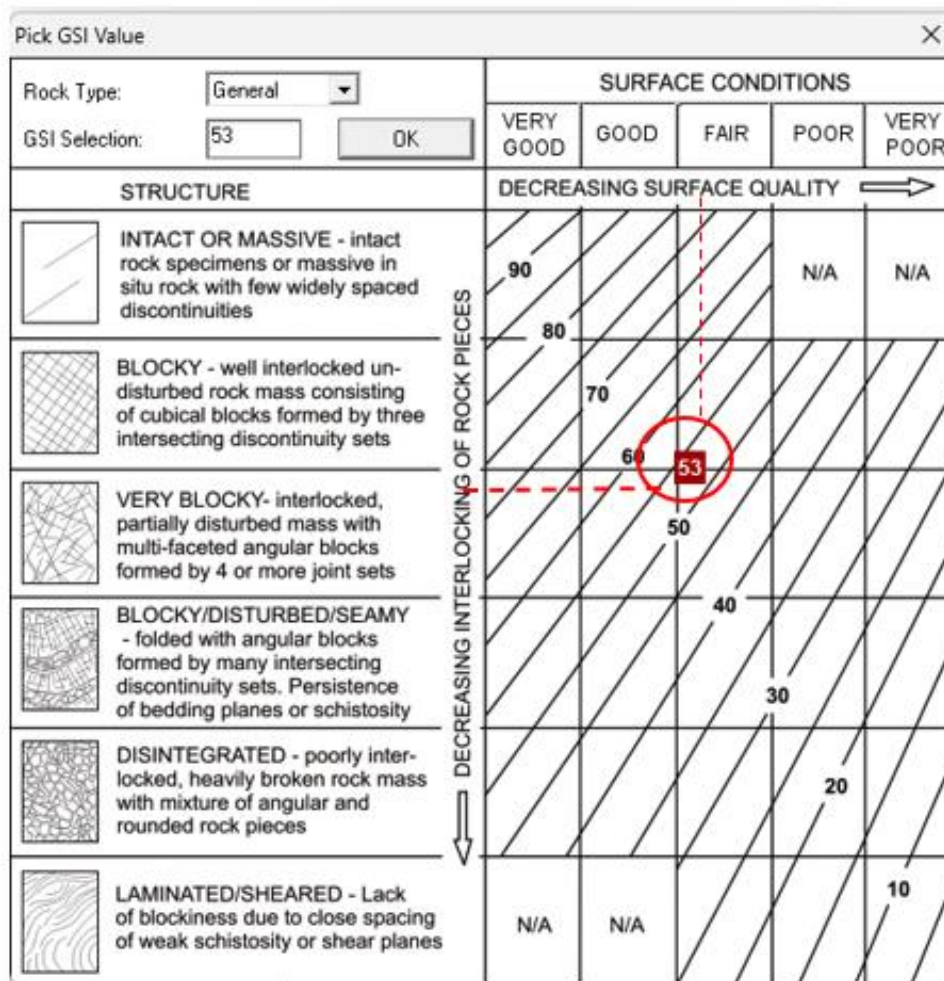


Figura 22: Estimación del Índice GSI en base a inspección visual del macizo rocoso.

Fuente: Hoek y Brown, (1997)

Cabe indicar que para llevar un control de calidad de los resultados obtenidos se debe comparar:

$$RMR = GSI + 5$$

$$RMR = 53 + 5$$

$$RMR = 58$$

Que es muy similar a RMR calculado.

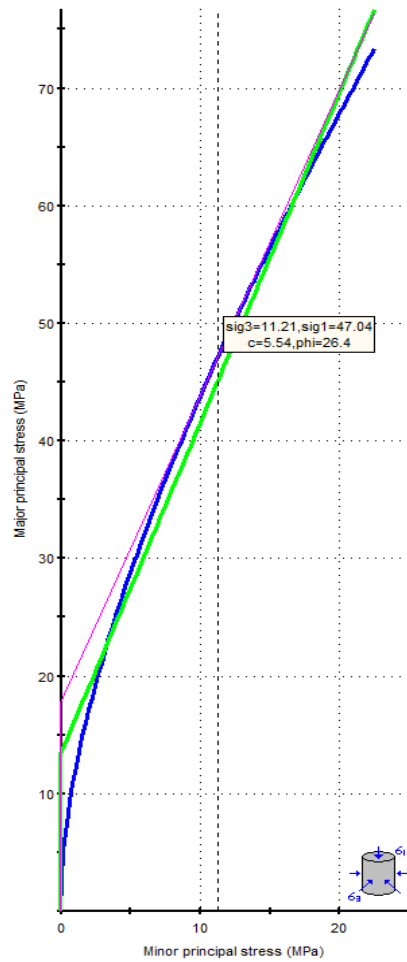
4.1.2.4. Cálculo de la cohesión y ángulo de fricción en la EG-02 CB

Los valores de cohesión y ángulo de fricción fueron calculados en el software ROCDATA tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 25. Valores de cohesión y ángulo de fricción mediante Rocdata en la EG- 02 CB.

Clasificación de Hoek-Brown	
Sigci	90 MPa
GSI	53
Mi	17
D	0.7
Criterio de Hoek-Brown	
Mb	1.285
S	0.0011
A	0.505
Rango de envolvente de falla	
Aplicación	General
sig3max	11.21MPa
Ajuste de Mohr-Coulomb	
C	4.028 MPa
Phi	28.35°

Analysis of Rock/Soil Strength using RocData



Hoek-Brown Classification
 intact uniaxial comp. strength (σ_{ci}) = 90 MPa
 GSI = 53 m_i = 17 Disturbance factor = 0.7
 intact modulus (E_i) = 24750 MPa
 modulus ratio (MR) = 275

Hoek-Brown Criterion
 $m_b = 1.285$ $s = 0.0011$ $a = 0.505$

Mohr-Coulomb Fit
 cohesion = 4.028 MPa friction angle = 28.35 deg

Rock Mass Parameters
 tensile strength = -0.077 MPa
 uniaxial compressive strength = 2.893 MPa
 global strength = 13.502 MPa
 modulus of deformation = 3217.91 MPa

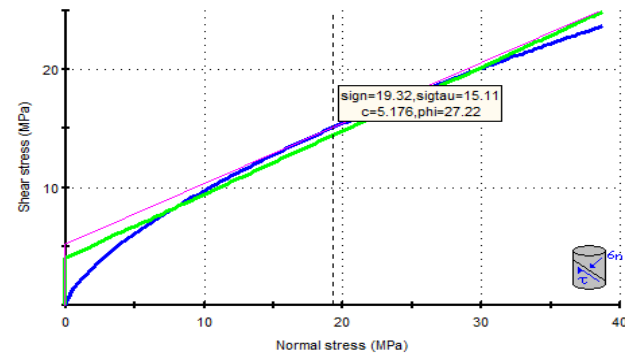


Figura 23: Determinación de la cohesión y el ángulo de fricción para la EG-02 CB en Rocdata.

4.1.3. Estación geomecánica EG- 01 PA

Esta estación se ubica en rocas de areniscas de la Formación Chimú. Estas poseen coloración gris blanquecina a gris amarillentas, de grano fino. Los estratos son delgados a medianos de 35cm en promedio, el rumbo de los estratos está en promedio de N50°0 y su buzamiento de 40° al NE.

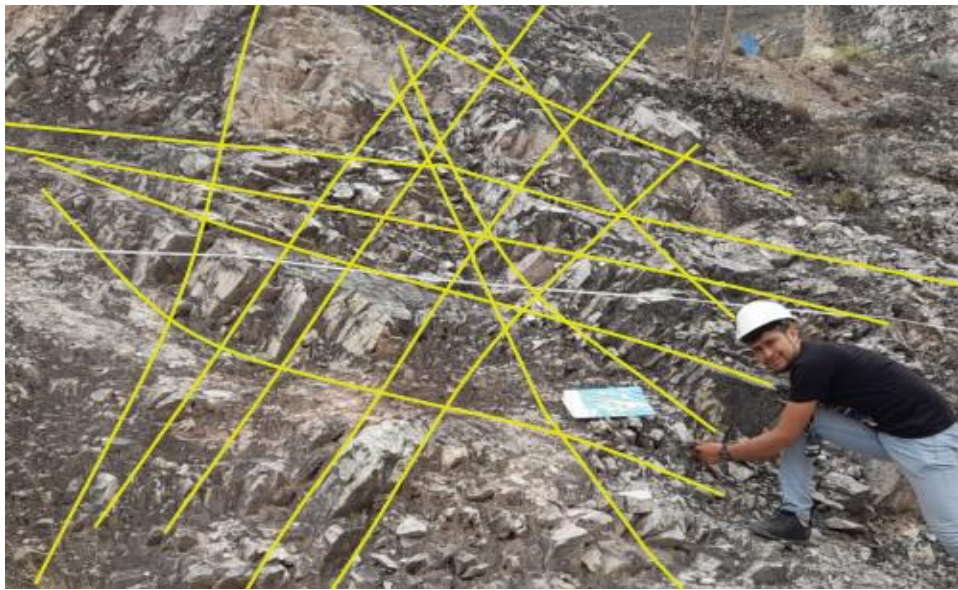


Figura 24: Medición de las fracturas en la Estación Pariamarca EG- 01PA, con coordenadas Este: 777422.68Norte: 9202525.76, Cota 2808 m.s.n.m

4.1.3.1. Cálculo del RQD en la EG- 01 PA

El análisis del índice RQD se realizó mediante la ecuación:

$$RQD = 100 * e^{-0.1\lambda} (0.1\lambda + 1)$$

Donde:

Nº de fracturas=12

Ancho del macizo rocoso= 0.9m

$$\text{Donde: } \lambda = \frac{\text{Nº discontinuidades}}{\text{longitud total del macizo rocoso}} = \frac{12}{0.9} = 13.33$$

Reemplazando se tiene:

$$RQD = 100 * e^{-0.1(13.33)} ((0.1 * 13.33) + 1)$$

$$RQD = 61.44\%$$

Se obtiene un resultado de RQD = 61.44%, lo que indica que el macizo rocoso se ubica en el rango de 50% - 75% de RQD caracterizándose como una roca de mediana calidad. Por lo cual posee una valoración de 13

Tabla 26. Valores del RQD en la EG- 01 PA

RQD (%)	Calidad de la roca
100-90	Muy buena
90-75	Buena
75-50	Mediana
50-25	Mala
25-0	Muy mala

Fuente: Deere (1967).

4.1.3.2. Cálculo del RMR en la EG- 01 PA

Puntuación de la resistencia de la roca

El valor de la resistencia de la roca es de 95 MPa y por ende le asignamos una puntuación de 7.

Espaciamiento de las discontinuidades

El análisis de los espaciamientos entre las discontinuidades se realizó mediante la medición con el flexómetro y en centímetros. Las fracturas poseen un espaciamiento desde 0.6- 2m dándole una puntuación de 15.

Abertura

Las fracturas poseen una valoración promedio de 3.

Rugosidad

La evaluación de las fracturas por rugosidad se determinó, mediante el tacto, ligeramente rugosa por lo que se le asigna una valoración de 3.

Relleno

Para el cálculo del valor del relleno se le asignó un valor promedio de 2.

Alteración

Se asigna una valoración de 3 (moderadamente alterada).

Presencia de agua

Evaluando el macizo rocoso por presencia de agua, se determina que el macizo rocoso esta ligeramente húmeda por lo que se asigna una valoración de 10.

Resultado de la evaluación por RMR(89)

La valoración de cada caracterización geomecánica está representada en la tabla y se procede a realizar la suma:

Tabla 27. Tabla de valoración del RMR89 en la EG- 01 PA

1	Resistencia de la matriz rocosa (Mpa)	Ensayo de la carga puntual	>10	10-4	4- 2	2-1	Compresión simple		
		Compresión simple	>250	250-100	100-50	50-25	25-5	5-1	<1
	Puntuación		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	<25%		
	Puntuación		20	17	13	6	3		
3	Separación entre diaclasas		>2m	0.6-2 m	0.2-0.6 m	0.06-0.2 m	<0.06 m		
	Puntuación		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	<1 m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	> 20 m		
		Puntuación	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	<0.1 mm	0.1-1.0 mm	1-5 mm	> 5 mm		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulado	Suave		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro < 5 mm	Relleno duro > 5 mm	Relleno blando < 5 mm	Relleno blando > 5 mm		
		Puntuación	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
Puntuación	6	5	3	1	0				
5	Agua freática	Caudal por 10 de túnel	Nulo	< 10 litros/min	10 - 25 litros/min	25-125 litros/min	> 125 litros/min		
		Relación: Presión de agua/Tensión principal mayor	0	0 - 0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	> 0.5		
		Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo		
	Puntuación		15	10	7	4	0		
RMR			55						

La suma de las valoraciones se realiza de la siguiente manera:

$$\text{RMR}(89) = 7 + 13 + 10 + 4 + 3 + 3 + 2 + 3 + 10$$

$$\text{RMR}(89) = 55$$

Este valor RMR de 55 nos indica que el macizo rocoso es de Clase III – Tipo media, que es concordante con el valor del RQD de regular.

Tabla 28. Clasificación de la roca según RMR89 en la EG- 01 PA

CLASE Nº	TIPO	VALORACIÓN RMR	ANGULO DE FRICCIÓN
I	Roca Muy buena	100- 81	> 45°
II	Roca Buena	80- 61	35°-45°
III	Media	60- 41	25°-35°
IV	Roca Mala	40- 21	1.3- 15°-25°
V	Roca Muy mala	<20	<15°

Fuente: Bieniawski (1973)

4.1.3.3. Cálculo del GSI en la EG- 01 PA

El cálculo del GSI se realizó mediante el análisis visual en campo, luego se procedió a intersecar las condiciones del macizo rocoso tal como se muestra en la siguiente tabla:

Al realizar el análisis visual y luego de intersecar las condiciones del macizo rocoso da como resultado el valor de 50 lo que indica roca de clase III.

Tabla 29. Clasificación rocosa con GSI en la EG- 01 PA

Calidad del macizo rocoso	Clase	Valor de GSI
Muy mala	V	3- 20
Mala	VI	21- 40
Regular	III	41- 60
Buena	II	61- 80
Excelente	I	81- 100

Fuente: Hoek et al., (2002).

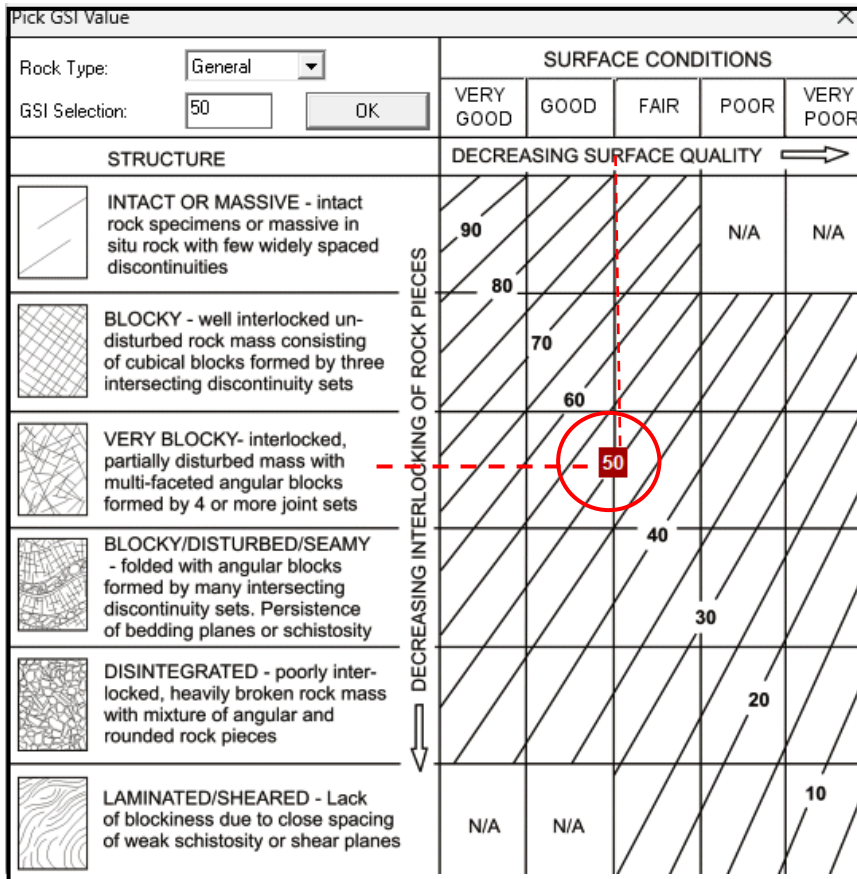


Figura 25: Estimación del Índice GSI en base a inspección visual del macizo rocoso.

Fuente: Hoek y Brown, (1997)

Cabe indicar que para llevar un control de calidad de los resultados obtenidos se debe comparar:

$$RMR = GSI + 5$$

$$RMR = 50 + 5$$

$$RMR = 55$$

Que es muy similar al RMR calculado.

4.1.3.4. Cálculo de la cohesión y ángulo de fricción en la EG- 01 PA

Los valores de cohesión y ángulo de fricción fueron calculados en el software ROCDATA tal como se muestra en la siguiente figura:

Tabla 30. Valores de cohesión y el ángulo de fricción mediante Rocdata en la EG- 01 PA.

Clasificación de Hoek-Brown	
Sigci	95 MPa
GSI	50
Mi	17
D	0.7
Criterio de Hoek-Brown	
Mb	1.090
S	0.007
A	0.506
Rango de envolvente de falla	
Aplicación	General
sig3max	11.84 MPa
Ajuste de Mohr-Coulomb	
C	3.987 MPa
Phi	27.02°

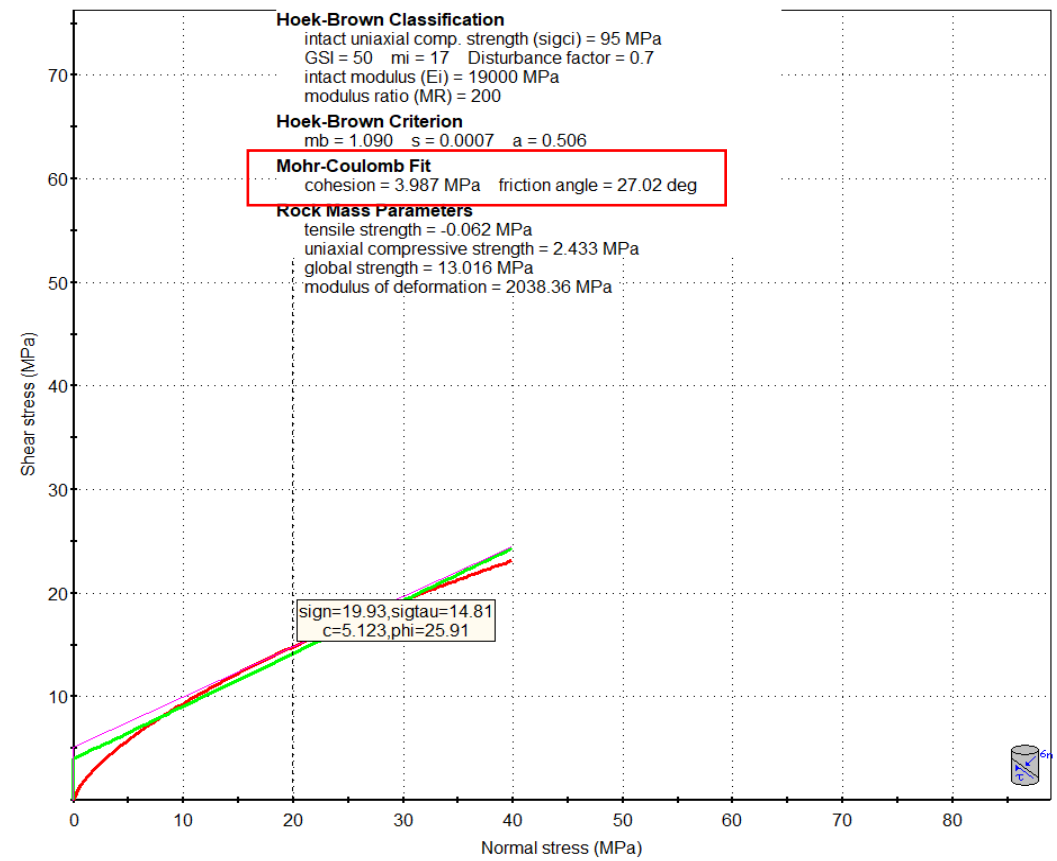
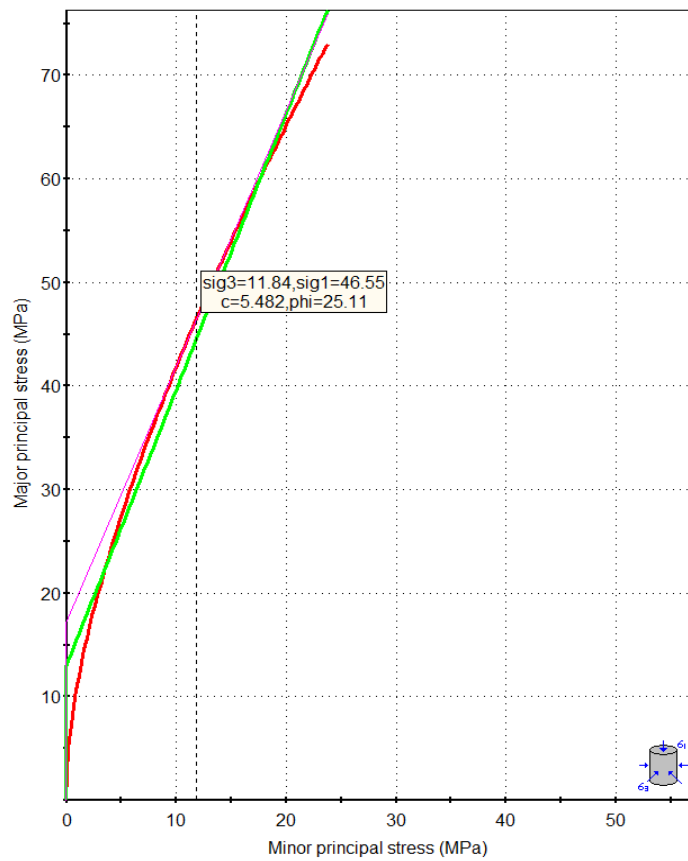


Figura 26: Determinación de la cohesión y el ángulo de fricción para la EG- 01 PA en Rocdata.

4.1.4. Estación geomecánica EG-02 PA

Esta estación se ubica en rocas de areniscas de la Formación Chimú. Las rocas poseen una coloración gris blanquecina, de grano fino. Los estratos son delgados a medianos, el rumbo de los estratos está en promedio de N60°0 y su buzamiento de 45° al NE.



Figura 27: Medición de las fracturas en la Estación EG- 02PA, con coordenadas Este: 777444.23 Norte: 9203081.8, Cota 2770 m.s.n.m

4.1.4.1. Cálculo del RQD en la EG-02 PA

El análisis del índice RQD se realizó mediante la ecuación:

$$RQD = 100 * e^{-0.1\lambda} (0.1\lambda + 1)$$

Donde:

Nº de fracturas=11

Ancho del macizo rocoso= 0.9m

$$\text{Donde: } \lambda = \frac{\text{Nº discontinuidades}}{\text{longitud total del macizo rocoso}} = \frac{11}{0.9} = 12.2$$

Reemplazando se tiene:

$$RQD = 100 * e^{-0.1(12.22)} ((0.1 * 12.22) + 1)$$

$$RQD = 65.46\%$$

Se obtiene un resultado de RQD = 65.46%, lo que indica que el macizo rocoso se ubica en el rango de 50% - 75% de RQD caracterizándose como una roca de mediana calidad. Por lo cual posee una valoración de 13

Tabla 31. Valores del RQD en la EG-02 PA

RQD (%)	Calidad de la roca
100-90	Muy buena
90-75	Buena
75-50	Mediana
50-25	Mala
25-0	Muy mala

Fuente: Deere (1967).

4.1.4.2. Cálculo del RMR en la EG-02 PA

Evaluación de la resistencia de la roca

El valor de la resistencia de la roca es de 96 MPa y por ende le asignamos una puntuación de 7.

Espaciamiento de las discontinuidades

El análisis de los espaciamientos entre las discontinuidades se realizó mediante la medición con el flexómetro y en centímetros. Las fracturas poseen un espaciamiento desde 0.6- 2m dándole una puntuación de 15.

Abertura

Las fracturas poseen una valoración promedio de 3.

Rugosidad

La evaluación de las fracturas por rugosidad se determinó, mediante el tacto, ligeramente rugosa por lo que se le asigna una valoración de 3.

Relleno

Para el cálculo del valor del relleno se le asignó un valor promedio de 2.

Alteración

Se asigna una valoración de 3 (moderadamente alterada).

Presencia de agua

Evaluando el macizo rocoso por presencia de agua, se determina que el macizo rocoso esta ligeramente húmeda por lo que se asigna una valoración de 10.

Resultado de la evaluación por RMR(89)

La valoración de cada caracterización geomecánica está representada en la tabla y se procede a realizar la suma:

Tabla 32. Tabla de valoración del RMR89 en la EG-02 PA

1	Resistencia de la matriz rocosa (Mpa)	Ensayo de la carga puntual	>10	10-4	4- 2	2-1	Compresión simple		
		Compresión simple	>250	250-100	100-50	50-25	25-5	5-1	<1
	Puntuación		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	<25%		
	Puntuación		20	17	13	6	3		
3	Separación entre diaclasas		>2m	0.6-2 m	0.2-0.6 m	0.06-0.2 m	<0.06 m		
	Puntuación		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	<1 m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	> 20 m		
		Puntuación	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	<0.1 mm	0.1-1.0 mm	1-5 mm	> 5 mm		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulado	Suave		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro < 5 mm	Relleno duro > 5 mm	Relleno blando < 5 mm	Relleno blando > 5 mm		
		Puntuación	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
Puntuación	6	5	3	1	0				
5	Agua freática	Caudal por 10 de túnel	Nulo	< 10 litros/min	10 - 25 litros/min	25-125 litros/min	> 125 litros/min		
		Relación: Presión de agua/Tensión principal mayor	0	0 - 0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	> 0.5		
		Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo		
	Puntuación		15	10	7	4	0		
RMR			53						

La suma de las valoraciones se realiza de la siguiente manera:

$$\text{RMR}(89) = 7 + 13 + 10 + 2 + 3 + 3 + 2 + 3 + 10$$

$$\text{RMR}(89) = 53$$

Este valor RMR de 53 nos indica que el macizo rocoso es de Clase III – Tipo media, que es concordante con el valor del RQD de regular.

Tabla 33. Clasificación de la roca según RMR_{89} en la EG-02 PA

CLASE	CALIDAD	VALORACIÓN RMR	ANGULO DE FRICCIÓN
I	Roca Muy buena	100- 81	> 45°
II	Roca Buena	80- 61	35°-45°
III	Media	60- 41	25°-35°
IV	Roca Mala	40- 21	1.4- 15°-25°
V	Roca Muy mala	<20	<15°

Fuente: Bieniawski (1973)

4.1.4.3. Cálculo del GSI en la EG-02 PA

El cálculo del GSI se realizó mediante el análisis visual en campo, luego se procedió a intersecar las condiciones del macizo rocoso tal como se muestra en la siguiente tabla:

Al realizar el análisis visual y luego de intersecar las condiciones del macizo rocoso da como resultado el valor de 49 lo que indica roca de clase III.

Tabla 34. Clasificación rocosa con GSI en la EG-02 PA

Calidad del macizo rocoso	Clase	Valor de GSI
Muy mala	V	4- 20
Mala	VI	21- 40
Regular	III	41- 60
Buena	II	61- 80
Excelente	I	81- 100

Fuente: Hoek et al., (2002).

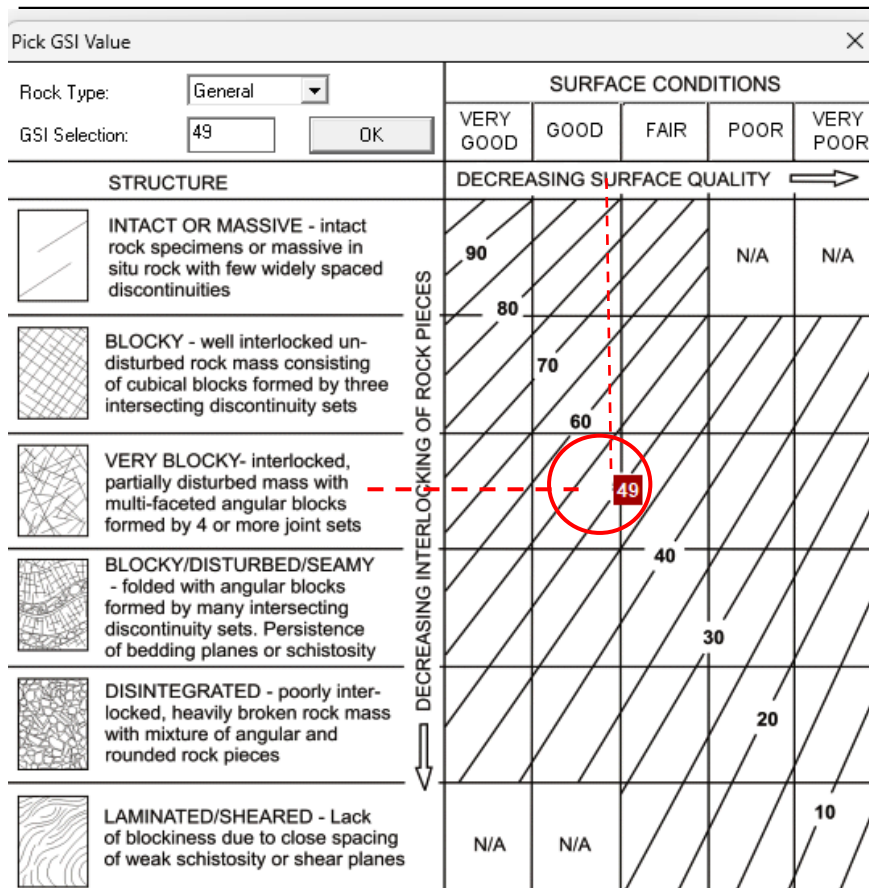


Figura 28: Estimación del Índice GSI en base a inspección visual del macizo rocoso.

Fuente: Hoek y Brown, (1997).

Cabe indicar que para llevar un control de calidad de los resultados obtenidos se debe comparar:

$$RMR = GSI + 5$$

$$RMR = 49 + 5$$

$$RMR = 54$$

Que es muy similar al RMR calculado en campo.

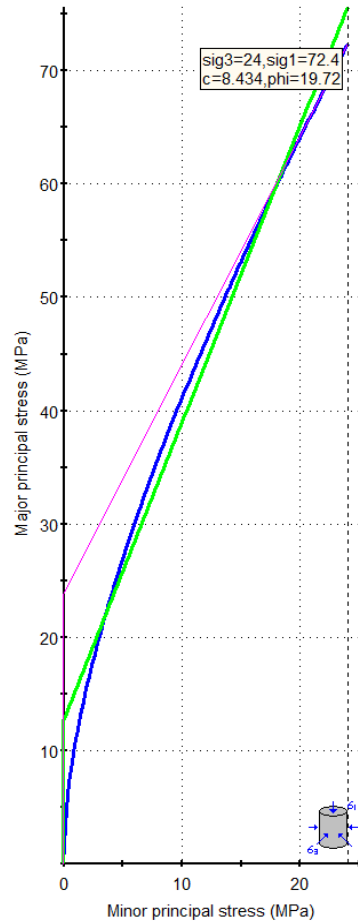
4.1.4.4. Cálculo de la cohesión y ángulo de fricción en la EG-02 PA

Los valores de cohesión y ángulo de fricción fueron calculados en el software ROCDATA tal como se muestra en la siguiente figura:

Tabla 35. Valores de cohesión y ángulo de fricción hallados en Rocdata en la EG-02 PA.

Clasificación de Hoek-Brown	
Sigci	96 MPa
GSI	49
Mi	17
D	0.7
Criterio de Hoek-Brown	
Mb	1.032
S	0.007
A	0.506
Rango de envolvente de falla	
Aplicación	General
sig3max	24MPa
Ajuste de Mohr-Coulomb	
C	3.942 MPa
Phi	26.57°

Analysis of Rock/Soil Strength using RocData



Hoek-Brown Classification

intact uniaxial comp. strength (σ_{ci}) = 96 MPa
 GSI = 49 m_i = 17 Disturbance factor = 0.7
 intact modulus (E_i) = 26400 MPa
 modulus ratio (MR) = 275

Hoek-Brown Criterion

m_b = 1.032 s = 0.0006 a = 0.506

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 3.942 MPa friction angle = 26.57 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.057 MPa
 uniaxial compressive strength = 2.278 MPa
 global strength = 12.759 MPa
 modulus of deformation = 2656.85 MPa

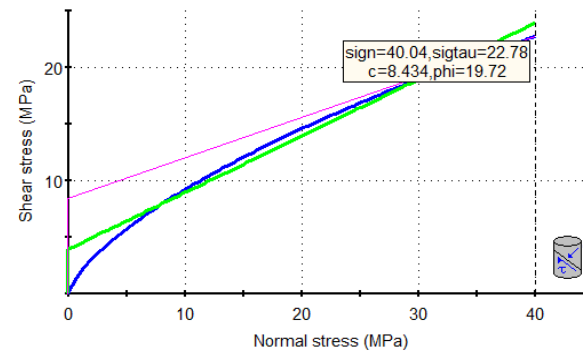


Figura 29: Determinación de la cohesión y el ángulo de fricción para la EG-02 PA en Rocdata.

**RESUMEN DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS
GEOMECANICOS Y DE RESISTENCIA REALIZADOS EN CADA ESTACIÓN
GEOMECÁNICA**

Tabla 36. Resumen del cálculo del ángulo de fricción y cohesión

Estación geomecánica	Angulo de fricción	Cohesión
EG- 01CB	28.35°	4.386MPa
EG-02CB	28.35°	4.028MPa
EG- 01PA	27.02°	3.987MPa
EG-02PA	26.57°	3.942MPa

Tabla 37. Resumen del cálculo del RQD, RMR y del GSI

Estación geomecánica	RQD(%)	RMR	GSI
EG- 01CB	68.33	57	52
EG-02CB	58.17	59	53
EG- 01PA	61.44	55	50
EG-02PA	65.46	53	49

4.2. ANÁLISIS DE FALLAS EN TALUDES (ANÁLISIS POBLACIONAL DE FRACTURAS, ANÁLISIS CINEMÁTICO DE FALLAS Y CÁLCULO DEL FACTOR DE SEGURIDAD)

Luego de haber calculado el ángulo de fricción y la cohesión del macizo rocoso mediante el Software ROCDATA en cada una de las estaciones geomecánicas, se procedió a realizar el análisis de fallas en los taludes de los macizos rocosos de las estaciones geomecánicas (EG- 01CB) y (EG- 01PA), solo se consideró una estación en cada zona por presentar características geológicas-geomecánicas parecidas y tener dominios geotécnicos similares. También se hizo el análisis poblacional de fracturas (APF), análisis cinemático de fallas donde se evaluó presencia de fallas en cuña y falla planar; por último, se calculó el factor de seguridad.

Todos estos datos analizados nos servirán de sustento para definir el método de explotación y el diseño de minado del yacimiento a explotar.

4.2.1. Análisis poblacional de fracturas (APF) en la Estación Geomecánica Cruz Blanca (EG- 01 CB)

En esta estación se han medido los rumbos y buzamientos de 27 fracturas. Estas fracturas fueron consideradas como generadas por la acción de la falla principal Regional Cajamarca de dirección NO- SE. Se utilizó el método de la mano derecha:

Tabla 38. Datos de buzamientos y dirección de buzamiento de la estación Cruz Blanca.

Nº	Dip	Dip Direction	Familia
1	60	130	2
2	55	122	2
3	65	322	
4	55	123	2
5	50	30	3
6	65	120	2
7	80	320	
8	50	122	2
9	70	310	
10	50	40	3
11	53	238	1
12	50	10	
13	45	230	1
14	55	242	1
15	60	41	3
16	65	45	3
17	55	245	1
18	60	15	
19	68	42	3
20	50	228	1
21	58	243	1
22	60	40	3
23	70	190	
24	45	233	1
25	70	240	
26	50	20	
27	60	100	

Análisis del diagrama de rosas

El análisis del diagrama de rosas indica una orientación preferencial de las fracturas de N50°O- S50°E, otra orientación secundaria de N40°E- S50°O y otra menos importante de dirección N80°O- S80°E.

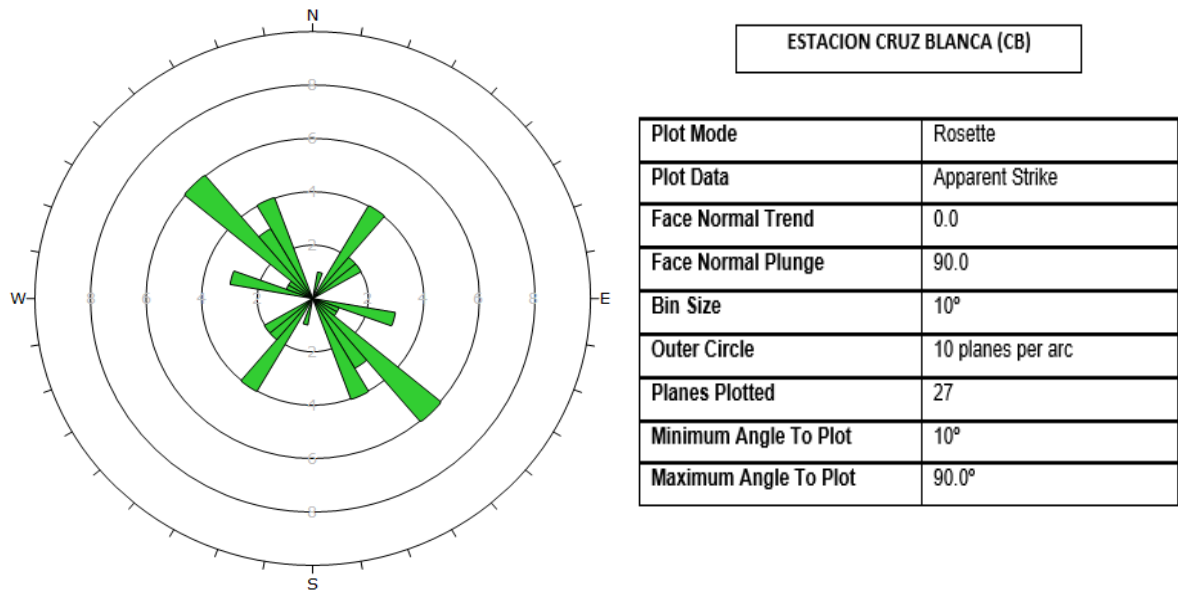


Figura 30: Roseta estructural en la estación geomecánica de Cruz Blanca

Análisis del diagrama de polos

El análisis del diagrama de polos indica esfuerzo principal N60°E- S60°O, y esfuerzos secundarios de dirección N55°O- S55°E.

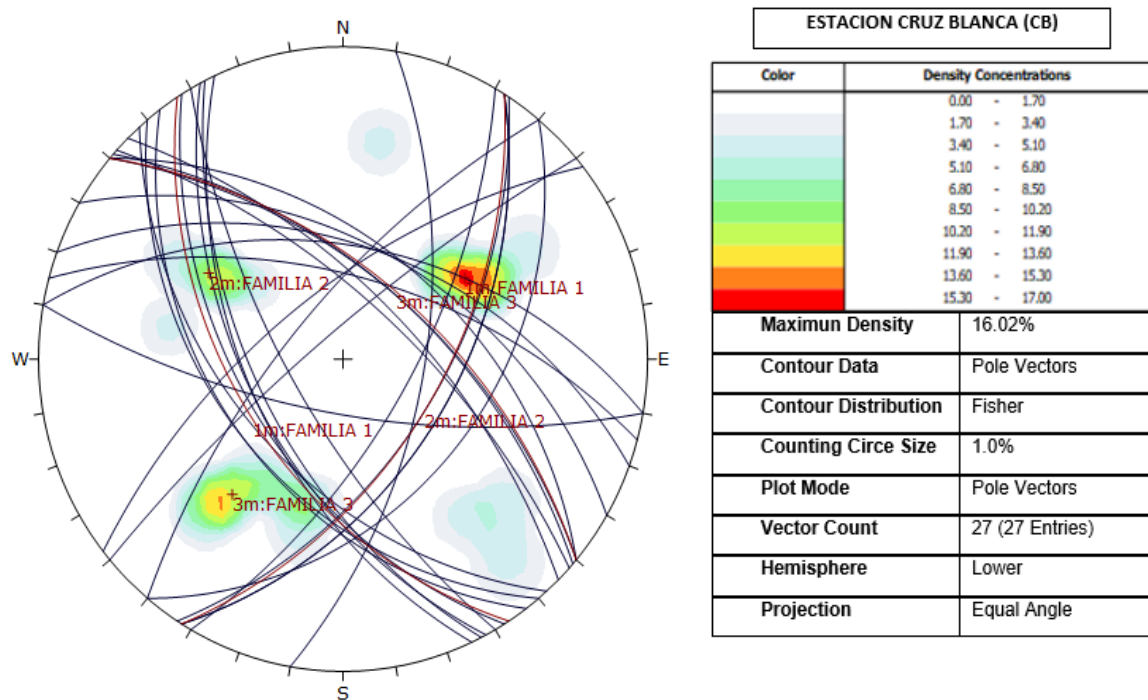


Figura 31: Diagrama de polos de la estación Cruz Blanca.

4.2.2. Análisis cinemático de las fracturas en la EG- 01 CB

Para realizar el análisis cinemático de las fracturas por falla planar, fallas por flexural stopling y por cuña se utilizó los siguientes datos:

Tabla 39. Datos del talud de Cruz Blanca

Valores hallados en el software Rocdata y DIPS	
Cohesión	4.386 MPa
Angulo de fricción	29°
Azimut de cara talud	116°
Inclinación del talud	39°

Análisis por falla planar

El análisis por falla planar realizado en el DIPS indica que en la zona de color rojo no se ubican polos por lo que indica que no hay peligro de falla planar.

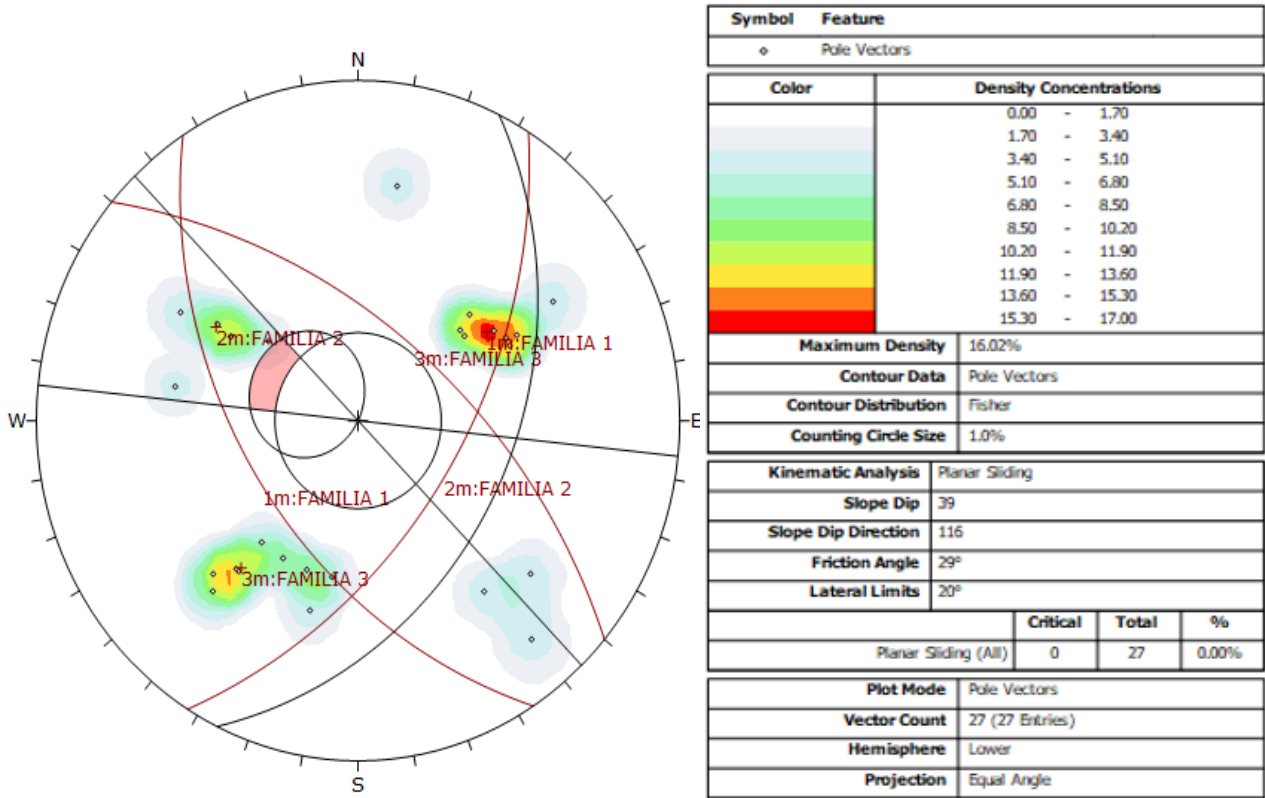


Figura 32: Análisis de Falla planar en la estación Cruz Blanca.

Análisis por falla en cuña

El análisis por falla por cuña realizado en el DIPS indica que en la zona de color rojo se ubican polos lo que indica que hay peligro de falla tipo cuña.

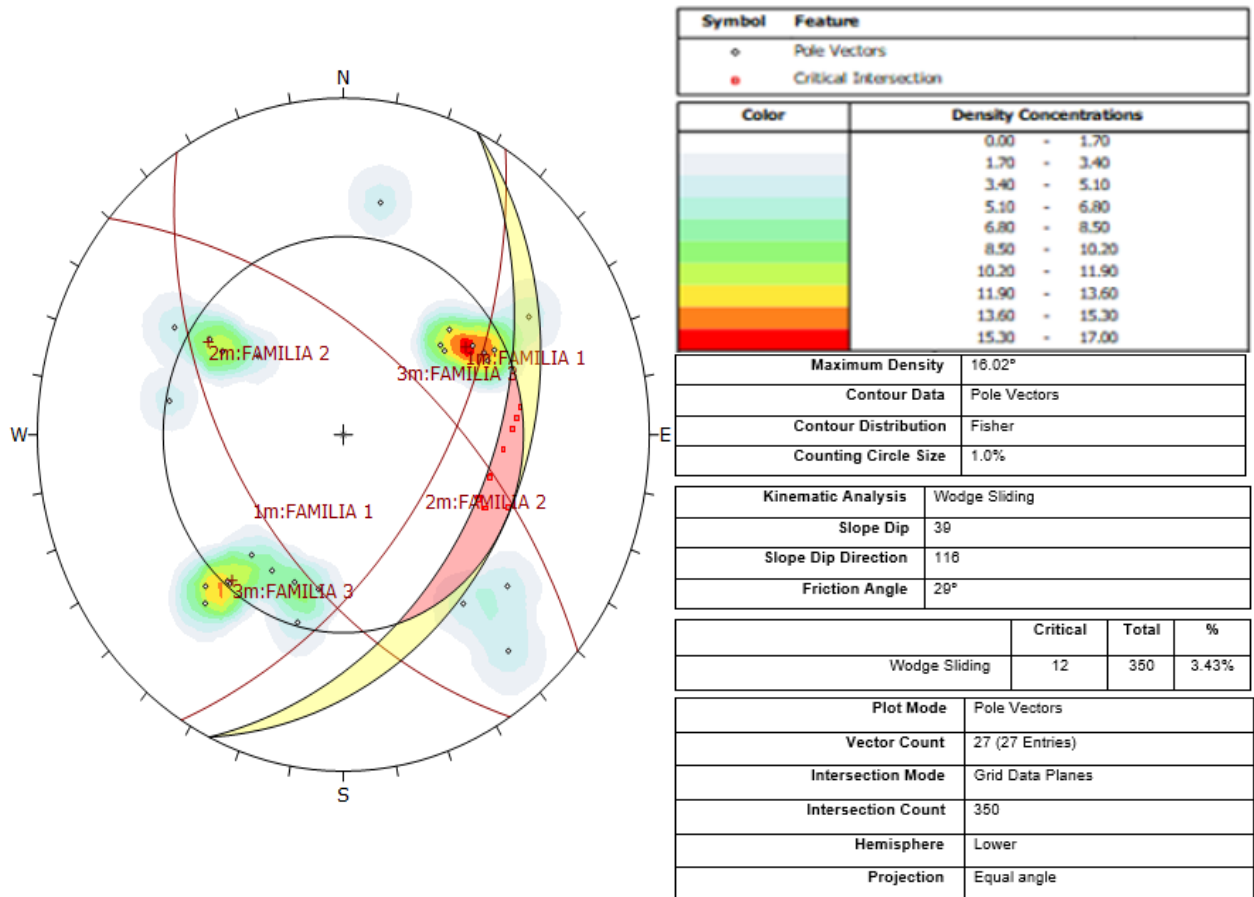


Figura 33: Análisis de falla en cuña en la estación Cruz Blanca.

4.2.3. Análisis poblacional de fracturas (APF) en la estación geomecánica de Pariamarca (EG-01 PA)

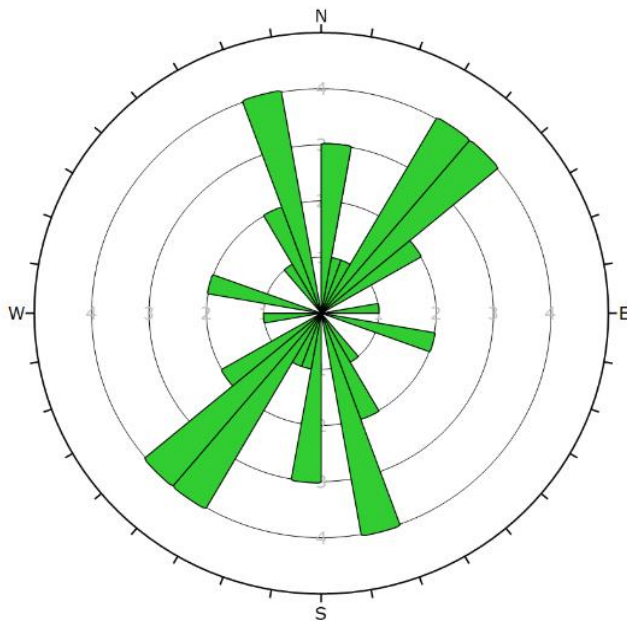
En esta estación se han medido los rumbos y buzamientos de 25 fracturas. Estas fracturas fueron consideradas como generadas por la acción de la falla principal Regional Cajamarca de dirección NO- SE. Se utilizó el método de la mano derecha:

Tabla 40. Datos de buzamientos y dirección de buzamiento de la estación Pariamarca.

Nº	Dip	Dip Direction	Familia
1	60	100	2
2	65	120	
3	65	118	
4	55	125	
5	50	125	
6	65	310	
7	80	320	
8	50	300	
9	70	310	3
10	50	320	3
11	53	315	3
12	50	231	
13	45	250	1
14	55	255	1
15	60	252	1
16	65	250	
17	55	240	1
18	60	242	1
19	68	315	3
20	50	95	2
21	58	95	2
22	60	170	
23	70	96	2
24	45	18	
25	70	18	

Análisis del diagrama de rosas

El análisis del diagrama de rosas indica una orientación preferencial de las fracturas de N40°E- S40°O y otra de dirección N20°O- S20°E. El análisis de los círculos mayores indica tres sistemas de fracturas, los que generan intersecciones, responsables del “bloqueo” de las rocas.



ESTACION PARIAMARCA (PA)

Plot Mode	Rosette
Plot Data	Apparent Strike
Face Normal Trend	0.0
Face Normal Plunge	90.0
Bin Size	10°
Outer Circle	5 planes per arc
Planes Plotted	25
Minimum Angle To Plot	45.0°
Maximum Angle To Plot	90.0°

Figura 34: Roseta estructural de la estación Pariamarca.

Análisis del diagrama de polos

El análisis del diagrama de polos indica esfuerzo principal N50°O- S50°E, y esfuerzos secundarios de dirección N85°O- S85°E y otra de menor importancia de N70°E-S70°O.

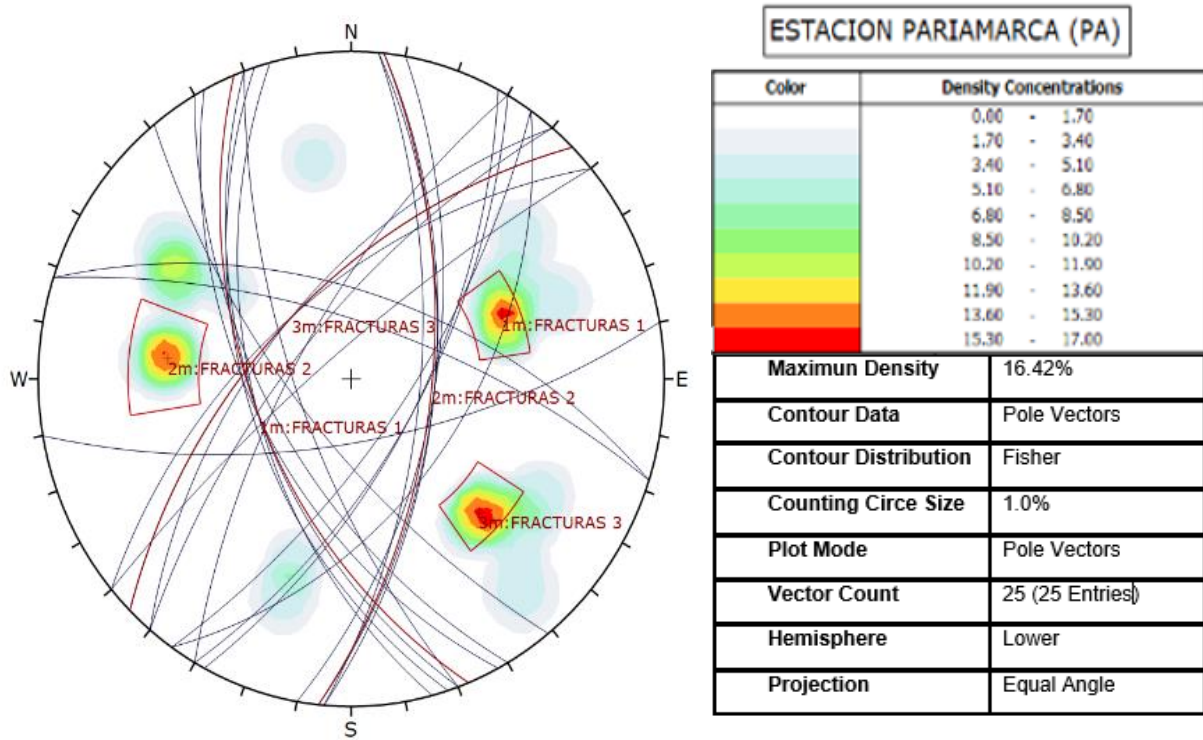


Figura 35: Diagrama de polos de la estación Pariamarca.

4.2.4. Análisis cinemático de las fracturas en la EG- 01 PA

Para realizar el análisis cinemático de las fracturas por falla planar, fallas por flexural stopling y por cuña se utilizó los siguientes datos:

Tabla 41. Datos del talud Pariamarca

Valores hallados en el software Rocdata y DIPS	
Cohesión	3.987MPa
Angulo de fricción	27°
Azimut de cara talud	60°
Inclinación del talud	40°

Análisis por falla planar

El análisis por falla planar realizado en el DIPS indica que en la zona de color rojo no se ubican polos por lo que indica que no hay peligro de falla planar.

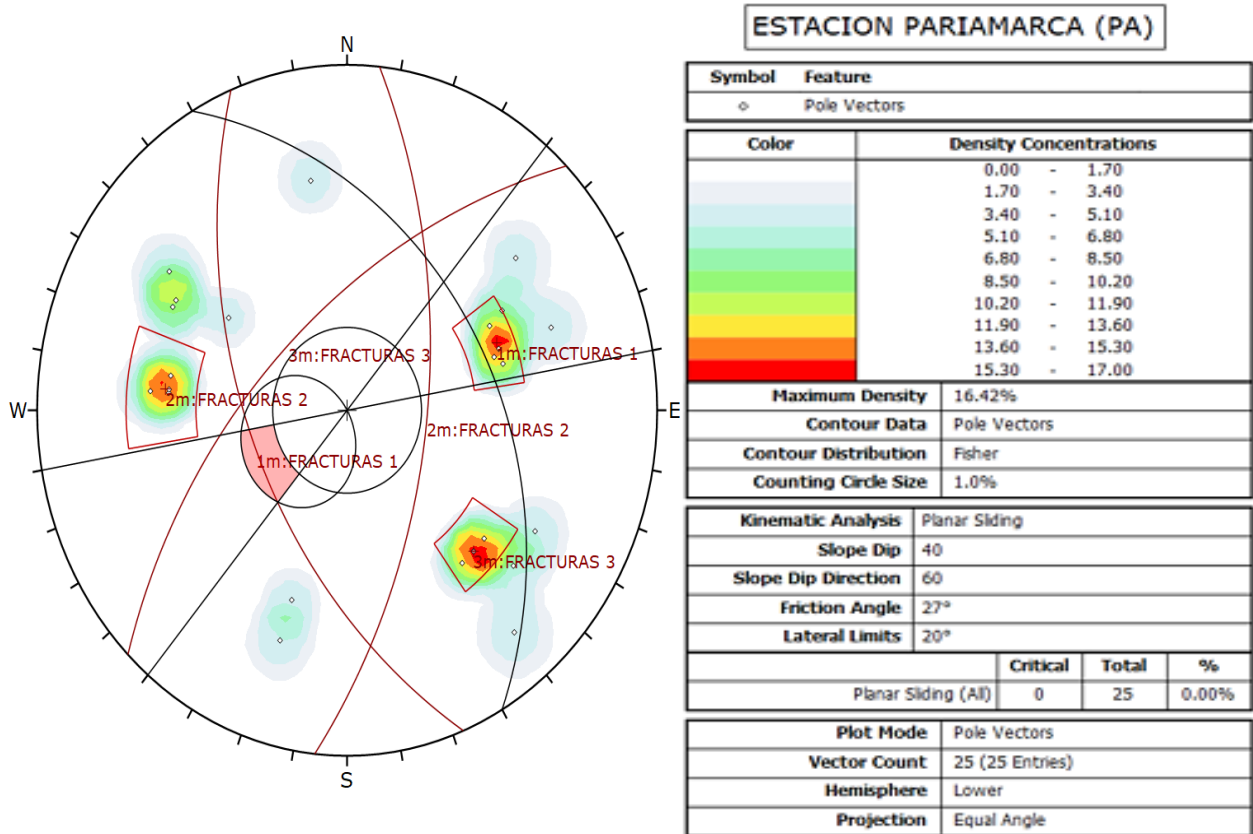


Figura 36: Análisis de falla planar en la estación Pariamarca.

Análisis por falla en cuña

El análisis por falla por cuña realizado en el DIPS indica que en la zona de color rojo se ubican polos lo que indica que hay peligro de falla tipo cuña.

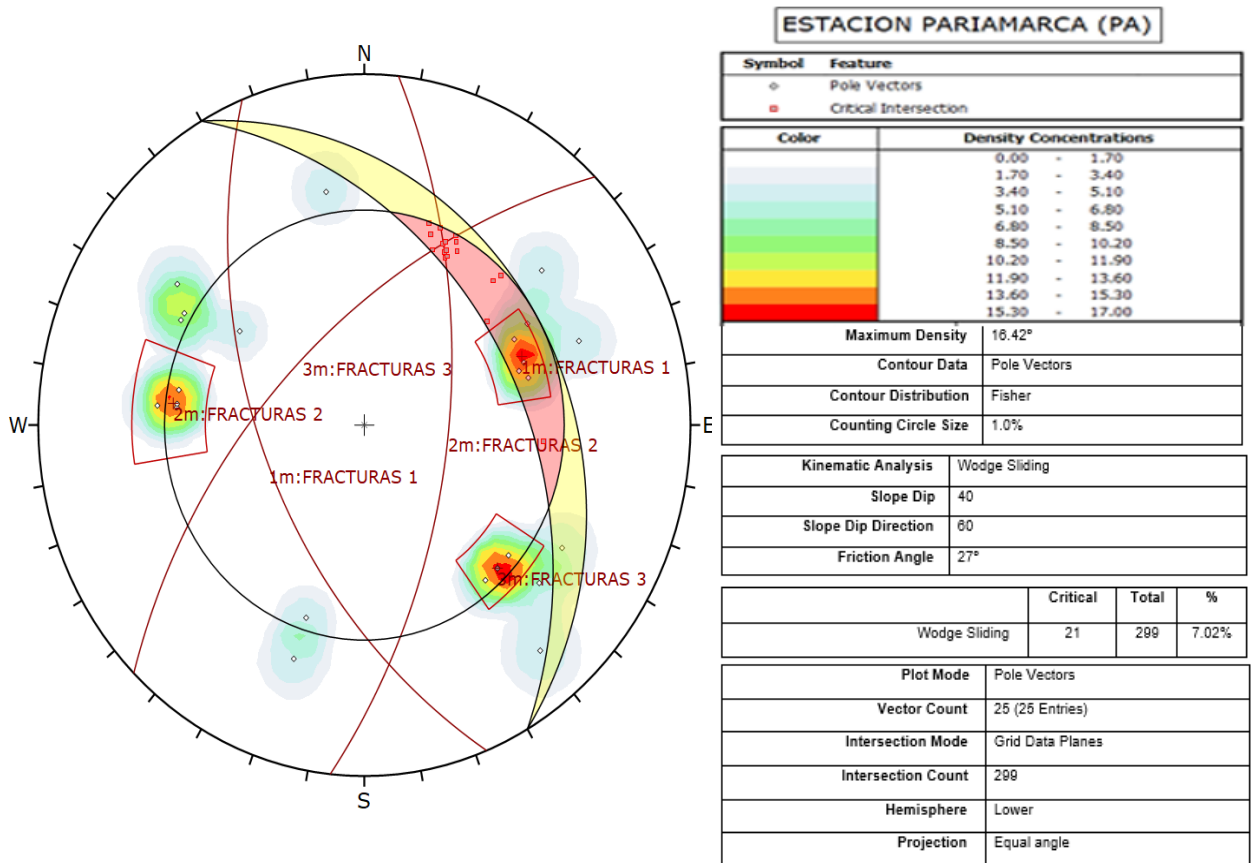


Figura 37: Análisis de falla por cuña en la estación Pariamarca.

4.2.5. Análisis del Factor de Seguridad (FS) mediante SLIDE

Factor de Seguridad (FS) del Talud de Cruz Blanca

Con los parámetros calculados del macizo rocoso y con utilización del programa SLIDE se ha logrado calcular el FS del talud en la Localidad de Cruz Blanca. Este análisis indica que el valor del FS es 1.254, no existiendo valores menores al valor calculado según el análisis de colores pues no se observa el color rojo.

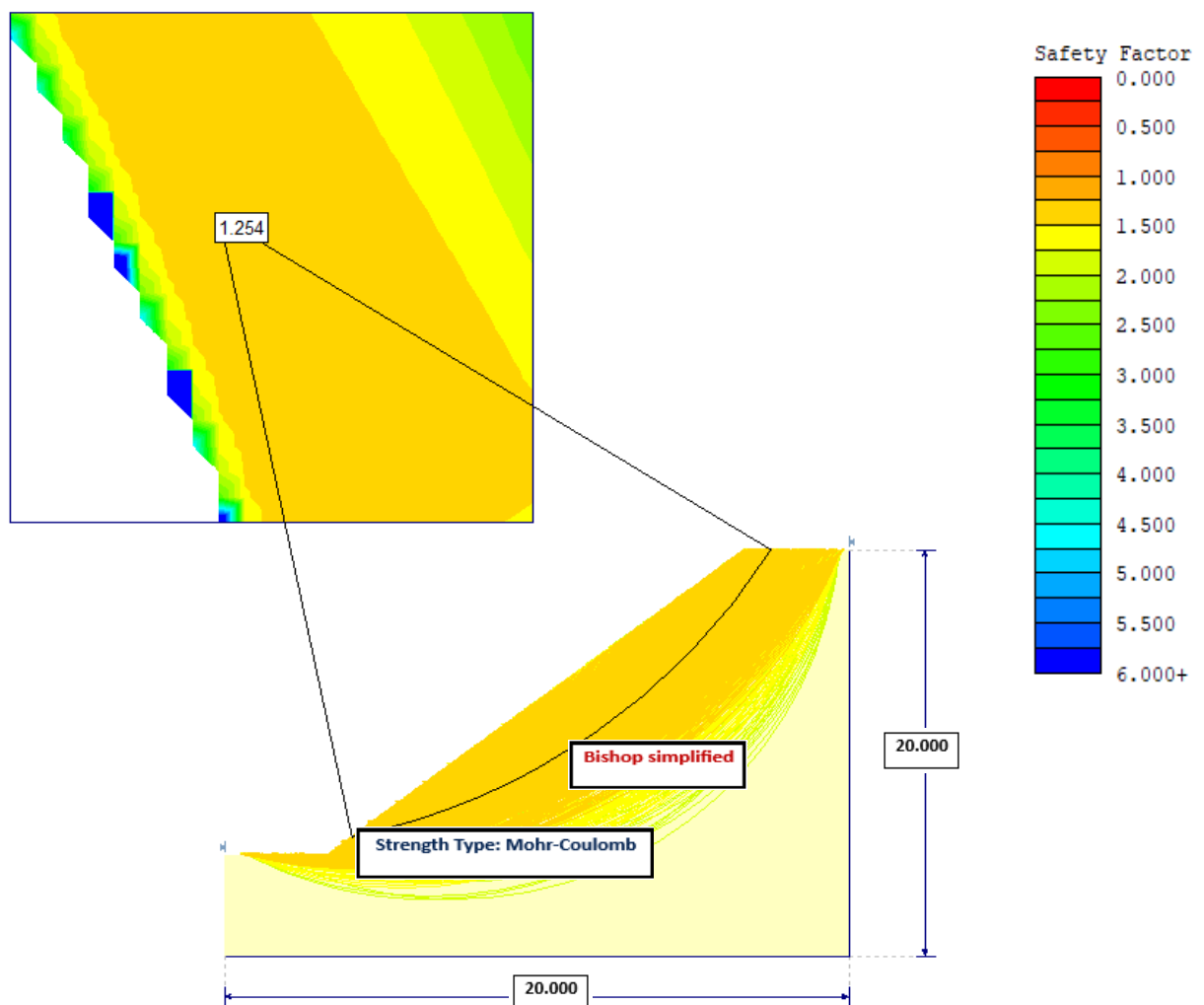


Figura 38: El FS es de 1.254 lo que indica que no existen valores menores a este valor, en cualquier lugar de la cara del talud el FS mejora.

Factor de Seguridad (FS) del Talud de Pariamarca

Utilizando los valores de la cohesión y el ángulo de fricción calculados en el programa ROCDATA se procedió a calcular el Factor de Seguridad mediante el programa SLIDE. En la figura de abajo se observa que el FS mínimo determinado es de 1.199, además indica que la coloración anaranjada tiende a irse al color azul lo que indica que no hay valores menores que el FS calculado.

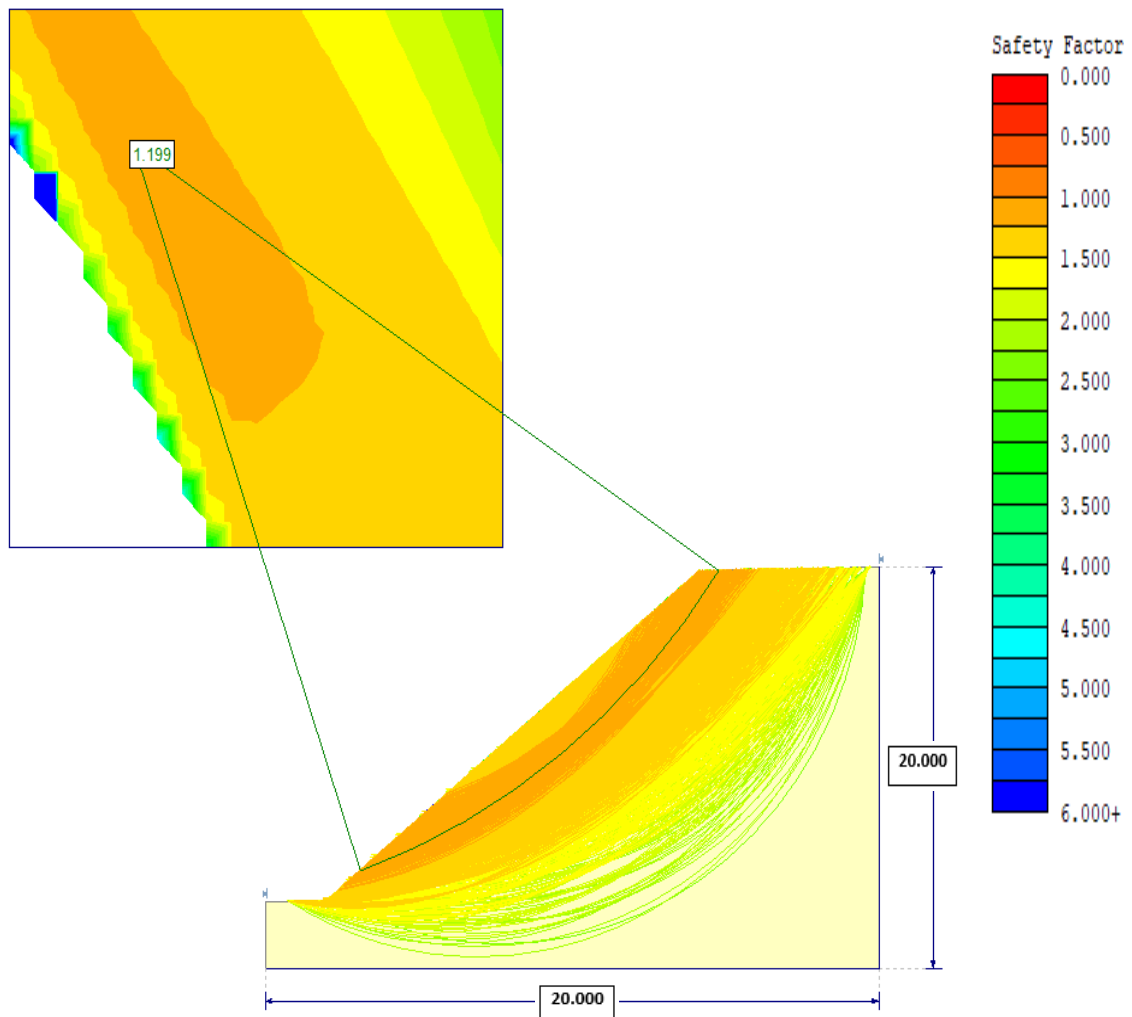


Figura 39: El FS es de 1.199 lo que indica que no existen valores menores a este valor, en cualquier lugar de la cara del talud el FS mejora.

4.3.3. ANÁLISIS QUÍMICO DE LAS ARENISCAS

Para definir la calidad del material extraíble es importante determinar mediante un exhaustivo análisis las propiedades individuales y la calidad de los componentes de los materiales a ser explotados, este parámetro está relacionado a la importancia económica que generara un yacimiento al ser explotado siendo uno de los parámetros más importantes para determinar el método de explotación adecuado, es por ende que para verificar si la composición mineralógica de las areniscas de las localidades de Paríamarca y Cruz Banca son óptimas económicamente para su explotación como minerales industriales, se realizó el análisis químico a cuatro (04) muestras de areniscas de la Formación Chimú y cuatro (04) muestras de la Formación Farrat y fue encargado al laboratorio INGEOCONSULT & LAB SRL para su respectivo análisis químico.

Dándonos los siguientes resultados

Tabla 42. Composición química de las muestras de areniscas

Composición química	CB-01	CB-02	CB-03	CB-04	PA-01	PA-02	PA-03	PA-04
SiO ₂	90.118%	90.448%	89.924%	88.992%	94.417%	93.953%	94.885%	95.114%
Fe ₂ O ₃	1.553%	1.473%	1.195%	1.443%	1.225%	1.684%	1.091%	1.035%
K ₂ O	0.558%	0.274%	0.896%	0.282%	0.554%	0.595%	0.335%	0.486%
TiO ₂	0.037%	0.085%	0.066%	0.064%	0.038%	0.067%	0.034%	0.097%
Al ₂ O ₃	0.584%	0.436%	0.287%	0.845%	0.556%	0.228%	0.483%	0.468%
Na ₂ O	0.114%	0.107%	0.198%	0.197%	0.112%	0.149%	0.099%	0.243%

Fuente: INGEOCONSULT & LAB SRL. (2024)

Donde nos muestra que contienen un porcentaje de SiO₂ mayor a 88%, lo cual indica que estas areniscas serán óptimas y económicamente rentables para ser explotadas como minerales industriales para la fabricación de vidrio, ya que según (Guerrero, 2014) el porcentaje mínimo de SiO₂ que deberían tener estos materiales es de 66%.

La siguiente grafica indica que los valores de las muestras identificadas como CB que pertenecen a la Formación Farrat poseen menos porcentajes de SiO₂ con respecto a las muestras identificadas como PA que pertenecen a la Formación Chimú.

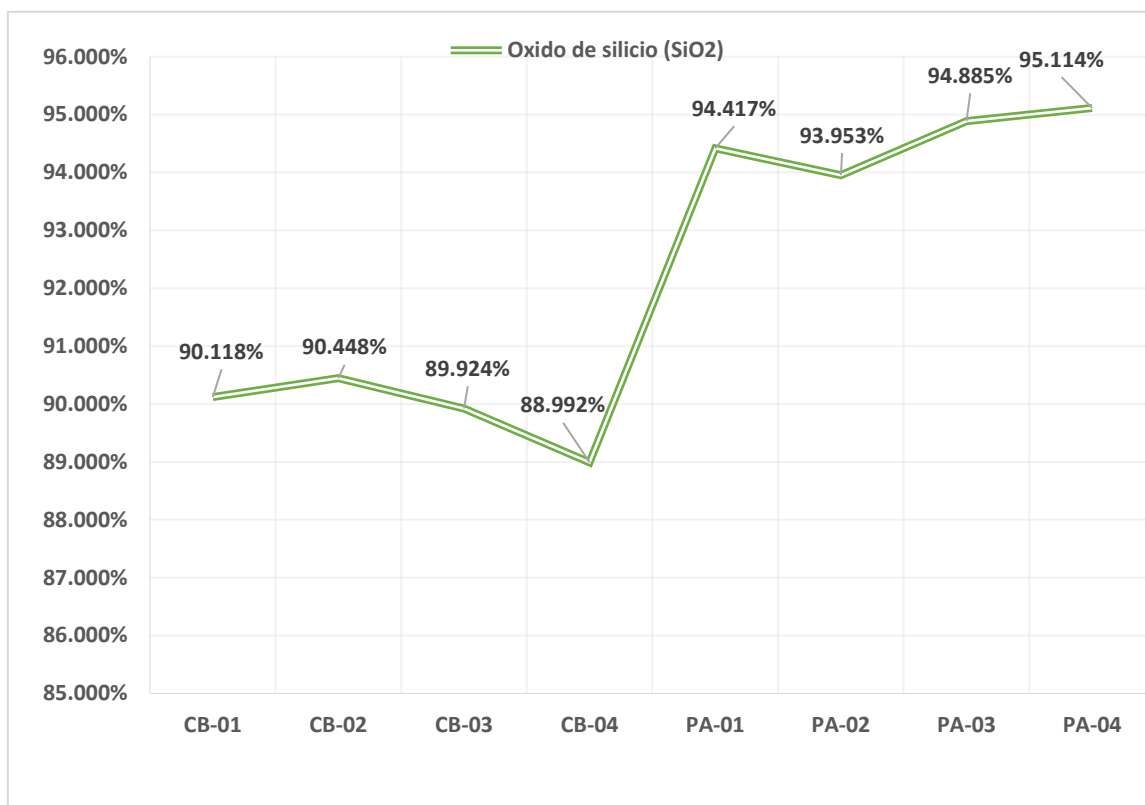


Figura 40: Comparación del análisis químico de las zonas de Cruz Blanca y Pariamarca.

4.3. MÉTODO DE EXPLOTACIÓN Y DISEÑO DE EXPLOTACIÓN TOMANDO EN CUENTA PARÁMETROS GEOMÉTRICOS Y GEOMECAÑICOS.

De acuerdo a la geometría del yacimiento, a los parámetros geomecánicos - geotécnicos ya evaluados y al análisis químico realizado a muestras tomadas de los afloramientos muy superficiales que presenta la roca, se estableció que el método de explotación de las areniscas de las Formaciones Chimú y Farrat se realizará mediante el minado superficial a cielo abierto, aplicando el método tipo canteras mediante la utilización de bancos de explotación en forma descendente que consistirá en realizar cortes en forma de tajadas de arriba hacia abajo formando bancos, una vez culminado el primer corte se procederá con el segundo y así sucesivamente hasta llegar a la parte final de la explotación.

La explotación por banqueado en forma descendente permitirá iniciar la restauración con anticipación de los bancos superiores hasta llegar a los bancos inferiores, controlando de esta manera la estabilidad de taludes y evitando posibles deslizamientos de roca, también permitirá hacer un plan de cierre de mina estratégico que permitirá cumplir con las normas de restauración de flora y fauna.

4.3.1. Diseño del yacimiento Cruz Blanca (9295000, 775000)

Para el diseño de explotación tendremos en cuenta la topografía del yacimiento, los parámetros geomecánicos - geométricos ya evaluados y los equipos de carga y transporte a utilizar en la explotación.

Para iniciar a explotación se determinará la profundidad del yacimiento, para luego hacer las vías o rampas de acceso y posteriormente hacer el diseño de los bancos de explotación.

Altura total de explotación del yacimiento (H)

Se ha calculado de la siguiente manera:

$$H = H_s - H_i$$

Donde:

H = Profundidad del yacimiento (m)

H_{ma} = Cota mayor (m)

H_{me} = Cota menor (m)

Remplazando datos:

H_{ma} = 2970m

H_{me} = 2850m

$$H = H_{ma} - H_{me} = 2970m - 2850m = 120m$$

Por lo tanto, la altura total de explotación del yacimiento es 120m.

Ancho y pendiente de vías o rampas de acceso

La pendiente de las vías de acceso en línea recta se asumirá un ángulo de inclinación de 10° y en curvas 12° con el fin de tener una eficiencia, durabilidad y tiempo de desplazamiento óptimo de equipos

Para calcular el ancho de las vías tendremos en cuenta las dimensiones de equipos de acarreo que transitarán y serán los volquetes Mercedes Actros 3344.

y se determinara utilizando la siguiente fórmula:

$$A = a (0.5 + 1.5 n)$$

Donde:

A = Ancho de la vía o rampa (m)

a= Ancho del vehículo (m)

n = Número de carriles deseados

Remplazando tenemos:

Ancho del vehículo= 2.5m

Número de carriles= 2

Reemplazando:

$$A = 2.5 (0.5 + 1.5 * 2) = 8.75m$$

Por lo tanto el ancho total de las vías de acceso aumentado 0.75m de cuneta será de 9.5m

DISEÑO DE BANCOS

Una vez definidas las pendientes estables de los taludes generales, se pasa a estudiar la geometría de los bancos, que dependerá de la configuración de los taludes y su orientación relativa respecto a la estratificación o familias de discontinuidades dominantes. No obstante, es posible clasificar las diferentes situaciones de los bancos y dar unos criterios básicos de diseño.

Los bancos de explotación de las areniscas de la Formación Farrat estarán diseñadas en dirección SO- NE.

Altura de banco (HB)

Para determinar la altura de banco de la explotación de las areniscas de la Formación Farrat se empleará una excavadora CAT 336 para al arranque, carguío de material y perfilado sanear cualquier punto del frente y mantener unas condiciones de seguridad aceptables del talud se asume una altura de 6m.

Ancho de final de bancos (Wfb)

Según la normativa vigente la relación entre la altura de banco y el ancho está en relación de 2 a 1 es por ende que por medidas de seguridad asumimos un ancho de 4m.

Numero de bancos (Nb)

El número de bancos se determina aplicando la siguiente formula:

$$Nb = \frac{H}{Hb}$$

Donde:

Nb = Numero de bancos

H = Altura del yacimiento o cantera (m)

Hb = Altura del banco (m)

Reemplazando:

H= 120 m

Hb= 6m

$$Nb = \frac{120}{6} = 20$$

Se tendrá un total de 20 bancos, de 6 m de altura cada uno.

Ancho de la plataforma de trabajo

De acuerdo con (Herrera, 2007) El ancho de la plataforma de trabajo tiene que ser una medida de tal manera que los equipos operen simultáneamente es por ende que asumimos un ancho mínimo de operaciones de carga y volteo con retroexcavadora de 25 metros.

Ancho de Bermas de seguridad (WB)

Para hallar el ancho de bermas de seguridad utilizaremos la fórmula propuesta por (Call, 1992):

$$WB = 0.2 Hb + 2.00 ; \text{ para } Hb \leq 9 \text{ m}$$

Dónde:

WB : Ancho de Berma

Hb : Atura de banco

Remplazando:

$$WB = 0.2 * 6 + 2.00 = 3.2m$$

Por lo que para mayor seguridad utilizaremos un ancho de berma de 4m.

Ángulo del talud de los bancos

Considerando la clasificación de Howard & Mutmanky (2002), el ángulo de talud recomendado para areniscas es de 50° .

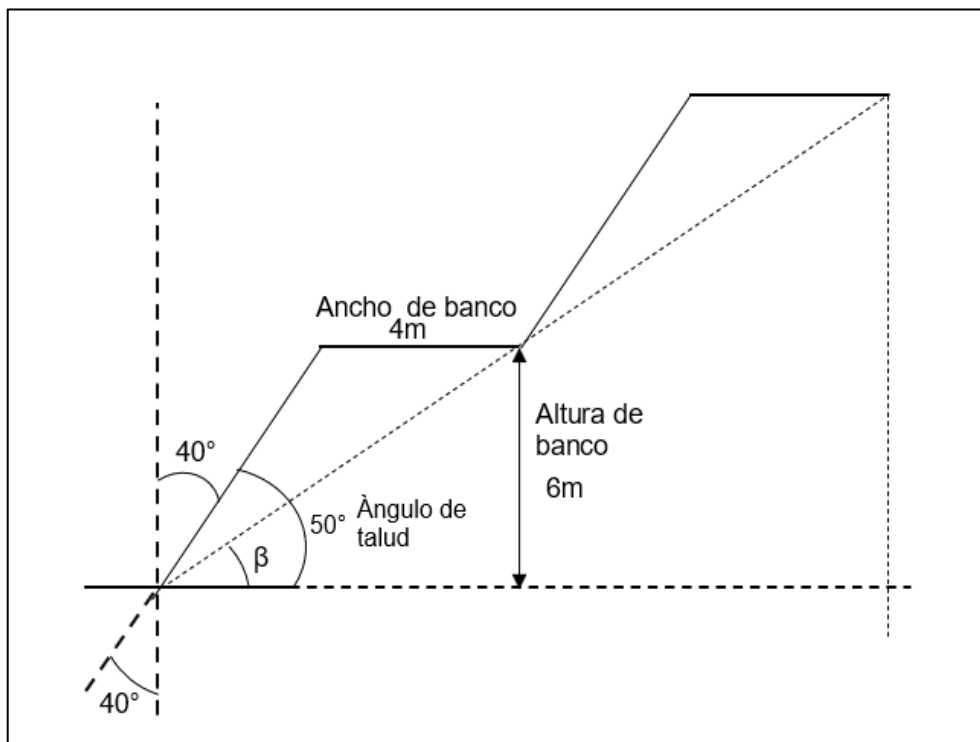


Figura 41: Dimensiones calculadas del diseño del banco en el yacimiento Cruz Blanca.

Angulo de talud final (β)

El ángulo de talud final se determina mediante la siguiente ecuación

$$\tan \beta = \frac{H}{B}$$

Siendo:

H= altura de banco (m)

B=B₁+B₂

B₁= ancho de banco (m)=4m

B₂= longitud que genera el ángulo en la cara del banco (m)

$$B_2 = H \tan \theta$$

Datos:

H= 6m

Siendo θ = ángulo que forma la cara de talud con la vertical que es= 40° (ver figura)

$$B_2 = 6m * \tan 40^\circ = 5m$$

Reemplazando:

$$B=4m+5m=16m$$

Reemplazando en:

$$\tan \beta = \frac{H}{B}$$

$$\tan \beta = \frac{6m}{9m}$$

$$\tan \beta = 0.66$$

$$\beta = 33^\circ$$

Tabla 43. Resumen de los parámetros de diseño del yacimiento Cruz Blanca.

PARÁMETROS DE DISEÑO	
Profundidad de explotación	120m
Altura de banco	6m
Ancho de banco	4m
Numero de bancos	20
Ancho de vías de acceso o rampas	9.5m
Ángulo de Inclinación de Rampas	10°
Ancho de la plataforma de trabajo	25m
Ancho de la berma	4m
Ángulo de talud de banco según Howard & Mutmansky (2002)	50°
Ángulo de talud final	33°

PARÁMETROS DE DISEÑO YACIMIENTO CRUZ BLANCA

Profundidad de explotación	120m
Numero de bancos	20
Altura de banco	6m
Ancho de banco	4m
Angulo de talud de banco	50°
Ángulo de talud final	33°
Ancho de la berma	4m
Ancho de rampa	9.5 m
Ancho de plataforma de trabajo	25m

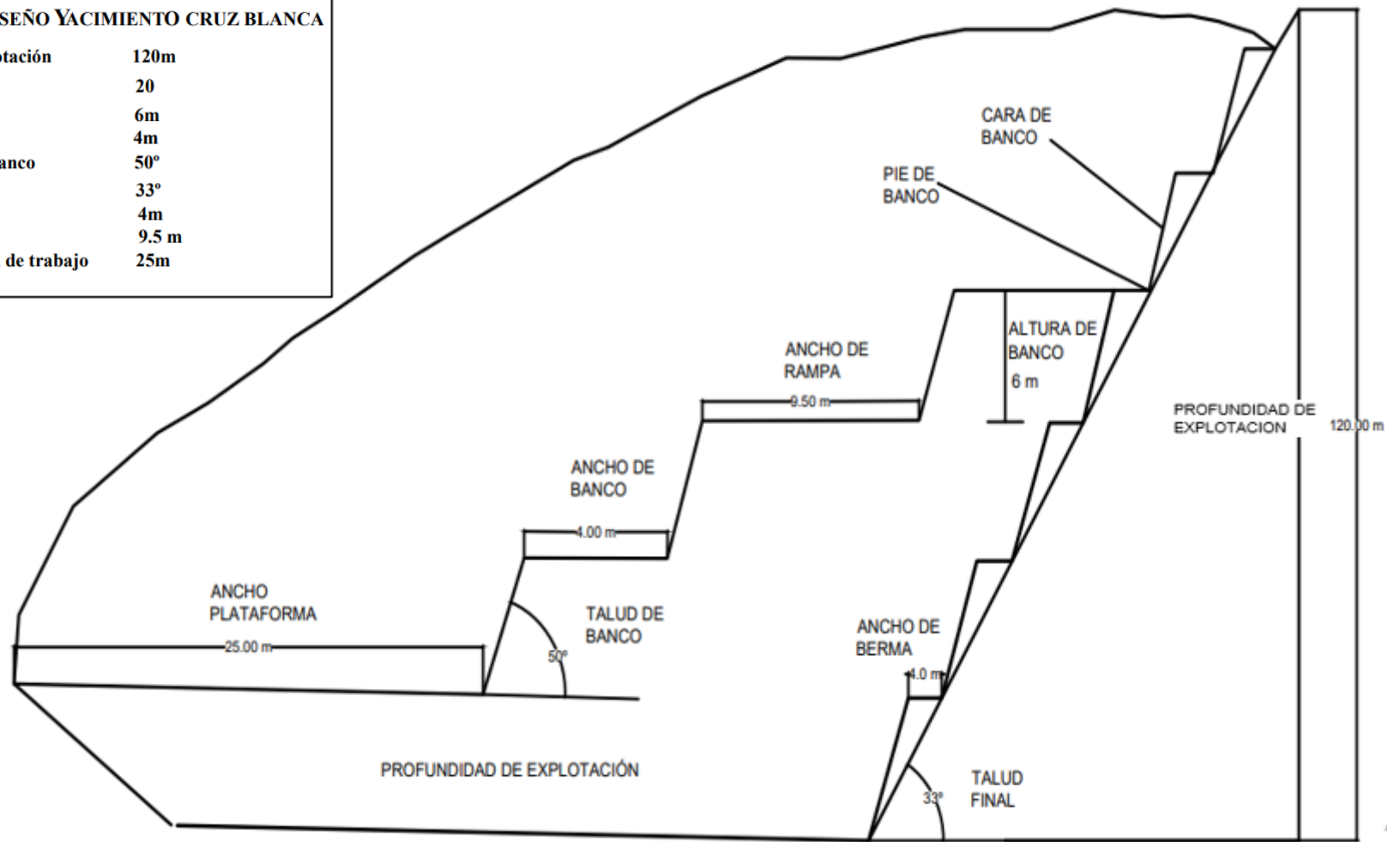


Figura 42: Parámetros geométricos calculados del yacimiento Cruz Blanca

4.3.2. Diseño del yacimiento Pariamarca (9204100, 776200)

Para el diseño de explotación tendremos en cuenta la topografía del yacimiento, los parámetros geomecánicos - geométricos ya evaluados y los equipos de carga y transporte a utilizar en la explotación.

Para iniciar a explotación se determinará la profundidad del yacimiento, para luego hacer las vías o rampas de acceso y posteriormente hacer el diseño de los bancos de explotación.

Altura total de explotación del yacimiento

Se ha calculado de la siguiente manera:

$$H = H_s - H_i$$

Donde:

H = Profundidad del yacimiento (m)

H_{ma} = Cota mayor (m)

H_{me} = Cota menor (m)

Remplazando datos:

H_{ma} = 2980m

H_{me} = 2855m

$$H = H_{ma} - H_{me} = 2980 \text{ m} - 2855 \text{ m} = 125 \text{ m}$$

Por lo tanto, la altura total de explotación es 125m

Ancho y pendiente de vías o rampas de acceso

La pendiente de las vías de acceso en línea recta se asumirá un ángulo de inclinación de 10° y en curvas 12° con el fin de tener una eficiencia, durabilidad y tiempo de desplazamiento óptimo de equipos.

Para calcular el ancho de las vías tendremos en cuenta las dimensiones de equipos de acarreo que transitarán y serán los volquetes Mercedes Actros 3344 y se determinara utilizando la siguiente fórmula:

$$A = a (0.5 + 1.5 n)$$

Donde:

A = Ancho de la vía o rampa (m)

a= Ancho del vehículo (m)

n = Número de carriles deseados

Reemplazando tenemos:

Ancho del vehículo= 2.5m

Número de carriles= 2

Reemplazando:

$$A = 2.5 (0.5 + 1.5 * 2) = 8.75m$$

Por lo tanto el ancho total de las vías de acceso aumentado 0.75m de cuneta será de 9.5m

DISEÑO DE BANCOS

Una vez definidas las pendientes estables de los taludes generales, se pasa a estudiar la geometría de los bancos, que dependerá de la configuración de los taludes y su orientación relativa respecto a la estratificación o familias de discontinuidades dominantes. No obstante, es posible clasificar las diferentes situaciones de los bancos y dar unos criterios básicos de diseño.

Los bancos de explotación de las areniscas de la Formación Chimú estarán diseñados en dirección NO- SE.

Altura de banco (HB)

Para determinar la altura de banco de la explotación de las areniscas de la Formación Farrat se empleará una excavadora CAT 336 para el arranque, carguío de material y perfilado sanear cualquier punto del frente y mantener unas condiciones de seguridad aceptables del talud se asume una altura de 6m.

Ancho de final de bancos (Wfb)

Según la normativa vigente la relación entre la altura de banco y el ancho está en relación de 2 a 1 es por ende que por medidas de seguridad asumimos un ancho de 4m

Número de bancos

El número de bancos se determina con la siguiente fórmula:

$$Nb = \frac{H}{Hb}$$

Donde:

Nb = Numero de bancos

H = Altura de la cantera (m)

Hb = Altura del banco (m)

Reemplazando:

H= 150 m

Hb= 5m

$$Nb = \frac{150}{5} = 30$$

Se tendrá 30 bancos de 5 m de altura cada uno.

Ancho de la plataforma de trabajo

De acuerdo con (Herrera, 2007) El ancho de la plataforma de trabajo tiene que ser una medida de tal manera que los equipos operen simultáneamente es por ende que asumimos un ancho mínimo de operaciones de carga y volteo con retroexcavadora de 25 metros.

Ancho de Bermas de seguridad (WB)

Para hallar el ancho de bermas de seguridad utilizaremos la fórmula propuesta por (Call, 1992):

$$WB = 0.2 Hb + 2.00 ; \text{ para } Hb \leq 9m$$

Dónde:

WB : Ancho de Berma.

Hb : Atura de banco.

Remplazando:

$$WB = 0.2 * 6 + 2.00 = 3.2m$$

Por lo que para mayor seguridad utilizaremos un ancho de berma de 4m.

Ángulo del talud de los bancos

Considerando la clasificación de Howard & Mutmansky (2002), el ángulo de talud recomendado para areniscas es de 50°.

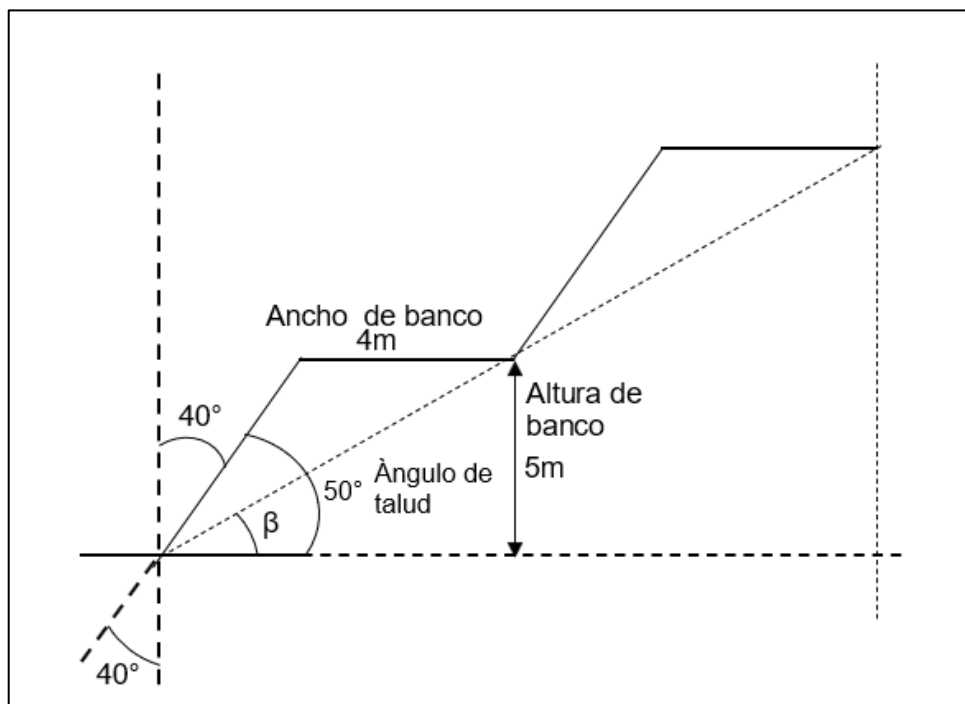


Figura 43: Dimensiones calculadas del diseño del banco en el yacimiento Pariamarca.

Ángulo de talud final (β)

Se determina mediante la siguiente ecuación:

$$\tan \beta = \frac{H}{B}$$

Siendo:

H= altura de banco (m)

B=B₁+B₂

B₁= ancho de banco (m)=4m

B₂= longitud que genera el ángulo en la cara del banco (m)

$$B_2 = H \tan \theta$$

Datos:

H=5m

Siendo θ = ángulo que forma la cara de talud con la vertical que es= 40° (ver figura)

$$B_2 = 5m * \tan 40^\circ = 4.2m$$

Reemplazando:

$$B = 4m + 4.2m = 8.2m$$

Reemplazando en:

$$\tan \beta = \frac{H}{B}$$

$$\tan \beta = \frac{5}{8.2}$$

$$\tan \beta = 0.60$$

$$\beta = 31^\circ$$

Tabla 44. Resumen de los parámetros de diseño del yacimiento Pariamarca.

PARÁMETROS DE DISEÑO	
Profundidad de explotación	125m
Altura de banco	5m
Ancho de banco	4m
Numero de bancos	25
Ancho de vías de acceso o rampas	9.5m
Ángulo de Inclinación de Rampas	10°
Ancho de la plataforma de trabajo	25m
Ancho de la berma	4m
Ángulo de talud de banco según Howard & Mutmansky (2002)	50°
Ángulo de talud final	31°

PARÁMETROS DE DISEÑO YACIMIENTO PARIAMARCA

Profundidad de explotación	125m
Numero de bancos	25
Altura de banco	5m
Ancho de banco	4m
Angulo de talud de banco	50°
Ángulo de talud final	31°
Ancho de la berma	4m
Ancho de rampa	9.5 m
Ancho de plataforma de trabajo	25m

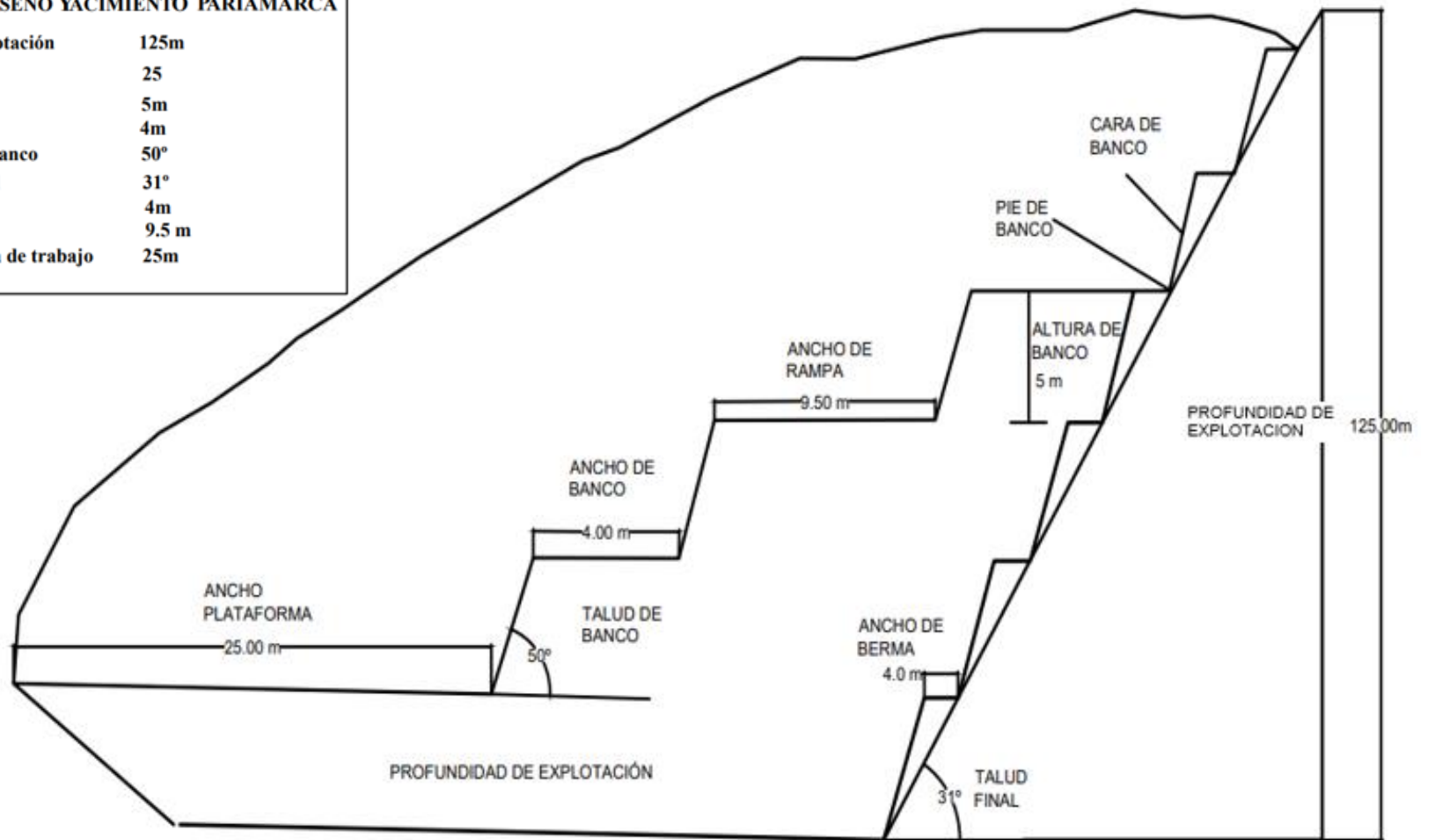


Figura 44: Parámetros geométricos calculados del yacimiento Pariamarca.

4.4. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

La evaluación geomecánica de los macizos rocosos presentes en las localidades de Cruz Blanca y Paríamarca nos permitió localizar áreas y dominios geotécnicos y mineralógicos en donde se pudo calcular el RQD, RMR, GSI, cohesión, ángulo de fricción, FS y analizar su composición mineralógica de estos materiales, dándonos datos y resultados favorables e importantes para determinar el método de explotación de estos yacimientos. Con todos estos datos se pudo determinar los parámetros de diseño para una explotación de estas areniscas. Además, se pudo determinar que la explotación se realizará a cielo abierto utilizando el método de explotación tipo canteras mediante bancos en forma descendente, por lo que la hipótesis se contrasta positivamente.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

El cálculo de los parámetros geomecánicos dan como resultado roca de regular calidad, el RMR de las estaciones geomecánicas en la localidad de Cruz Blanca fue de 57 y 59 y el de Paríamarca de 55 y 53. El GSI calculado mediante el análisis visual en campo fue de 52 y 53 para la zona de Cruz Blanca y de 50 y 49 para la zona de Paríamarca.

El análisis población de fracturas (APF) realizado indican que las fracturas presentes están relacionadas a la acción de la falla regional Cajamarca, el análisis cinemático por fallamientos mediante el DIPS se obtuvo que existe la probabilidad de falla por cuña. El FS calculado mediante el programa SLIDE fue de 1.254 para el talud en Cruz Blanca y de 1.199 para Paríamarca, lo que nos indica que en ambas zonas tienen un talud estable.

El análisis químico realizado en el laboratorio INGEOCONSULT & LAB SRL arrojan valores por encima de los 88% de SiO₂ lo que indica que estas areniscas son idóneas y económicamente rentables para ser explotadas como minerales industriales principalmente como materia prima para la fabricación del vidrio.

El método de explotación será a cielo abierto tipo canteras mediante la utilización de bancos en forma descendente, los parámetros de diseño calculados para la localidad de Cruz Blanca dieron como resultados: 20 bancos de 6m de altura, talud de trabajo final de 33°, ancho de berma de 4m. Para la localidad de Paríamarca dieron como resultado 25 bancos de 5m de altura con 31° de talud final de trabajo.

5.2. RECOMENDACIONES

Al investigador futuro de la Universidad Nacional de Cajamarca u otras universidades de las carreras de ingeniería de minas o carreras afines, deberá incluir el estudio de parámetros medioambientales y parámetros hidrogeológicos a su diseño de explotación, ya que en la presente investigación solo se tomaron en cuenta parámetros gemecánicos, geométricos, geotécnicos y económicos.

A los empresarios de la zona que tengan interés en explotar estos yacimientos de areniscas, deberán tener en cuenta para un mejor diseño de mina, el modelamiento por bloques utilizando softwares tales como el Minesight y Vulcan estos ayudaran a una mejor selectividad del material y a una mejor planificación de mina por ende la explotación será más óptima.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aucay Maldonado, L. R., & Ordoñez Ordoñez, J. D. (2019). Aplicabilidad del esclerómetro o martillo de Schmidt a la determinación de la resistencia a la compresión simple en rocas (Bachelor's thesis, Universidad del Azuay).
- Alcántara Urrutia, L. H., Pacheco Ccapa, R. V., & Salazar Cacho, I. N. (2019). Caracterización geomecánica para determinar el tipo de sostenimiento en labores subterráneas, Perú-2018.
- Barton, N., Lien, R. & Lunde J., 1974. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. *Rock Mechanics*, 6: 189-236.
- Benavides. 1956. Geología de Cajamarca: sociedad geológica del Perú. Lima.
- Cartaya, M. 2001. Tesis. Caracterización Geomecánica de macizos rocosos en obra subterráneas de la región oriental del país Cuba. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Cuba.
- Chilón Pompa, D., & López Salazar, A. (2021). Evaluación geomecánica de los macizos rocosos para el diseño de explotación de materiales pétreos en la cantera san Cirilo Cajamarca-2021.
- Chong Kam, L. M. L., & Carpio Ronquillo, M. (2016). Importancia geoeconómico de la secuencia silicoclástica de las arenas silíceas del norte de Chachapoyas: usos y aplicaciones.
- Cuyubamba, H. 2019. Zonificación geomecánica para optimizar el diseño de malla de perforación y voladura- Unidad Minera Parcoy- Consorcio Minero Horizonte S.A.C. tesis para optar el título de Ingeniero de Minas. Universidad

Nacional del Centro del Perú (UNCP). Facultad de Ingeniería de Minas. La Libertad- Perú.

Das, B. M. 2001 Fundamentos de la geotécnia. California: Pedro de la Graza Rosales.

Deere, D. 1989 Rock Quality Designation (RQD) After twenty years. Florida.

Gonzáles de Vallejo, L. 2002 Ingeniería Geológica. Madrid, España. Prentice Hall. 715 p.

Gonzáles de Vallejo, I.I. 2004. INGENIERÍA GEOLÓGICA. Madrid: PEARSON EDUCACIÓN, S.A.

Guerrero, O. (2014). Vidrio: Ingeniería de Materiales

Hartman, H. & J. Mutmanky 2002 Introductory Mining Engineering. Second edition. Canada.

Herbert, J. H. (2017). Diseño de explotaciones de cantera. Universidad Politécnica de Madrid-Escuela Técnica Superior de Ingenieros en Minas, 1, 39.

Hernández Sampieri R. 2014. Metodología de la investigación. Sexta Edición. Editorial Mc Graw Hill. México.

Herrera Herbert, J., & Pla Ortiz de Urbina, F. (2006). Métodos de minería a cielo abierto.

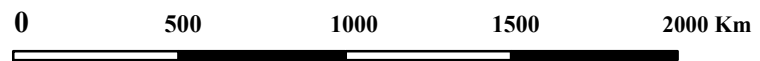
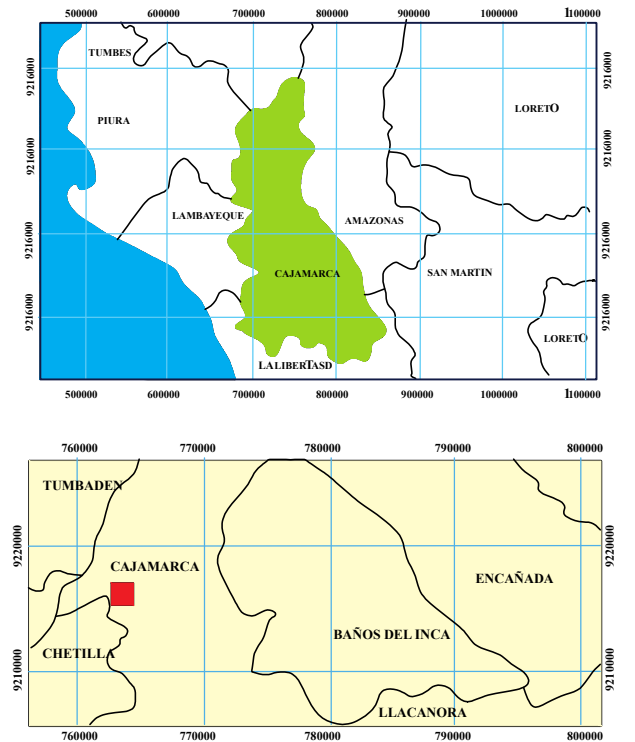
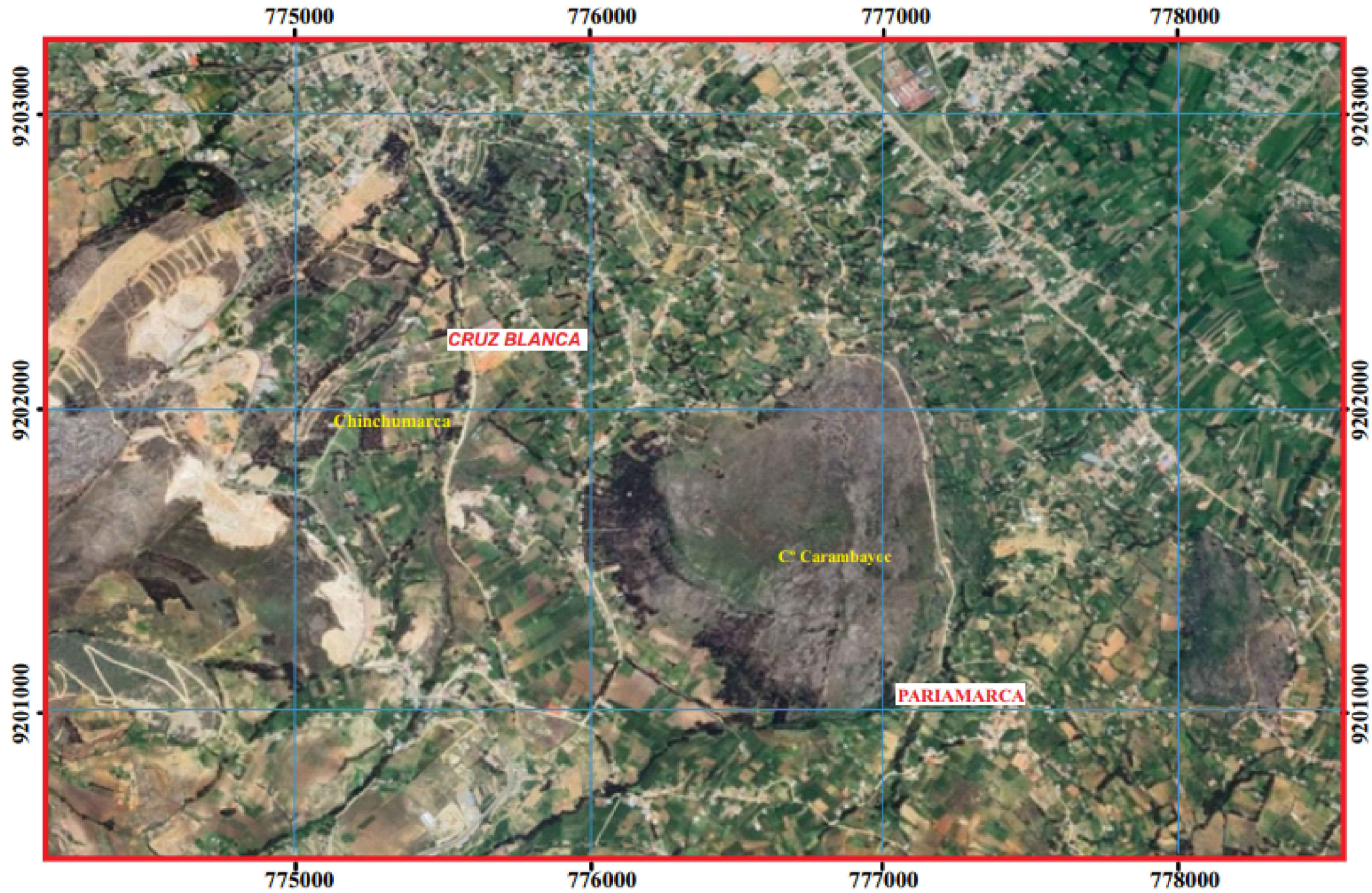
Hoek, E., Carranza-Torres, C., & Corkum, B. El criterio de rotura de Hoek-Brown– Edición 2002 Hoek-Brown failure criterion–2002 Edition.

Hoek, E. 2013 Quantification of the Geological Strength Index Chart. 47th US Rock Mechanics / Geomechanics Symposium.

- Jiménez Del Valle, B. (2014). Criterios de definición de fases y diseño en minería a cielo abierto.
- López Jiménez, C. R. (2005). Diseño de un método de explotación para la mina Colombia, CVG Minerven, El Callao, estado Bolívar (Doctoral dissertation).
- Lozano, A. 2009. Martillo Schmidt (Esclerómetro). Geoengineering Services & Consulting EIRL, 4.
- Mucuta-Lito, H. V., Cartaya-Pires, M., & Cuni-Calzada, J. (2019). Evaluación geomecánica del macizo rocoso en frentes de explotación del yacimiento polimetálico Castellanos. *Minería y Geología*, 35(4), 430-440.
- OSINERGMIN. 2017. Guía de Criterios geomecánicos para diseño, construcción, supervisión y cierre de labores mineras. Magdalena del mar, Lima, Perú, INVERSIONES IAKOB S.A.C.
- Ramírez Oyanguren, P., & Alejano Monge, L. R. (2004). *Mecánica de rocas: Fundamentos e ingeniería de taludes*.
- Reyes, L. (1980), "Boletín N°.31 Geología de los cuadrángulos de Cajamarca (15-f), San Marcos (15-g) y Cajabamba (16g)".
- Soto Hinojosa, A. J. (2018). Estudio geomecánico y dimensionamiento de minado del cuerpo esperanza de Mina Yauricocha.

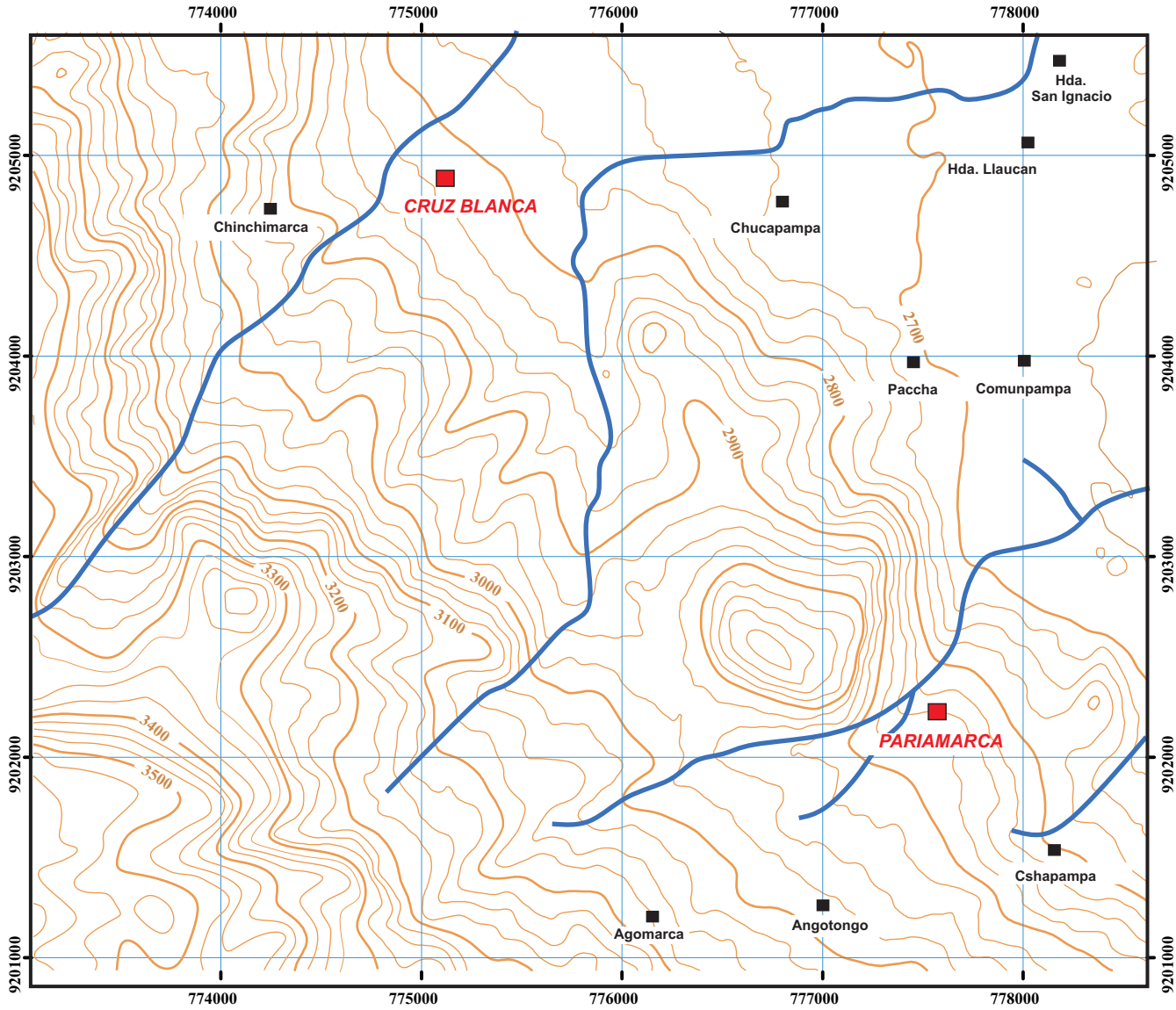
ANEXOS

- Anexo 1. Plano de Ubicación.
- Anexo 2. Plano Modelo Digital de Elevaciones (MDE).
- Anexo 3. Plano Geológico - Estructural.
- Anexo 4. Plano Tectónico regional.
- Anexo 5. Plano Ubicación de muestras.
- Anexo 6. Plano Ubicación de explotación de yacimientos.
- Anexo 7. Plano Parámetros de diseño del yacimiento Cruz Blanca.
- Anexo 8. Plano Parámetros de diseño del yacimiento Pariamarca.
- Anexo 9. Análisis químico.
- Anexo 10. Panel fotográfico.



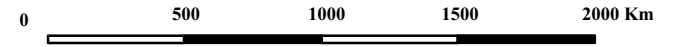
Coordinate System: WGS-1984 UTM Zone 17 S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Profesional de Ingeniería de Minas	
TESIS: EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA LA ELECCIÓN DEL MÉTODO DE EXPLOTACIÓN DE LAS ARENISCAS CUARZOSAS PERTENECIENTES A LAS FORMACIONES CHIMÚ Y FARRAT COMO MINERALES INDUSTRIALES. ZONA PARIAMARCA- CRUZ BLANCA.		
PLANO DE UBICACIÓN		
Bach. VÁSQUEZ MACEDO EDERSON MICHAEL		PLANO: N°01
ESCALA: 1/15000	FECHA: MAYO 2024	
Asesor: Dr. ALEJANDRO CLAUDIO LAGOS MANRIQUE		





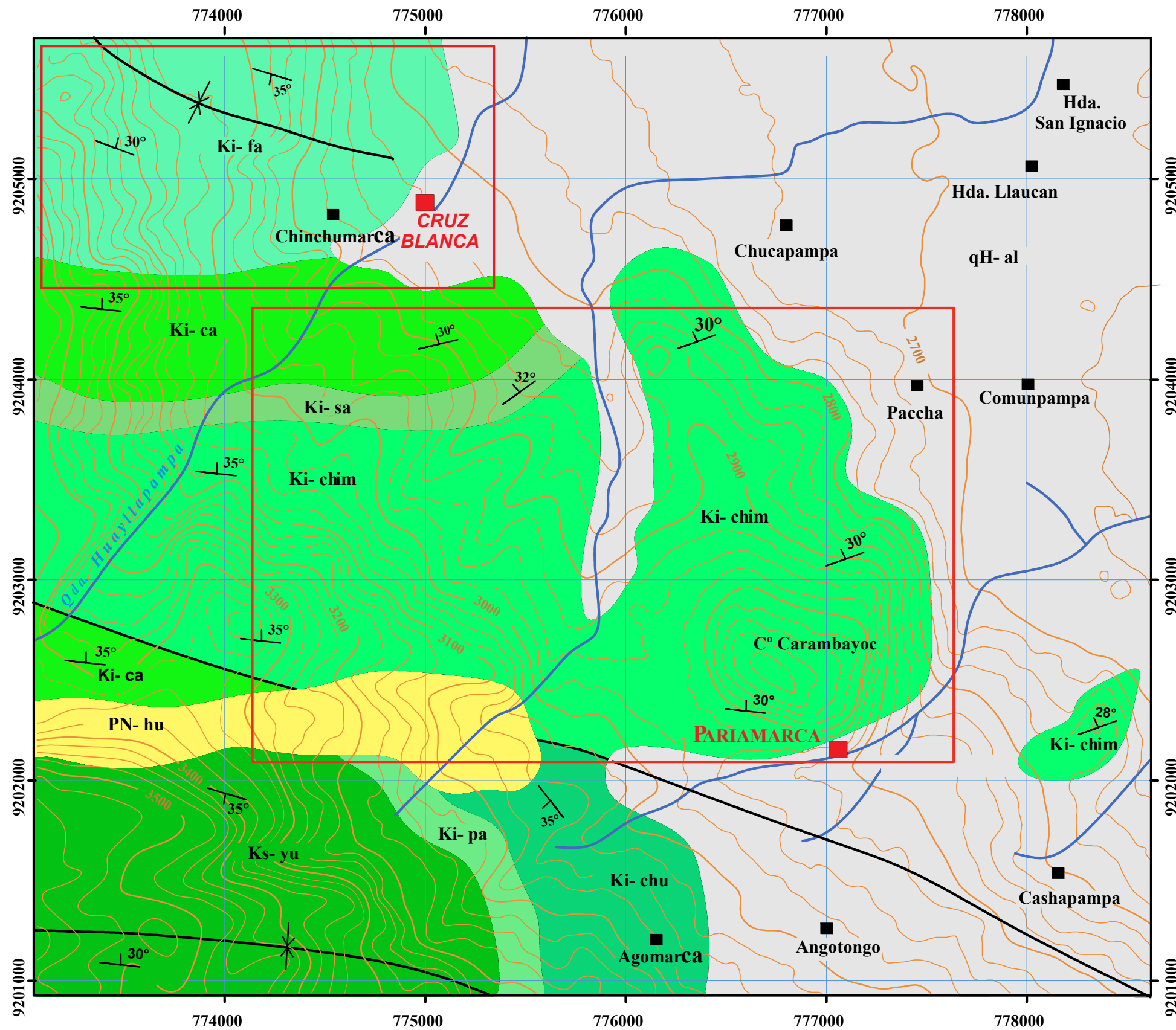
SIMBOLOGÍA

- Zona de estudio
- Curvas de nivel mayores
- Curvas de nivel menores
- ~ Quebrada
- Ubicación de los pueblos



Coordinate System: WGS-1984 UTM Zone 17 S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Profesional de Ingeniería de Minas	
TESIS: EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA LA ELECCIÓN DEL MÉTODO DE EXPLOTACIÓN DE LAS ARENISCAS CUARZOSAS PERTENECIENTES A LAS FORMACIONES CHIMÚ Y FARRAT COMO MINERALES INDUSTRIALES. ZONA PARIAMARCA- CRUZ BLANCA.		
MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES		
Bach. VÁSQUEZ MACEDO EDERSON MICHAEL		PLANO: N°02
ESCALA: 1/15000	FECHA: MAYO 2024	
Asesor: Dr. ALEJANDRO CLAUDIO LAGOS MANRIQUE		



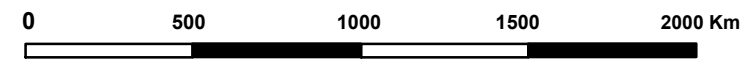
SIMBOLOGÍA



- Zona de estudio
- Curvas de nivel
- Falla
- ~ Quebrada
- / 35° Rumbo y buzamiento
- X Sinclinal
- ↗ Anticlinal

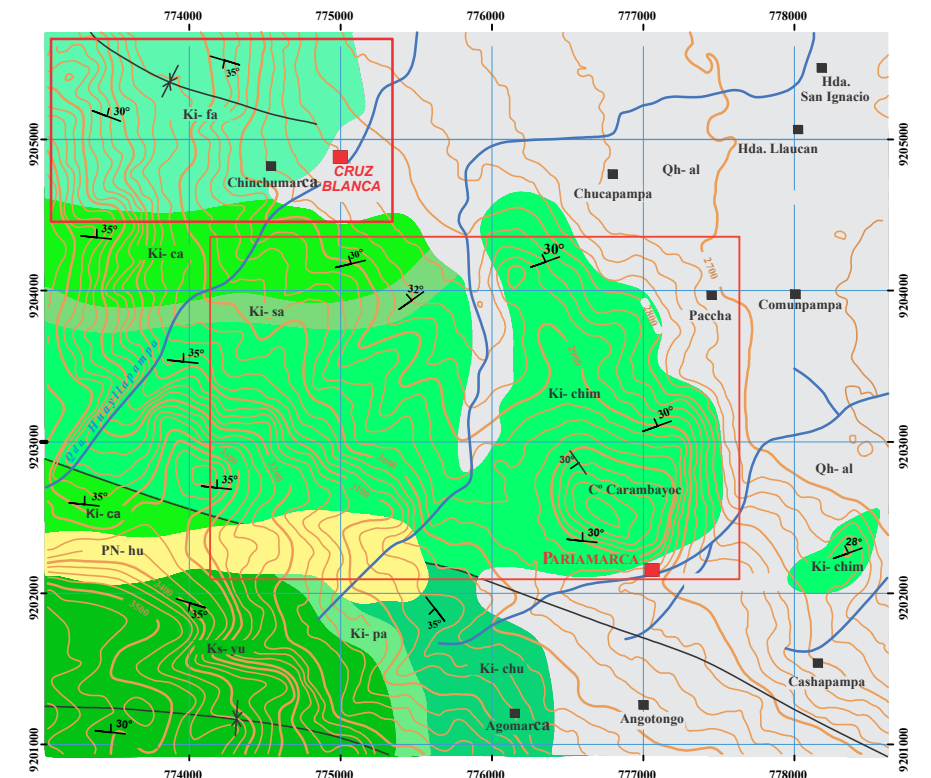
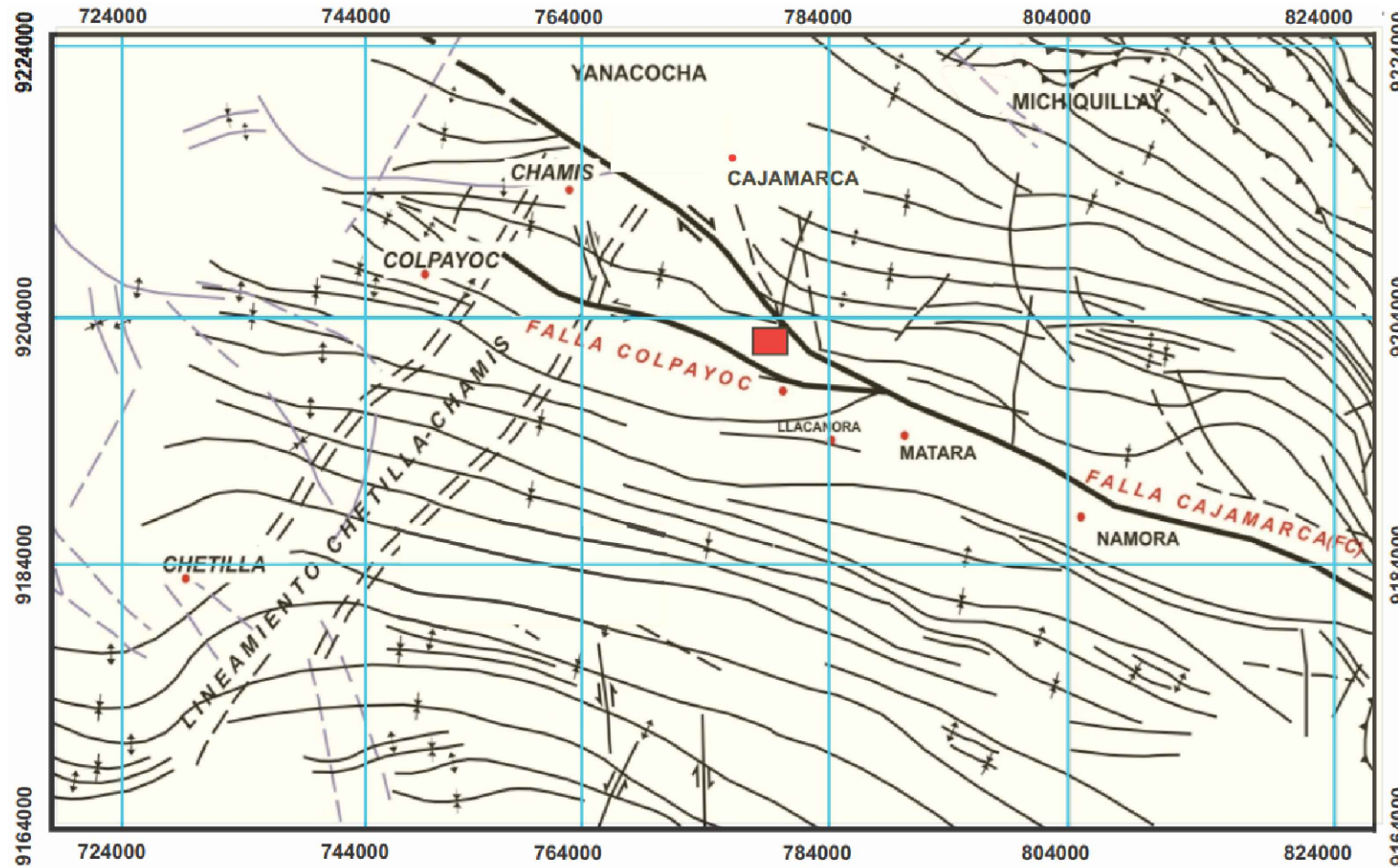
LEYENDA

Qh-al	Depósito aluvial
PN-hu	Formación Huambos
Ks-yu	Formación Yumagual
Ki-pa	Formación Pariatambo
Ki-chu	Formación Chulec
Ki-in	Formación Inca
Ki-fa	Formación Farrat
Ki-ca	Formación Carhuaz
Ki-sa	Formación Santa
Ki-chim	Formación Chimú

Coordinate System: WGS-1984 UTM Zone 17 S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984



	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Profesional de Ingeniería de Minas	
TESIS: EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA LA ELECCIÓN DEL MÉTODO DE EXPLOTACIÓN DE LAS ARENISCAS CUARZOSAS PERTENECIENTES A LAS FORMACIONES CHIMÚ Y FARRAT COMO MINERALES INDUSTRIALES. ZONA PARIAMARCA - CRUZ BLANCA.		
PLANO GEOLÓGICO - ESTRUCTURAL		
Bach. VÁSQUEZ MACEDO EDERSON MICHAEL		
ESCALA: 1/15000	FECHA: MAYO 2024	PLANO: N° 03
Asesor: Dr. ALEJANDRO CLAUDIO LAGOS MANRIQUE		



SIMBOLOGÍA

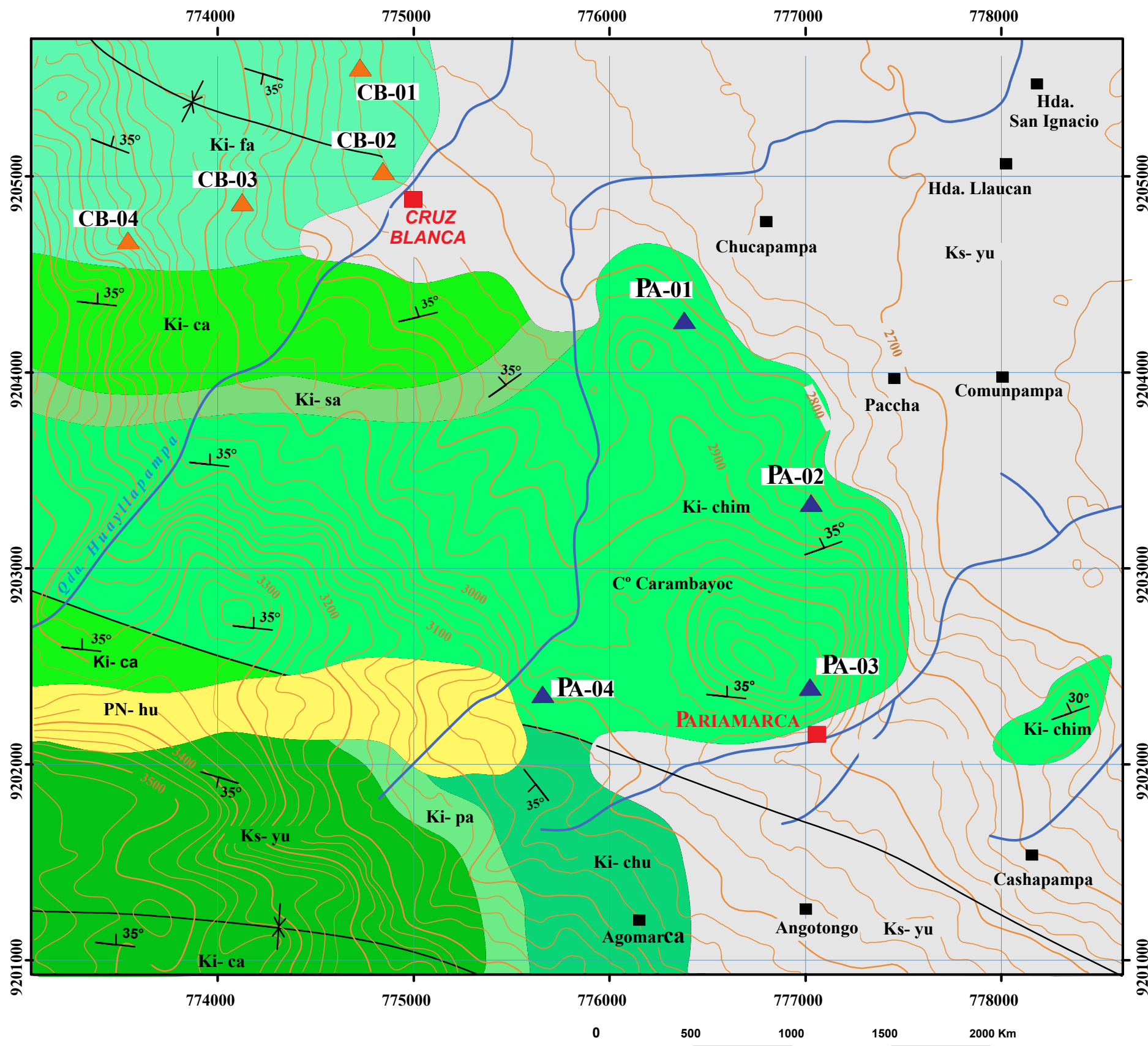
	Zona de estudio
	Curvas de nivel
	Falla
	Quebrada
	Rumbo y buzamiento
	Sinclinal
	Anticlinal

LEYENDA

	Qh-al	Depósito aluvial
	PN-hu	Formación Huambos
	Ks-yu	Formación Yumagual
	Ki-pa	Formación Pariatambo
	Ki-chu	Formación Chulec
	Ki-in	Formación Inca
	Ki-fa	Formación Farrat
	Ki-ca	Formación Carhuaz
	Ki-sa	Formación Santa
	Ki-chim	Formación Chimu

Coordinate System: WGS-1984 UTM Zone 17 S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984

	<p align="center">UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Profesional de Ingeniería de Minas</p>	
<p align="center">TESIS: EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA LA ELECCIÓN DEL MÉTODO DE EXPLOTACIÓN DE LAS ARENISCAS CUARZOSAS PERTENECIENTES A LAS FORMACIONES CHIMU Y FARRAT COMO MINERALES INDUSTRIALES. ZONA PARIAMARCA- CRUZ BLANCA.</p>		
<p align="center">PLANO TECTÓNICO REGIONAL</p>		
<p align="center">Bach. VÁSQUEZ MACEDO EDERSON MICHAEL</p>		<p align="center">PLANO: N°04</p>
<p align="center">ESCALA: 1/15000</p>	<p align="center">FECHA: MAYO 2024</p>	
<p align="center">Asesor: Dr. ALEJANDRO CLAUDIO LAGOS MANRIQUE</p>		



SIMBOLOGÍA

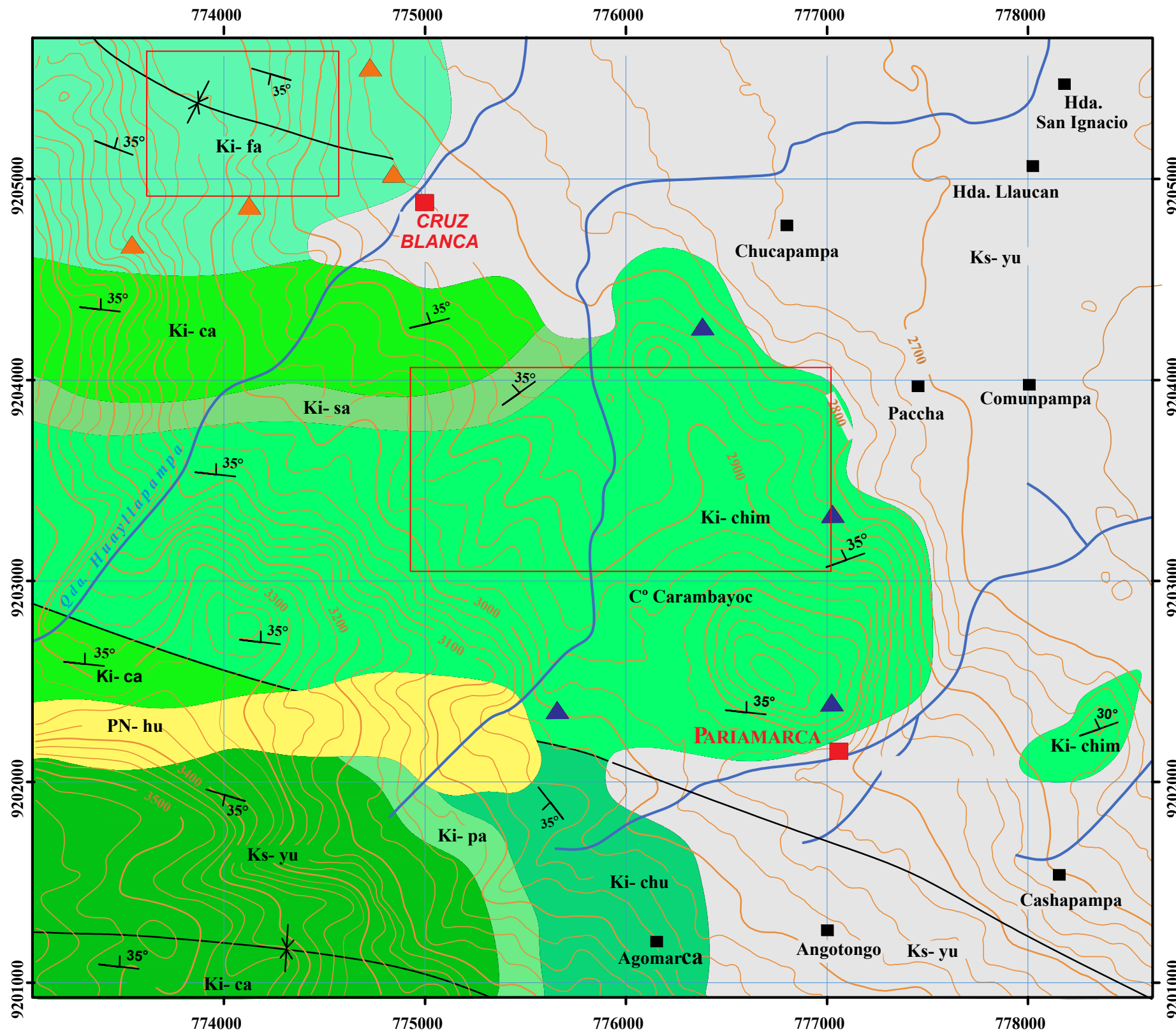
	Zona de estudio
	Curvas de nivel
	Quebrada
	Estación geomecánica

LEYENDA

	Qh-al Depósito aluvial
	PN-hu Formación Huambos
	Ks-yu Formación Yumagual
	Ki-pa Formación Pariatambo
	Ki-chu Formación Chulec
	Ki-in Formación Inca
	Ki-fa Formación Farrat
	Ki-ca Formación Carhuaz
	Ki-sa Formación Santa
	Ki-chim Formación Chimú

Coordinate System: WGS-1984 UTM Zone 17 S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Profesional de Ingeniería de Minas	
TESIS: EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA LA ELECCIÓN DEL MÉTODO DE EXPLOTACIÓN DE LAS ARENISCAS CUARZOSAS PERTENECIENTES A LAS FORMACIONES CHIMÚ Y FARRAT COMO MINERALES INDUSTRIALES. ZONA PARÍMARCA - CRUZ BLANCA.		
PLANO DE UBICACIÓN DE MUESTRAS		
Bach. VÁSQUEZ MACEDO EDERSON MICHAEL		
ESCALA: 1/15000	FECHA: MAYO 2024	PLANO: N°05
Asesor: Dr. ALEJANDRO CLAUDIO LAGOS MANRIQUE		



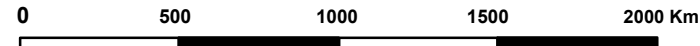
SIMBOLOGÍA

	Zona de explotación
	Curvas de nivel
	Quebrada
	Estación geomecánica

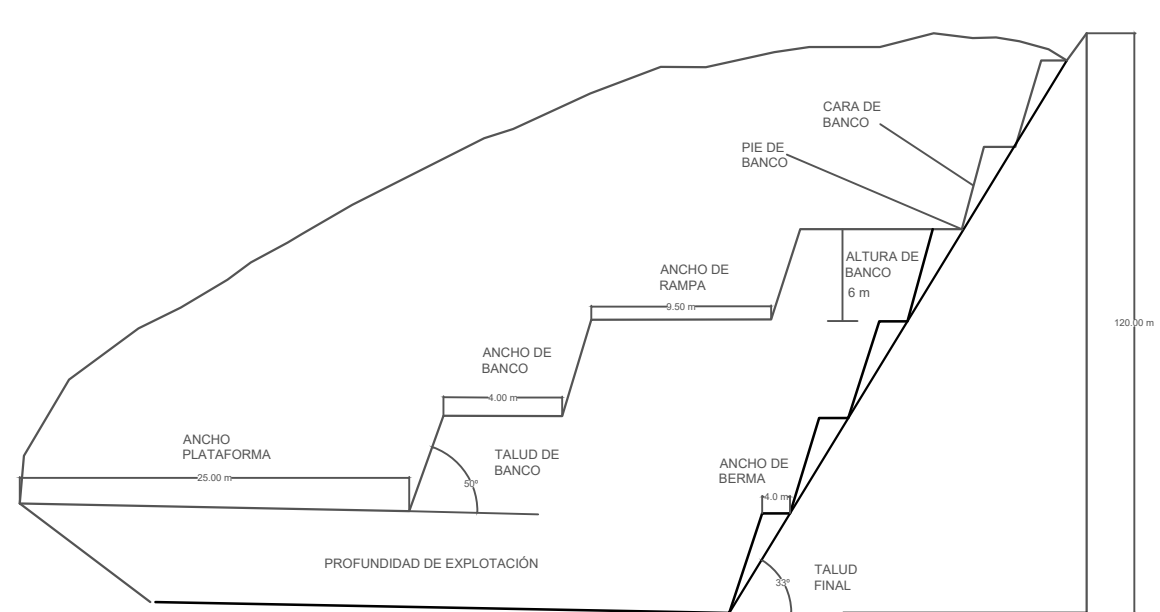
LEYENDA

	Qh-al Depósito aluvial
	PN-hu Formación Huambos
	Ks-yu Formación Yumagual
	Ki-pa Formación Pariatambo
	Ki-chu Formación Chulec
	Ki-in Formación Inca
	Ki-fa Formación Farrat
	Ki-ca Formación Carhuaz
	Ki-sa Formación Santa
	Ki-chim Formación Chimú

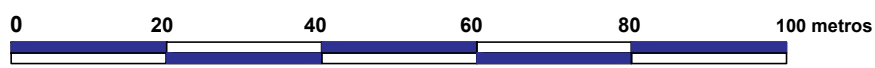
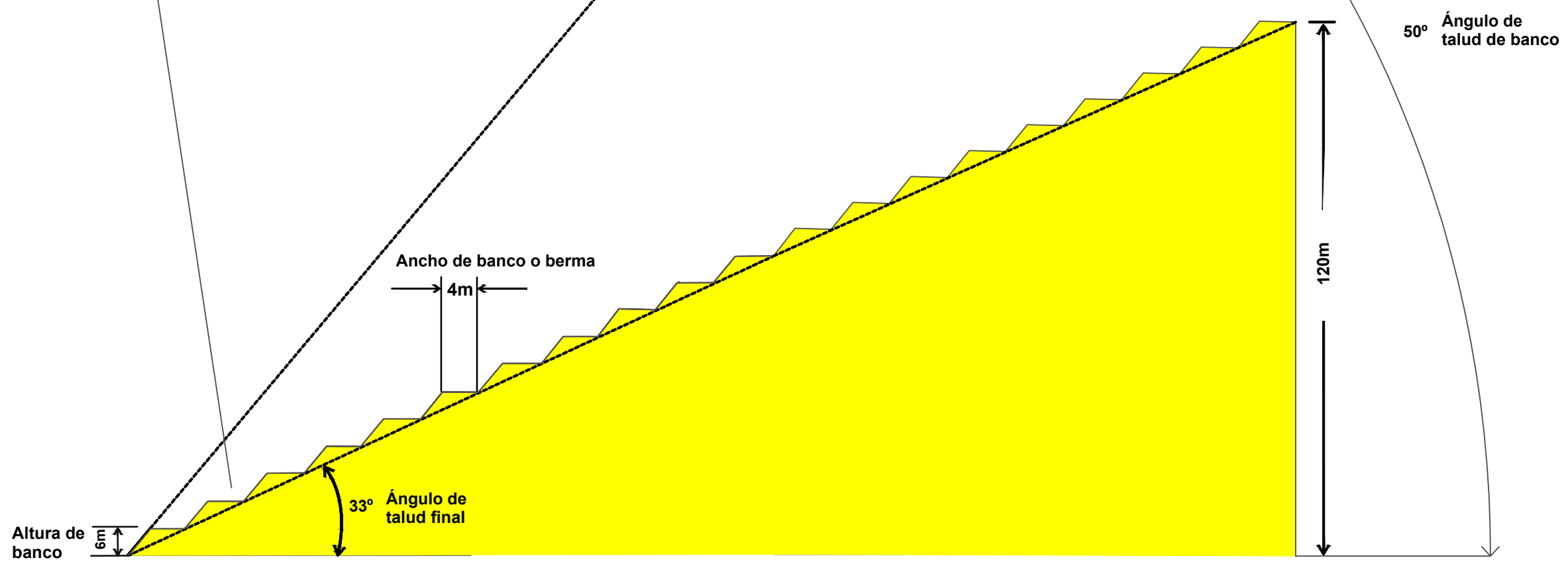
Coordinate System: WGS-1984 UTM Zone 17 S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984





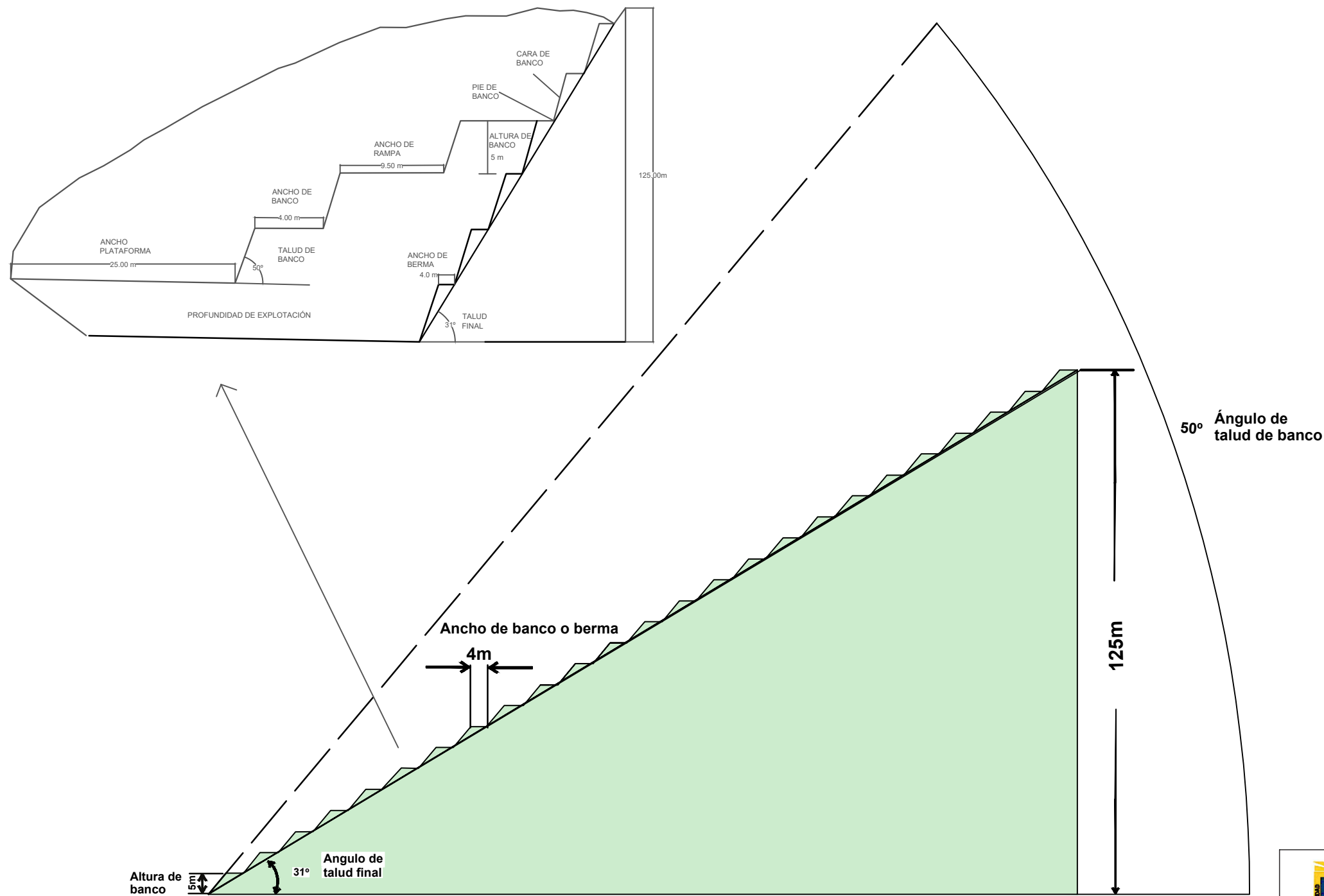
	<p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Profesional de Ingeniería de Minas</p>	
<p>TESIS: EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA LA ELECCIÓN DEL MÉTODO DE EXPLOTACIÓN DE LAS ARENISCAS CUARZOSAS PERTENECIENTES A LAS FORMACIONES CHIMÚ Y FARRAT COMO MINERALES INDUSTRIALES. ZONA PARÍMARCA- CRUZ BLANCA.</p>		
<p>PLANO DE UBICACIÓN DE EXPLOTACIÓN DE YACIMIENTOS</p>		
<p>Bach. VÁSQUEZ MACEDO EDERSON MICHAEL</p>		
<p>ESCALA: 1/15000</p>	<p>FECHA: MAYO 2024</p>	<p>PLANO: N° 06</p>
<p>Asesor: Dr. ALEJANDRO CLAUDIO LAGOS MANRIQUE</p>		





PARÁMETROS DE DISEÑO YACIMIENTO CRUZ BLANCA	
Profundidad de explotación	120m
Numero de bancos	20
Altura de banco	6m
Ancho de banco	4m
Angulo de talud de banco	50°
Ángulo de talud final	33°
Ancho de la berma	4m
Ancho de rampa	9.5 m
Ancho de plataforma de trabajo	25m



	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Profesional de Ingeniería de Minas	
TESIS:		
EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA LA ELECCIÓN DEL MÉTODO DE EXPLOTACIÓN DE LAS ARENISCAS CUARZOSAS PERTENECIENTES ALAS FORMACIONES CHIMÚ Y FARRAT COMO MINERALES INDUSTRIALES. ZONA PARIAMARCA-CRUZ BLANCA.		
PLANO:	PARÁMETROS DE DISEÑO YACIMIENTO CRUZ BLANCA	ESCALA:
TESISTA:	Bach. VÁSQUEZ MACEDO EDERSON MICHAEL	1/1000
ASESOR:	Asesor: Dr. ALEJANDRO CLAUDIO LAGOS MANRIQUE	PLANO: N° 07
FECHA:	MAYO 2024	



PARÁMETROS DE DISEÑO YACIMIENTO PARIAMARCA	
Profundidad de explotación	125m
Numero de bancos	25
Altura de banco	5m
Ancho de banco	4m
Angulo de talud de banco	50°
Ángulo de talud final	31°
Ancho de la berma	4m
Ancho de rampa	9.5 m
Ancho de plataforma de trabajo	25m

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Profesional de Ingeniería de Minas	
TESIS: EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA LA ELECCIÓN DEL MÉTODO DE EXPLOTACIÓN DE LAS ARENISCAS CUARZOSAS PERTENECIENTES ALAS FORMACIONES CHIMÚ Y FARRAT COMO MINERALES INDUSTRIALES. ZONA PARIAMARCA-CRUZ BLANCA.		
PLANO:	PARÁMETROS DE DISEÑO YACIMIENTO PARIAMARCA	ESCALA:
TESISTA:	Bach. VÁSQUEZ MACEDO EDERSON MICHAEL	1/1000
ASESOR:	Asesor: Dr. ALEJANDRO CLAUDIO LAGOS MANRIQUE	PLANO: N° 08
FECHA:	MAYO 2024	

ANÁLISIS QUÍMICO

ANÁLISIS QUÍMICO DE MUESTRA DE ARENISCA

SOLICITA : VASQUEZ MACEDO EDERSON MICHAEL
TESIS : EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA LA ELECCIÓN DEL MÉTODO DE EXPLOTACIÓN DE LAS ARENISCAS CUARZOSAS PERTENECIENTE A LAS FORMACIONES CHIMÚ Y FARRAT COMO MINERALES INDUSTRIALES. ZONA DE PARIAMARCA- CRUZ BLANCA
PROCEDENCIA : FORMACIÓN FARRAT
LUGAR : CRUZ BLANCA
EDAD : CRETÁCICO INFERIOR
MUESTRA : CB-01
COORDENADAS : N 9205400, E774700
FECHA : 10/04/24

I. ANÁLISIS QUÍMICO

DETERMINACIÓN QUÍMICA	RESULTADOS (%)
Oxido de silicio (SiO ₂)	90.118
Oxido férrico (Fe ₂ O ₃)	1.553
Oxido de potasio (K ₂ O)	0.558
Oxido de titanio (T i O ₂)	0.037
Oxido de aluminio (Al ₂ O ₃)	0.584
Oxido de sodio (Na ₂ O)	0.114



Ing. Msc. Hugo Mosquera Estróver
JEFE DE LABORATORIO
CIP 27564

Nota: la muestra fue alcanzada al laboratorio por el interesado para su respectivo análisis.

ANÁLISIS QUÍMICO DE MUESTRA DE ARENISCA

SOLICITA : VASQUEZ MACEDO EDERSON MICHAEL
TESIS : EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA LA ELECCIÓN DEL MÉTODO DE EXPLOTACIÓN DE LAS ARENISCAS CUARZOSAS PERTENECIENTE A LAS FORMACIONES CHIMÚ Y FARRAT COMO MINERALES INDUSTRIALES. ZONA DE PARIAMARCA- CRUZ BLANCA
PROCEDENCIA : FORMACIÓN FARRAT
LUGAR : CRUZ BLANCA
EDAD : CRETÁCICO INFERIOR
MUESTRA : CB-02
COORDENADAS : N 9205100, E774800
FECHA : 10/04/24

I. ANÁLISIS QUÍMICO

DETERMINACIÓN QUÍMICA	RESULTADOS (%)
Oxido de silicio (SiO ₂)	90.448
Oxido férrico (Fe ₂ O ₃)	1.473
Oxido de potasio (K ₂ O)	0.274
Oxido de titanio (T i O ₂)	0.085
Oxido de aluminio (Al ₂ O ₃)	0.436
Oxido de sodio (Na ₂ O)	0.107



Ing. MSc. Hugo Alasqueira Estróver
JEFE DE LABORATORIO
CIP 27564

Nota: la muestra fue alcanzada al laboratorio por el interesado para su respectivo análisis.

ANÁLISIS QUÍMICO DE MUESTRA DE ARENISCA

SOLICITA : VASQUEZ MACEDO EDERSON MICHAEL
TESIS : EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA LA ELECCIÓN DEL MÉTODO DE EXPLOTACIÓN DE LAS ARENISCAS CUARZOSAS PERTENECIENTE A LAS FORMACIONES CHIMÚ Y FARRAT COMO MINERALES INDUSTRIALES. ZONA DE PARIAMARCA- CRUZ BLANCA
PROCEDENCIA : FORMACIÓN FARRAT
LUGAR : CRUZ BLANCA
EDAD : CRETÁCICO INFERIOR
MUESTRA : CB-03
COORDENADAS : N 9204900, E774100
FECHA : 10/04/24

I. ANÁLISIS QUÍMICO

DETERMINACIÓN QUÍMICA	RESULTADOS (%)
Oxido de silicio (SiO ₂)	89.924
Oxido férrico (Fe ₂ O ₃)	1.195
Oxido de potasio (K ₂ O)	0.896
Oxido de titanio (Ti O ₂)	0.066
Oxido de aluminio (Al ₂ O ₃)	0.287
Oxido de sodio (Na ₂ O)	0.198



Ing. MSc. Hugo Mosquera Estróver
JEFE DE LABORATORIO
CIP 27564

Nota: la muestra fue alcanzada al laboratorio por el interesado para su respectivo análisis.

ANÁLISIS QUÍMICO DE MUESTRA DE ARENISCA

SOLICITA : VASQUEZ MACEDO EDERSON MICHAEL
TESIS : EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA LA ELECCIÓN DEL MÉTODO DE EXPLOTACIÓN DE LAS ARENISCAS CUARZOSAS PERTENECIENTE A LAS FORMACIONES CHIMÚ Y FARRAT COMO MINERALES INDUSTRIALES. ZONA DE PARIAMARCA- CRUZ BLANCA
PROCEDENCIA : FORMACIÓN FARRAT
LUGAR : CRUZ BLANCA
EDAD : CRETÁCICO INFERIOR
MUESTRA : CB-04
COORDENADAS : N 9204700, E773600
FECHA : 10/04/24

I. ANÁLISIS QUÍMICO

DETERMINACIÓN QUÍMICA	RESULTADOS (%)
Oxido de silicio (SiO ₂)	88.992
Oxido férrico (Fe ₂ O ₃)	1.443
Oxido de potasio (K ₂ O)	0.282
Oxido de titanio (T i O ₂)	0.064
Oxido de aluminio (Al ₂ O ₃)	0.845
Oxido de sodio (Na ₂ O)	0.197



Ing. Msc. Hugo Mosquera Estrater
JEFE DE LABORATORIO
CIP 27664

Nota: la muestra fue alcanzada al laboratorio por el interesado para su respectivo análisis.

ANÁLISIS QUÍMICO DE MUESTRA DE ARENISCA

SOLICITA : VASQUEZ MACEDO EDERSON MICHAEL
TESIS : EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA LA ELECCIÓN DEL MÉTODO DE EXPLOTACIÓN DE LAS ARENSCAS CUARZOSAS PERTENECIENTE A LAS FORMACIONES CHIMÚ Y FARRAT COMO MINERALES INDUSTRIALES. ZONA DE PARIAMARCA- CRUZ BLANCA
PROCEDENCIA : FORMACIÓN CHIMU
LUGAR : PARIAMARCA
EDAD : CRETÁCICO INFERIOR
MUESTRA : PA-01
COORDENADAS : N 9204100, E776200
FECHA : 10/04/24

I. ANÁLISIS QUÍMICO

DETERMINACIÓN QUÍMICA	RESULTADOS (%)
Oxido de silicio (SiO ₂)	94.417
Oxido férrico (Fe ₂ O ₃)	1.225
Oxido de potasio (K ₂ O)	0.554
Oxido de titanio (T i O ₂)	0.038
Oxido de aluminio (Al ₂ O ₃)	0.556
Oxido de sodio (Na ₂ O)	0.112



Ing. MSc. Hugo Mosquera Estrover
JEFE DE LABORATORIO
CIP 27664

ANÁLISIS QUÍMICO DE MUESTRA DE ARENISCA

SOLICITA : VASQUEZ MACEDO EDERSON MICHAEL
TESIS : EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA LA ELECCIÓN DEL MÉTODO DE EXPLOTACIÓN DE LAS ARENISCAS CUARZOSAS PERTENECIENTE A LAS FORMACIONES CHIMÚ Y FARRAT COMO MINERALES INDUSTRIALES. ZONA DE PARIAMARCA- CRUZ BLANCA
PROCEDENCIA : FORMACIÓN
LUGAR : PARIAMARCA
EDAD : CRETÁCICO INFERIOR
MUESTRA : PA-02

I. ANÁLISIS QUÍMICO

DETERMINACIÓN QUÍMICA	RESULTADOS (%)
Oxido de silicio (SiO ₂)	93.953%
Oxido férrico (Fe ₂ O ₃)	1.684%
Oxido de potasio (K ₂ O)	0.595%
Oxido de titanio (T i O ₂)	0.067%
Oxido de aluminio (Al ₂ O ₃)	0.228%
Oxido de sodio (Na ₂ O)	0.149%



Ing. Msc. Hugo Mosquera Estrayer
JEFE DE LABORATORIO
CIP 27664

Nota: la muestra fue alcanzada al laboratorio por el interesado para su respectivo análisis.

ANÁLISIS QUÍMICO DE MUESTRA DE ARENISCA

SOLICITA : VASQUEZ MACEDO EDERSON MICHAEL
TESIS : EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA LA ELECCIÓN DEL MÉTODO DE EXPLOTACIÓN DE LAS ARENISCAS CUARZOSAS PERTENECIENTE A LAS FORMACIONES CHIMÚ Y FARRAT COMO MINERALES INDUSTRIALES. ZONA DE PARIAMARCA- CRUZ BLANCA
PROCEDENCIA : FORMACIÓN CHIMU
LUGAR : PARIAMARCA
EDAD : CRETÁCICO INFERIOR
MUESTRA : PA-03
COORDENADAS : N 9202100, E774052
FECHA : 10/04/24

I: ANÁLISIS QUÍMICO

DETERMINACIÓN QUÍMICA	RESULTADOS (%)
Oxido de silicio (SiO ₂)	94.885
Oxido férrico (Fe ₂ O ₃)	1.091
Oxido de potasio (K ₂ O)	0.335
Oxido de titanio (T i O ₂)	0.034
Oxido de aluminio (Al ₂ O ₃)	0.483
Oxido de sodio (Na ₂ O)	0.099



Ing. Msc. Hugo Mosquera Estrater
JEFE DE LABORATORIO
CIP 27664

Nota: la muestra fue alcanzada al laboratorio por el interesado para su respectivo análisis.

ANÁLISIS QUÍMICO DE MUESTRA DE ARENISCA

SOLICITA : VASQUEZ MACEDO EDERSON MICHAEL
TESIS : EVALUACIÓN GEOMECÁNICA PARA LA ELECCIÓN DEL MÉTODO DE EXPLOTACIÓN DE LAS ARENISCAS CUARZOSAS PERTENECIENTE A LAS FORMACIONES CHIMÚ Y FARRAT COMO MINERALES INDUSTRIALES. ZONA DE PARIAMARCA- CRUZ BLANCA
PROCEDENCIA : FORMACIÓN CHIMU
LUGAR : PARIAMARCA
EDAD : CRETÁCICO INFERIOR
MUESTRA : PA-04
COORDENADAS : N 9202400, E775600
FECHA : 10/04/24

II. ANÁLISIS QUÍMICO

DETERMINACIÓN QUÍMICA	RESULTADOS (%)
Oxido de silicio (SiO ₂)	95.114
Oxido férrico (Fe ₂ O ₃)	1.035
Oxido de potasio (K ₂ O)	0.486
Oxido de titanio (T i O ₂)	0.097
Oxido de aluminio (Al ₂ O ₃)	0.468
Oxido de sodio (Na ₂ O)	0.243



Ing. MSc. Hugo Mosquera Estróver
JEFE DE LABORATORIO
CIP 27664

Nota: la muestra fue alcanzada al laboratorio por el interesado para su respectivo análisis.

PANEL FOTOGRÁFICO



Foto 1: Medición de la Resistencia a la Compresión Uniaxial de la roca con martillo Schmidt tipo L, en diferentes posiciones.



Foto 2: Medición de las fracturas con coordenadas: Este: 774702.12, Norte: 9203345.14, cota: 2993 m.s.n.m



Foto 3: Nódulos de hierro identificados dentro de la Formación Carhuaz con coordenadas: Este: 774661.88, Norte: 9203434.90, cota: 3005 m.s.n.m



Foto 4: Rocas de la Formación Farrat utilizadas de forma ornamental para revestimiento de paredes y pisos, con coordenadas Este: 777453.26, Norte: 9202455.54, cota: 2783 m.s.n.m



Foto 5: Análisis macroscópico en el campo de la arenisca de la Formación Chimú con coordenadas Este: 775856.12, Norte: 9202833.43, cota: 2905 m.s.n.m



Foto 6: Explotación de areniscas de la Formación Farrat. Foto tomada al SO de la Zona Cruz Blanca con coordenadas: Este: 775951.68, Norte: 9202490.17, cota: 2948 m.s.n.m