

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



TESIS

**COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO DE LA ROCA CON LA ARCILLA
DEL DERECHO MINERO HORJES, DISTRITO DE NAMORA
(SULLUSCOCHA) - CAJAMARCA**

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO DE MINAS

Autor:

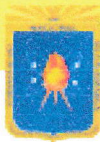
Bach. Sánchez Bustamante Christian

Asesor:

M.Cs. Ing. Gonzales Yana Roberto Severino

CAJAMARCA – PERÚ

2023



CERTIFICADO DE ORIGINALIDAD


La que suscribe, Directora de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca certifica:

La originalidad de la tesis denominada **COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO DE LA ROCA CON LA ARCILLA DEL DERECHO MINERO HORJES, DISTRITO DE NAMORA (SULLUSCOCHA) - CAJAMARCA**, realizada por el Bachiller en Ingeniería de Minas **Christian Sánchez Bustamante** de acuerdo al resultado del análisis reportado por su asesor MCs. Roberto Severino Gonzales Yana con el software antiplagio Urkund que indica **12% (doce por ciento)** de índice de similitud, asignándole el código D173856373.

Se expide el presente certificado para los fines pertinentes.

Cajamarca, 13 de setiembre del 2023

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN


Dra. Yvonne Katherine Fernández León
DIRECTORA

Cc.
Archivo
c11323cs

DEDICATORIA

A mi querida mamá
Lola Bustamante
Cusma, me han
enseñado a ser la
persona que soy hoy,
mis principios, mis
valores, mi
perseverancia y su
empeño.

La que me formo como
persona y profesional.

Christian S. B

AGRADECIMIENTO

Un sincero agradecimiento a mi alma mater, Universidad Nacional de Cajamarca, en especial a la Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas; a todos mis docentes, por todas sus enseñanzas que me brindaron y en especial a mi asesor. Ing. M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana que con su constante orientación y revisión fue posible la elaboración y culminación de la presente tesis.

Christian S. B

ÍNDICE

	Pág.
AGRADECIMIENTO	ii
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II.....	3
MARCO TEÓRICO	3
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
2.1.1. Internacionales.....	3
2.1.2. Nacionales.....	3
2.1.3. Locales.....	4
2.2. BASES TEÓRICAS	5
2.2.1 Caracterización del macizo rocoso.....	5
2.2.2 Clasificaciones Geomecánicas.....	5
2.2.3 Orientación.....	5
2.2.4 Agua subterránea.....	6
2.2.5 Mapeo superficial de estructuras expuestas.....	6
2.2.6 Familias de discontinuidades y orientación de las estructuras	7
2.2.7 Índice Q	7
2.2.8 Clasificación RQD	8
2.2.9 Clasificación GSI.	9
2.2.10 Clasificación RMR 1989 de Bieniawski.	10
2.2.11 Resistencia Uniaxial de la Matriz Rocosa.	10
2.2.12 Clasificación de suelos.	13

	Pág.
2.2.13 Granulometría	14
2.2.14 Plasticidad	14
2.2.15 Métodos Analíticos.....	15
2.2.16 Meteorización.....	16
2.2.17 Alteración.....	16
2.2.18. Criterio de rotura HOEK – BROWN	17
2.2.19 La Arcilla	18
2.2.20 Estructura de las arcillas	18
2.2.21 Usos de la Arcilla	21
2.2.22 Ángulo de Fricción.....	21
2.2.23 Cohesión	22
2.2.24 Diseño de Bancos	22
CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS	25
3.1. UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	25
3.1.1. Geográfica.....	25
3.1.2. Política	25
3.1.3. Accesibilidad.....	25
3.1.4 Clima Meteorología.....	27
3.1.5 Vegetación.	28
3.2. TIPO, NIVEL, DISEÑO Y MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	28
3.2.1. Población de estudio.....	29
3.2.2. Muestra	29
3.2.3. Unidad de análisis	29
3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	29
3.3.1. Técnicas de recolección de datos	29
3.3.2. Instrumentos de recolección de datos.....	31
3.4. DEFINICIÓN DE VARIABLES	32

	Pág.
3.5. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS	32
3.6. PROCEDIMIENTO DE RECOPIACIÓN DE DATOS	32
3.6.1. Etapa Preliminar de Gabinete	32
3.6.2. Etapa de Campo	33
3.6.3. Etapa final de Gabinete	33
3.6.4. Procedimiento para la recolección de datos.....	34
3.7 CONTEXTO GEOLÓGICO	34
3.7.1 Geológico Local.....	34
3.7.1.1 Formación Farrat	34
3.7.1.2 Formación Chimú.....	35
3.7.1.3 Formación Carhuaz	35
3.7.1.4 Depósitos cuaternarios.....	36
3.7.1.5 Cuaternario Aluvial	36
3.8 Geomorfología	36
3.8.1 Ambientes Morfogenéticos.....	36
3.8.2 Perfiles Morfométricos	38
3.8 ESTRATIGRAFÍA	39
3.9 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	40
3.10. Muros de contención	43
3.10.1 Dimensionamiento de muros de gravedad.....	44
3.10.2. Estabilidad de muros	44
3.10.2.1 Verificación por tipo de fundación.....	45
3.11. Modelo geomecánico	47
3.12 CLASIFICACIÓN DE LOS MACIZOS ROCOSOS DE LA ZONA DE ESTUDIO. 50	
3.13. METODO DE EXPLOTACION	51
3.13.1 ALTERNATIVAS DEL MÉTODO DE EXPLOTACIÓN.....	52
CAPÍTULO IV ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	53

	Pág.
4.1 ESTACIÓN 1.....	53
ESTACIÓN 2	62
ESTACIÓN 3	71
CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	86
5.1. CONCLUSIONES	86
5.2. RECOMENDACIONES	86
ANEXOS	90

Índice de figuras

	Pág.
Figura 1: Referencia de roca intacta hacia macizo rocoso muy fracturado (Jorda Bordehore, 2012).	5
Figura 2: Esquema ilustrativo de estructuras presentes en el macizo rocoso (Hudson, 2000).	6
Figura 3: Esquema ilustrativo de discontinuidades (González de Vallejo, 2002).....	7
Figura 4: Esquema ilustrativo del índice GSI (Hoek y Brown, 1997).....	9
Figura 5: Estimación aproximada y clasificación de la resistencia a compresión simple de suelos y rocas a partir de índices de campo (ISRM, 1981), extraído de González de Vallejo, (2004). Pág. 131.....	12
Figura 6: Estimación aproximada y clasificación de la resistencia a compresión simple de suelos y rocas a partir de índices de campo (ISRM, 1981).	13
Figura 7: Estimación de granulometría, extraído de González de Vallejo, (2004). Pág. 22.	14
Figura 8: Determinación de la plasticidad, extraído de González de Vallejo, (2004). Pág. 24.....	15
Figura 9: Curvas características interacción terreno-sostenimiento (Madariaga, 2015).....	15
Figura 10: Guía para estimar el Factor de Alteración (D), Criterio de Rotura de Hoek-Brown (Rockscience, 2013).	17
Figura 11: Capa difusa doble en la superficie de una arcilla.	18
Figura 12: Estructura de la Caolinita	19
Figura 13: Hoja enrollada de halloysita.	19
Figura 14: Estructura de la Illita	20
Figura 15: Estructura de la montmorillonita	20
Figura 16: Estructura fundamental de la sepiolita y paligorskita. Notar los canales tipo túnel.....	21
Figura 17. Imagen satelital con accesibilidad al área de estudio (Google Maps, 2022)	26
Figura 18: Temperatura promedio mensual (°C) – Estación Cajamarca (2021), (SENAMHI, 2022).....	27
Figura 19: Precipitación promedio mensual (°C) – Estación Cajamarca (2021), (SENAMHI, 2022).....	27
Figura 20: Vista en perspectiva de una cuña directa y cuña inversa (Madrid, 2004).	41

Figura 21: Disposición de las discontinuidades con respecto al talud para deslizamiento planar (Hoek y Bray, 1981).....	41
Figura 22: Orientación de las familias de discontinuidades respecto al talud para roturas en cuña (Hoek y Bray, 1981).	42
Figura 23: Orientación de las familias de discontinuidades respecto al talud para roturas por vuelco (Hoek y Bray, 1981).	42
Figura 24: descripción de la cimentarse sobre terrenos	43
Figura 25: Recomendaciones en muros de gravedad.....	44
Figura 26: descripción de las fuerzas en el muro de contención	45
Figura 27: Graficas de Esfuerzo Mayor – Esfuerzo Menor (Izquierda) y Esfuerzo Normal – Esfuerzo de Corte (derecha) de la arenisca.	59
Figura 28: Diagrama de polos y círculos máximos de las discontinuidades. Se observa que el plano talud es cortado por la discontinuidad 2. Generando rotura planar con respecto talud.....	60
Figura 29: Diagrama de la proyección estereográfica respecto al talud, ángulo de fricción y las ventanas de concentración de polos indican rotura planar con respecto al buzamiento NE de la discontinuidad 2.	61
Figura 30: Diagrama de deslizamiento planar en función del análisis de la proyección estereográfica.....	62
Figura 31: Graficas de Esfuerzo Mayor – Esfuerzo Menor (Izquierda) y Esfuerzo Normal – Esfuerzo de Corte (derecha) de la arenisca.	68
Figura 32: Diagrama de polos y círculos máximos de las discontinuidades. Se observa que el plano talud es cortado por la discontinuidad 1 - 2. Generando rotura en cuña con respecto al talud	69
Figura 33: El diagrama de proyección estereográfica respecto al talud, ángulo de fricción y las ventanas de concentración de polos indican rotura en cuña.	70
Figura 34: Diagrama de deslizamiento planar en función del análisis de la proyección estereográfica.....	71
Figura 35: Graficas de Esfuerzo Mayor – Esfuerzo Menor (Izquierda) y Esfuerzo Normal – Esfuerzo de Corte (derecha) de la arenisca.	77
Figura 36: Diagrama de polos y círculos máximos de las discontinuidades. Se observa que el plano talud es cortado por la discontinuidad 1-2-3 y el estrato. Generando rotura en cuña con respecto talud.	78

	Pág.
Figura 37: El diagrama de proyección estereográfica respecto al talud, ángulo de fricción y las ventanas de concentración de polos indican rotura en cuña.	79
Figura 38: Diagrama de deslizamiento planar en función del análisis de la proyección estereográfica.....	80
Figura 39: Elementos de Talud.....	85

Índice de fotos

	Pág.
Foto 1: Se observa una vegetación variada con coordenadas E: 789995.52, N: 9204257.73.	28
Foto 2: Colinas con elevaciones > 30°, en las coordenadas E: 789919.30, N: 9204308.92.	37
Foto 3: La loma con características redondeadas en las coordenadas E: 789815.48,.....	37
Foto 4: Meteorización química, en las coordenadas E: 789870.43, N: 9204249.02.	38
Foto 5: Se evidencia en su geomorfología una loma, con coordenadas E: 789960.89, N:9204272.58.	38
Foto 6: Arcilla es una roca sedimentaria de color blanquecina del lugar de estudio, con coordenadas E: 789863.37, N: 9204273.43.	39
Foto 7: Areniscas levemente meteorizadas del lugar de estudio, en las coordenadas E: 790197.81, N: 9204250.67.....	53
Foto 8: Afloramiento del macizo rocoso.....	55
Foto 9: Afloramiento del macizo rocoso de areniscas, con las coordenadas E: 789814.11, N: 9204339.84	62
Foto 10: Familias de discontinuidades en el macizo rocoso	64
Foto 11: Roca arenisca en su clasificación geomecánica, con las coordenadas E: 789717.08,	71
Foto 12: Verificación de las familias.	73

Índice de tablas

	Pág.
Tabla 1: Tipos de macizos rocosos según Barton.....	8
Tabla 2: Clasificación RMR, valores de los distintos parámetros.....	11
Tabla 3: Valoración RMR.	12
Tabla 4: Métodos de cálculo.....	23
Tabla 5. Coordenadas de los puntos limítrofes para la investigación.....	25
Tabla 6. Accesibilidad desde Cajamarca a la zona de estudio.	25
Tabla 7. Metodología de la investigación	29
Tabla 8. Variables de la investigación.	32
Tabla 9. Sistematización para describir el macizo rocoso.	49
Tabla 10: macizo rocoso Resistencia Uniaxial de la roca intacta.....	50
Tabla 11: valores del RQD.....	51

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

ASTM:	American Section of the International Association for Testing Materials.
GSI:	Geological Strength Index.
ISRM:	International Society for Rock Mechanics.
JRC:	Joint Roughness Coefficient.
MPa:	Mega Pascales.
N:	Norte.
RQD:	Rock Quality Designation.
RMR:	Rock Mass Rating.
S:	Sur.
UCS:	Uniaxial Compressive Strength.
W:	Oeste.
JCS:	Joint Wall Compressive Strength.
UCS:	Resistencia a la compresión uniaxial de la roca intacta.
S:	Espaciamiento entre las estructuras.
JC:	Condición de las estructuras.
kN/m ³ :	Kilo Newton sobre Metro cubico.
g/cm ³ :	Gramos sobre centímetro cubico.
mi:	Constantes de material (criterio de Hoek – Brown).
a:	Constantes de material (criterio de Hoek – Brown).
s:	Constante de material (criterio de Hoek – Brown).
σ _{ci} :	Resistencia a la compresión simple de roca intacta.

RESUMEN

En el yacimiento no metálico del derecho minero HORJES Namora (Sulluscocha)-Cajamarca, donde encontramos arcilla en contacto de rocas sedimentarias como roca caja, con intenso fracturamiento e infiltraciones de agua, cuyo resultado es la disminución de la resistencia en las discontinuidades, caída de bloques de roca y por consiguiente áreas geomecánicamente inestables teniendo en cuenta la presencia de la arcilla entre los estratos crea zonas de debilidad Geomecánica, disminuyendo su factor de seguridad y las discontinuidades. bastante humedad e infiltración, parámetros que provocan la disminución de la resistencia en las discontinuidades, generando un entorno de inestabilidad geomecánica que deben ser valoradas mediante un análisis geomecánico. Posteriormente se han realizado el análisis en 03 estaciones geomecánicas mediante su buzamiento, ángulo de fricción, tipo de roca y su litología correspondiente identificando en las estaciones con rotura planar (01) y rotura en cuña (02). En gabinete se procede a la elaboración de mapas temáticos con el software ArcGIS v. 10.8, con el software AutoCad 2022, Dips V6.0 Y Rocdata V4.0, y su clasificación geomecánica por medio de las metodologías RMR de Bieniawski (1989) y el sistema Q de Barton . Llegando a la conclusión que la explotación es través de bancos con una Altura de banco: 1.5 m, Berma: 1.20 m, Angulo de talud: 65°, Talud final: 60°, Ratio Roca/desmonte: 10/1, Dureza de roca: Mediana. Estos resultados aseguran el rendimiento del yacimiento no metálico.

PALABRAS CLAVES: Evaluación geomecánica, macizo rocoso, sostenimiento, estabilidad.

ABSTRACT

In the non-metallic deposit of the HORJES Namora mining right (Sulluscocha)- Cajamarca, where we found clay in contact with sedimentary rocks such as box rock, with intense fracturing and water infiltration, the result of which is the decrease in resistance in the discontinuities, fall of rock blocks and consequently geomechanically unstable areas, taking into account the presence of clay between the strata, creates zones of geomechanical weakness, decreasing its safety factor and discontinuities. enough humidity and infiltration, parameters that cause a decrease in the resistance in the discontinuities, generating an environment of geomechanical instability that must be assessed through a geomechanical analysis. Subsequently, the analysis was carried out in 03 geomechanical stations through their dip, friction angle, rock type and its corresponding lithology, building in the stations with planar failure (01) and wedge failure (02). In the office, thematic maps are prepared with the ArcGIS v. 10.8, with AutoCad 2022, Dips V6.0 and Rocdata V4.0 software, and its geomechanical classification by means of Bieniawski's RMR methodologies (1989) and Barton's Q system. Coming to the conclusion that the exploitation is through banks with a bank height: 1.5 m, berm: 1.20 m, slope angle: 65°, final slope: 60°, rock/dismount ratio: 10/1, rock hardness: medium. These results ensure the performance of the non-metallic deposit.

KEY WORDS: Geomechanical evaluation, rock mass, support, stability.

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

En el yacimiento no metálico del derecho minero HORJES Namora (Sulluscocha)-Cajamarca, donde encontramos arcilla en contacto de rocas sedimentarias como roca caja, con intenso fracturamiento e infiltraciones de agua, cuyo resultado es la disminución de la resistencia en las discontinuidades, caída de bloques de roca y por consiguiente áreas geomecánicamente inestables. La presencia de la arcilla entre los estratos crea zonas de debilidad geomecánica, disminuyendo su factor de seguridad y las discontinuidades. Bastante humedad e infiltración, parámetros que provocan la disminución de la resistencia en las discontinuidades, generando un entorno de inestabilidad Geomecánica que deben ser valoradas mediante un análisis geomecánico. Para lo cual nos planteamos la siguiente interrogante, cuál es el comportamiento geomecánico de la roca con la arcilla del derecho minero Horjes, Distrito de Namora (Sulluscocha)-Cajamarca, donde podemos decir que el comportamiento geológico, geomecánico está asociada a las zonas afectadas, por la infiltración, discontinuidades, lo que produce inestabilidad.

Siendo la justificación de la investigación que no se tiene un control del comportamiento geomecánico del Yacimiento no Metálico, por lo que no hay un sostenimiento adecuado para lograr la estabilidad de los taludes y evitar zonas de peligro y riesgo.

Además, el tipo de investigación es transversal, enfoque cuantitativo y nivel correlacional-explicativo. Por lo tanto, el presente trabajo de investigación se desarrolló en el derecho minero Horjes.

El objetivo principal de la investigación es determinar el comportamiento geomecánico de la roca y arcilla del derecho minero Horjes, así mismo, realizar el cartografiado de la zona, como la litología y las geoestructuras en el yacimiento no metálico, determinar los parámetros geomecánicos dando valoraciones de sus estructuras principales, determinar las zonas críticas y proponer sostenimiento en todo el yacimiento no metálico.

La investigación se ha estructurado en V capítulos.

El capítulo II, corresponde al marco teórico donde se menciona los antecedentes internacionales, nacionales y locales así mismo las bases teóricas que van a ser de apoyo para la investigación y definición de términos básicos.

El capítulo III, corresponde a materiales y métodos donde se trata el contexto de la investigación, los procedimientos, la metodología, identificación de variables, técnicas, instrumentos y equipos, además se describe la geomecánica y se presentan los resultados de la investigación.

El capítulo IV, corresponde al análisis y discusión de resultados en el cual los resultados de dicha investigación se encuentran relacionados con el planteamiento de la hipótesis para poder así llegar a las conclusiones respectivas derecho minero HORJES Namora (Sulluscocha).

El capítulo V, corresponde a las conclusiones y recomendaciones donde dichas conclusiones son el resultado de los objetivos planteados, sugiriendo o solicitando al mismo tiempo ideas que complementen a una investigación beneficiosa.

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. Internacionales

Azuarte D. (2004), tesis de grado “Caracterización geológica y geomecánica de los macizos rocosos de la sección Guatire – Caucagua de la autopista Rómulo Betancourt, estado Miranda” presentado a la Universidad Central de Venezuela, en cuyas conclusiones indica que todas estas clasificaciones son congruentes entre sí sobre el tipo de macizo que se ha caracterizado, evitándose incongruencias y variedad de criterios al momento de clasificarlos por uno u otro sistema.

Gautam. 2011, en su artículo de título Wedge stability analysis and rock squeezing prediction of headrace tunnel, Lower Balephi Hydroelectric Project, Sindhupalchock District, central Nepal publicada en la revista Journal of Nepal Geological Society 2011 en su conclusión menciona “El análisis de estabilidad de cuñas subterráneas viendo que se pueden formar cuñas peligrosas en la excavación subterránea, podrían ser estabilizadas con la ayuda de pernos de anclaje o shotcrete”.

Ramírez (2013) en su tesis “Sostenibilidad de la Explotación de Materiales de Construcción en el Valle de Aburrá” Colombia, trató solamente los materiales de construcción (Arcilla, Arenas, Gravas y roca triturada), pero es importante anotar que en la zona de estudio también se ha explotado oro aluvial, plata, talco y cromita.

2.1.2. Nacionales

Bieniawski (1989), nos determina el tipo de sostenimiento eficiente para cada labor, y que el mismo es influenciado significativamente por el factor de seguridad.

Cabello, N (2008), en la facultad de Ingeniería Minas de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos de Lima en la tesis: “Selección del método de explotación para la veta Piedad en función de sus condiciones geomecánicas para Mina Catalina Huanca, Ayacucho”; quien

se fundamenta las condiciones geológicas, geométricas e hidrogeológicas y el estudio geomecánico de la veta Piedad para seleccionar técnicamente los métodos óptimo para la explotación de la veta Piedad. Analiza criterios técnicos y económicos (VAN, TIR) orientados a solucionar el problema del alto costo y la baja productividad de los métodos de explotación en vetas.

Córdova, N (2017), la facultad de Ingeniería Minas de la Universidad Nacional de Ingeniería de Lima en el curso de geomecánica aplicada a la minería explica el siguiente trabajo: “Selección De Método De Minado”; expone la secuencia lógica de parámetros a tener en cuenta para la elección del método, siguiendo una metodología numérica del autor Nicholas (1992); donde se toma en cuenta: la geometría, potencia, buzamiento, profundidad y distribución de leyes del yacimiento. Además, se tiene en cuenta la caracterización geomecánica para roca de mineral, para roca de caja piso y para roca de caja techo. Y finalmente, el autor evalúa y compara mediante tablas aspectos económicos, tecnológicos y ambientales para la designación del método

Córdova, N (2008) en la tesis: “Geomecánica en el minado subterráneo, caso mina Condestable “; refiere que las condiciones geomecánicas son de suma importancia para la designación del minado subterráneo, él menciona principalmente aspectos económicos ligados a la producción.

2.1.3. Locales

Córdova, (2014), una de las herramientas principales para conocer el comportamiento de los macizos rocosos, son los estudios geomecánicos, los cuales ayudan a conocer las características e inferir el comportamiento de estas en relación con sus esfuerzos, conforme se avanza una excavación.

Quispe (2012). En su estudio comportamiento de roca blanda en un túnel de exploración diseñado con el sistema Q, Lima, Perú. Concluye la importancia del conocimiento de la geotecnia y el rendimiento de observación de la calidad de la roca insitu en cada etapa de excavación del túnel puede advertir las diferencias del tipo de sostenimiento asignado en el diseño proyectado y el tipo de sostenimiento requerido en el momento.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1 Caracterización del macizo rocoso

Dentro de la caracterización del macizo rocoso algunos de estos parámetros, como la rugosidad, resistencia de las paredes, apertura y relleno, determinan el comportamiento mecánico y la resistencia al corte de las discontinuidades (Ferrer, 1999).

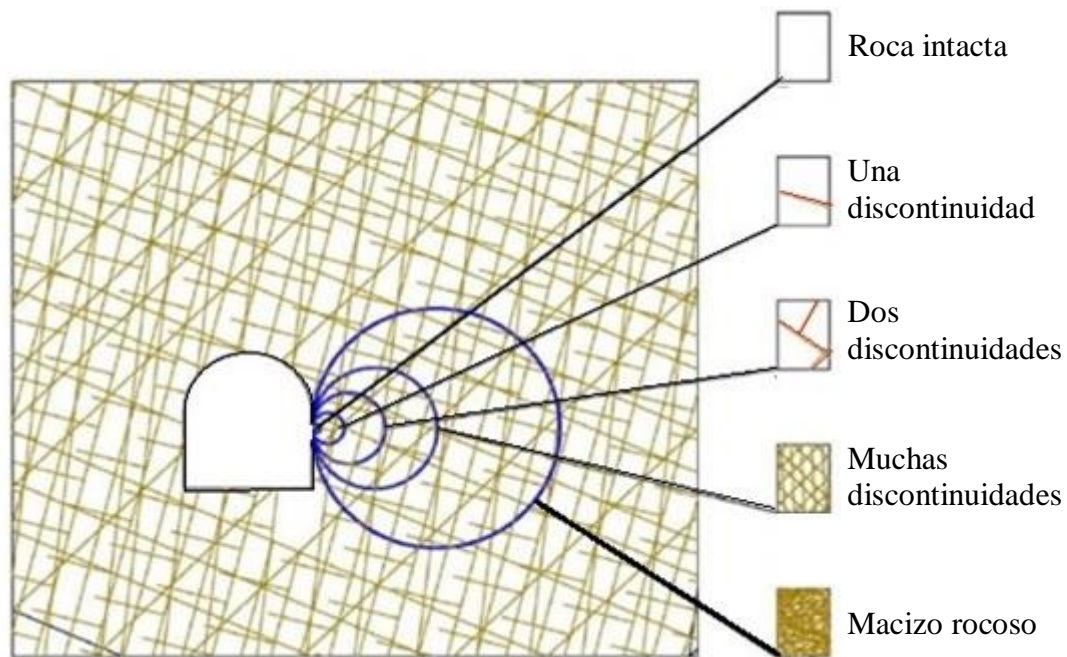


Figura 1: Referencia de roca intacta hacia macizo rocoso muy fracturado (Jorda Bordehore, 2012).

2.2.2 Clasificaciones Geomecánicas

Los principales son GSI, el RMR de Bieniawski y Q de Barton, estas dos últimas a través de las propiedades de la matriz rocosa y las discontinuidades nos permiten estimar la calidad del macizo y obtener propiedades globales resistentes. Si bien ambas fueron desarrolladas para estimar sostenimientos, el RMR se ha ido consolidando para la evaluación de las propiedades del macizo rocoso, así como para la evaluación del sostenimiento (González de Vallejo, 2002).

Los sistemas de clasificación de los macizos rocosos tienen por objeto evaluar sus características para determinar de forma cuantitativa su calidad (Monge, 2007).

2.2.3 Orientación

Las discontinuidades sistemáticas se presentan en familias con orientación y características más o menos homogéneas. La orientación relativa y el espaciado de las diferentes familias

de un macizo rocoso definen la forma de los bloques que conforman el macizo (Ferrer, M. et al., 1999).

2.2.4 Agua subterránea

Grandes cantidades de agua para obtener estos resultados; agua que de no ser extraída haría imposible el trabajo en la mina (Wendor, 1980).

2.2.5 Mapeo superficial de estructuras expuestas

Los métodos de mapeo estructural que examinarán sistemáticamente todas las características geológicas importantes son el mapeo "lineal" y "ventana". El mapeo lineal consiste en estirar una cinta métrica a lo largo de la cara o caja y mapear todas las que intersectan con la línea; las longitudes de línea son normalmente entre 50 y 100 m. Si se estudian los extremos de la línea, entonces la ubicación de todas las discontinuidades se puede determinar. El mapeo de ventana comprende realizar un mapeo de todas las discontinuidades dentro de un segmento representativo o "ventana" de un tamaño fijo, espaciados a intervalos regulares a lo largo de la cara o caja. Las áreas que intervienen se examinan por similitud de estructura. La dimensión de una ventana normalmente puede ser de aproximadamente 10 m (Wyllie y Mah, 2004).

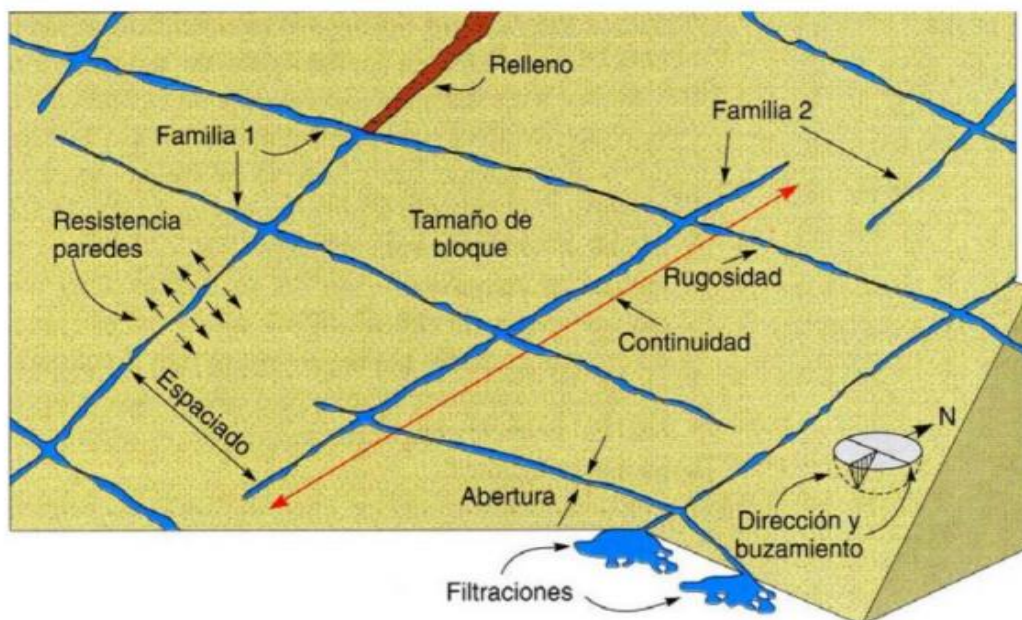


Figura 2: Esquema ilustrativo de estructuras presentes en el macizo rocoso (Hudson, 2000).

2.2.6 Familias de discontinuidades y orientación de las estructuras

Las fracturas son planos de discontinuidad originados cuando la roca ha estado sometida a un esfuerzo tectónico que sobrepasó su límite de rotura. Consideramos dos tipos de fracturas: fallas y juntas. La falla se origina cuando las dos secciones que separan la fractura han sufrido desplazamiento, una respecto de la otra, paralelamente a la fractura. La magnitud del desplazamiento puede variar entre milímetros hasta decenas de kilómetros. Se denomina junta cuando el desplazamiento relativo entre secciones es nulo o prácticamente nulo (Bordegore, 2012).



Figura 3: Esquema ilustrativo de discontinuidades (González de Vallejo, 2002).

2.2.7 Índice Q

El Sistema Q o Clasificación de Barton fue desarrollado en Noruega en 1974 por Barton, Lien y Lunde, del Instituto Geotécnico Noruego. Se basó su estudio en el análisis de cientos de casos de túneles construidos principalmente en Escandinavia (Bordegore, 2013).

$$Q = (RQD/J_n) * (J_r/J_a) * (J_w/SRF)$$

Dónde:

- J_n : es el índice de diaclasado, e indica el grado de fracturación del macizo rocoso.
- J_r : es el índice de rugosidad de las discontinuidades.
- J_a : es el índice de alteración de las discontinuidades.
- J_w : es un coeficiente reductor por presencia de agua.

- SRF o Stress reduction factor, es el coeficiente que tiene en cuenta la influencia del estado tensional del macizo rocoso.

De esta forma los diferentes cocientes tienen una significación especial:

- (RQD/J_n) , indica el tamaño de bloque.
- (J_r/J_a) , la resistencia al corte entre los bloques.
- (J_w/SRF) la influencia del estado tensional, de difícil interpretación. En función del valor del Índice Q Barton clasifica a los macizos rocosos en las siguientes clases:

Tabla 1: Tipos de macizos rocosos según Barton.

Tipos de macizo rocoso	Valor de Q
Excepcionalmente malo.	10^{-3} a 10^{-2}
Extremadamente malo.	10^{-2} a 10^{-1}
Muy malo.	10^{-1} a 1
Malo.	1 a 4
Medio.	4 a 10
Bueno.	10 a 40
Muy buena.	40 a 100
Extremadamente bueno.	100 a 400
Excepcionalmente bueno	400 a 1000

Fuente: Bieniawski 1976.

2.2.8 Clasificación RQD.

En el trabajo de campo se realizó la estimación del RQD a partir de la frecuencia de discontinuidades λ que se calcula contando el número total de discontinuidades que intercepta una longitud L , indicándose que son las condiciones de blocosidad (Deere, 1967).

El índice RQD puede determinarse en los macizos rocosos por medio de correlaciones empíricas como lo es la de Palmstrom, 1975 (en ISRM, 1981) la cual se detalla a continuación:

$$RQD = 115 - 3,3J_v \text{ para } J_v > 4,5$$

$$RQD = 100 \text{ para } J_v \leq 4,5$$

$$\lambda = \frac{\text{número de discontinuidades}}{L(m)}$$

Y luego aplicamos la ecuación:

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

2.2.9 Clasificación GSI.

Para González de Vallejo, (2004), la clasificación GSI utiliza la siguiente tabla donde se puede estimar el valor GSI de acuerdo a las observaciones hechas en campo. Gavilanes, (2004) recomienda trabajar con un rango de GSI, pero para los cálculos en este proyecto se da un valor central aproximado.

Estimación del índice GSI en base a descripciones geológicas (Hoek y Brown, 1997)

ÍNDICE GEOLÓGICO DE RESISTENCIA GSI (geological strength index) 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 pátinas de oxidación	MEDIA (M) Superficies suaves moderadamente alteradas	POBRE (P) Superficies de cizalla muy alteradas con rellenos compactos conteniendo 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				
	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.		80			
	BLOQUES Y CAPAS (BC) Macizo alterado, plegado y fracturado con múltiples discontinuidades que forman bloques angulosos y con baja proporción de finos.			40		
	FRACTURACIÓN INTENSA (FI) Macizo rocoso muy fracturado formado por bloques angulosos y redondeados, con alto contenido de finos.				20	
						10

Figura 4: Esquema ilustrativo del índice GSI (Hoek y Brown, 1997).

2.2.10 Clasificación RMR 1989 de Bieniawski.

Desarrollada por Bieniawski en 1973, mejorado en 1979 y 1989, es un sistema de clasificación que relaciona el índice de calidad con parámetros geomecánicos de las rocas. Los 5 parámetros utilizados para clasificar un macizo rocoso con el sistema RMR de Bieniawski 1989.

- **Resistencia a la compresión uniaxial.**

Determinada en laboratorio y ensayos de carga puntual en terreno.

- **Valor del RQD.**

Puntaje de 20 si este índice es mayor a 90% hasta 3 si es menor a 25%.

- **Espaciamiento de discontinuidades.**

Distancia perpendicular entre discontinuidades similares.

- **Condición de discontinuidades.**

Características de las discontinuidades asociadas a Longitud, Apertura, Rugosidad, Relleno y Alteración.

- **Aguas subterráneas.**

Flujo o presión de agua en discontinuidades. De acuerdo a los 5 parámetros anteriormente desarrollados obtenemos la valoración del tipo de roca el cual está definido en 5 clases, valoración de los intervalos del RMR y los parámetros geomecánicos de cohesión y ángulo de fricción.

2.2.11 Resistencia Uniaxial de la Matriz Rocosa.

Según González de Vallejo (2004), se calcula contando el número de golpes propinados con picota de geólogo y compararlo.

Tabla 2: Clasificación RMR, valores de los distintos parámetros.

1	Resistencia de la matriz rocosa (Mpa)	Ensayo puntual	> 10	10-4	4-2	2-1	Compresión simple (Mpa)			
		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 (m)		> 2	0.6-2	0.2-0.6	0.06-0.2	< 0.06			
	Puntuación		20	15	10	8	5			
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad (m)	< 1	1-3	3-10	10-20	> 20			
		Puntuación		6	4	2	1	0		
		Abertura (mm)	Nada	< 0.1	0.1-1.0	1-5	> 5			
		Puntuación		6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	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 m de túnel	Nulo	< 10 l/min	10-25 l/min	25-125 l/min	> 125 l/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			

Fuente: Tomado de González de Vallejo, (2004). Pág. 232.

Tabla 3: Valoración RMR.

CLASE	CALIDAD	VALORACIÓN RMR	COHESIÓN	ANGULO DE ROZAMIENTO
i	muy buena	100 - 81	>4 kg/cm ²	>45°
ii	buena	80 – 61	3 - 4 kg/cm ²	35° - 45°
iii	media	60 – 41	2 - 3 kg/cm ²	25° - 35°
iv	mala	40 – 21	1 – 2 kg/cm ²	15° - 25°
v	muy mala	<20	<1 kg/cm ²	<15°

Fuente: Tomado de González de Vallejo, (2004). Pág. 233. N

Clase	Descripción	Identificación de campo	Aproximación al rango de resistencia a compresión simple (MPa)
S ₁	Arcilla muy blanda	El puño penetra fácilmente varios cm.	< 0,025
S ₂	Arcilla débil	El dedo penetra fácilmente varios cm.	0,025-0,05
S ₃	Arcilla firme	Se necesita una pequeña presión para hincar el dedo.	0,05-0,1
S ₄	Arcilla rígida	Se necesita una fuerte presión para hincar el dedo.	0,1-0,25
S ₅	Arcilla muy rígida	Con cierta presión puede marcarse con la uña.	0,25-0,5
S ₆	Arcilla dura	Se marca con dificultad al presionar con la uña.	> 0,5
R ₀	Roca extremadamente blanda	Se puede marcar con la uña.	0,25-1,0
R ₁	Roca muy blanda	La roca se desmenuza al golpear con la punta del martillo. Con una navaja se talla fácilmente.	1,0-5,0
R ₂	Roca blanda	Se talla con dificultad con una navaja. Al golpear con la punta del martillo se producen pequeñas marcas.	5,0-25
R ₃	Roca moderadamente dura	No puede tallarse con la navaja. Puede fracturarse con un golpe fuerte del martillo.	25-50
R ₄	Roca dura	Se requiere más de un golpe con el martillo para fracturarla.	50-100
R ₅	Roca muy dura	Se requieren muchos golpes con el martillo para fracturarla.	100-250
R ₆	Roca extremadamente dura	Al golpearlo con el martillo sólo saltan esquirlas.	> 250

Figura 5: Estimación aproximada y clasificación de la resistencia a compresión simple de suelos y rocas a partir de índices de campo (ISRM, 1981), extraído de González de Vallejo, (2004). Pág. 131.

2.2.12 Clasificación de suelos.

Según Lambe & Whitman, (1984): los suelos se clasifican de acuerdo a su granulometría y plasticidad en el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) propuesto por Casagrande en 1942, usándose actualmente en problemas de geotecnia. La clasificación SUCS separa al suelo en dos grandes categorías, suelos granulares y suelos finos que dependen del porcentaje de finos que pasa las distintas mallas. Si pasa más del 50% la malla. 200 se considera material fino; y si se retiene encima de la malla 200 se considera material grueso.

Sistema USCS de Clasificación de Suelos

IDENTIFICACION EN EL CAMPO		SIMBOLO DEL GRUPO	NOMBRES TÍPICOS	CRITERIOS DE CLASIFICACION EN EL LABORATORIO			
SUELOS DE GRANO GRUESO - MAS DE LA MITAD DEL MATERIAL ES RETENIDO POR EL TAMIZ # 200	ARENAS - MAS DE LA MITAD DE LA FRACCION GRUESA ES RETENIDA POR EL TAMIZ # 4	AMPLIA GAMA DE TAMAÑOS Y CANTIDADES APRECIABLES DE TODOS LOS TAMAÑOS INTERMEDIOS	GW	GRAVA BIEN GRADUADA, MEZCLA DE GRAVA Y ARENA CON POCOS FINOS O SIN ELLOS	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ MAYOR DE 4 ; $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ ENTRE 1 Y 3 NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS GRANULOMETRICOS DE LAS GW		
		PREDOMINIO DE UN TAMAÑO O UN TIPO DE TAMAÑO, CON AUSENCIA DE ALGUNOS TAMAÑOS INTERMEDIOS	GP	GRAVAS MAL GRADUADAS, MEZCLAS DE ARENA Y GRAVA CON POCOS FINOS O SIN ELLOS			
	GRAVAS CON FINOS (CANTIDAD MENOR QUE 5% DE FINOS)	FRACCION FINA NO PLASTICA (PARA LA IDENTIFICACION VER EL GRUPO ML, MAS ABAJO)	GM	GRAVAS LIMOSAS, MEZCLAS MAL GRADUADAS DE GRAVA, ARENA Y LIMO	LIMITES DE ATTERBERG POR DEBAJO DE LA LINEA "A" O I_p MENOR QUE 4 POR ENCIMA DE LA LINEA "A", CON I_p ENTRE 4 Y 7 ; CASOS LIMITE QUE REQUIEREN EL USO DE SIMBOLOS DOBLES		
		FINOS PLASTICOS (PARA IDENTIFICARLOS VER EL GRUPO CL MAS ABAJO)	GC	GRAVAS ARCILLOSAS, MEZCLAS MAL GRADUADAS DE GRAVA, ARENA Y ARCILLA			
	ARENAS LIMPAS (CON POCOS FINOS O SIN ELLOS)	AMPLIA GAMA DE TAMAÑOS Y CANTIDADES APRECIABLES DE TODOS LOS TAMAÑOS INTERMEDIOS	SW	ARENAS BIEN GRADUADAS, ARENAS CON GRAVA, CON POCOS FINOS O SIN ELLOS	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ MAYOR DE 6 ; $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ ENTRE 1 Y 3 NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS GRANULOMETRICOS DE LAS SW		
		PREDOMINIO DE UN TAMAÑO O UN TIPO DE TAMAÑO, CON AUSENCIA DE ALGUNOS TAMAÑOS INTERMEDIOS	SP	ARENAS MAL GRADUADAS, ARENAS CON GRAVA, CON POCOS FINOS O SIN ELLOS			
ARENAS CON FINO (CANTIDAD APRECIABLE DE FINOS)	FINOS NO PLASTICOS (PARA IDENTIFICACION VER EL GRUPO ML MAS ABAJO)	SM	ARENAS LIMOSAS, MEZCLAS DE ARENA Y LIMO MAL GRADUADAS	LIMITES DE ATTERBERG POR DEBAJO DE LA LINEA "A" O I_p MENOR QUE 4 POR ENCIMA DE LA LINEA "A", CON I_p ENTRE 4 Y 7 ; CASOS LIMITE QUE REQUIEREN EL USO DE SIMBOLOS DOBLES			
	FINOS PLASTICOS (PARA IDENTIFICACION VER EL GRUPO CL MAS ABAJO)	SC	ARENAS ARCILLOSAS, MEZCLAS MAL GRADUADAS DE ARENAS O ARCILLAS				
METODOS DE IDENTIFICACION PARA LA FRACCION QUE PASA POR EL TAMIZ # 40							
SUELOS DE GRANO FINO - MAS DE LA MITAD DEL MATERIAL PASA POR EL TAMIZ # 200	LIMOS Y ARCILLAS CON LIMITE LIQUIDO MENOR DE 50	RESISTENCIA EN ESTADO SECO (A LA DISGREGACION)	DILATANCIA (REACCION A LA AGITACION)	TENACIDAD (CONSISTENCIA CERCA DEL LIMITE PLASTICO)			
		NULA A LIGERA	RAPIDA A LENTA	NULA		ML	LIMOS INORGANICOS Y ARENAS MUY FINAS, POLVO DE ROCA, ARENAS FINAS LIMOSAS O ARCILLAS CON LIGERA PLASTICIDAD
		MEDIA A ALTA	NULA A MUY LENTA	MEDIA		CL	ARCILLAS INORGANICAS DE PLASTICIDAD BAJA A MEDIA, ARCILLAS CON GRAVA, ARCILLAS ARENOSAS, ARCILLAS LIMOSAS, ARCILLAS MAGRAS
	LIMOS Y ARCILLAS CON LIMITE LIQUIDO MAYOR DE 50	LIGERA A MEDIA	LENTA	LIGERA	OL	LIMOS ORGANICOS Y ARCILLAS LIMOSAS ORGANICAS DE BAJA PLASTICIDAD	
		LIGERA A MEDIA	LENTA A NULA	LIGERA A MEDIA	MH	LIMOS INORGANICOS, SUELOS LIMOSOS O ARENOSOS FINOS MICACEOS O CON DIATOMEAS, LIMOS ELASTICOS	
		ALTA A MUY ALTA	NULA	ALTA	CH	ARCILLAS INORGANICAS DE PLASTICIDAD ELEVADA, ARCILLAS GRASAS	
SUELOS ALTAMENTE ORGANICOS	MEDIA A ALTA	NULA A MUY LENTA	LIGERA A MEDIA	OH	ARCILLAS ORGANICAS DE PLASTICIDAD MEDIA A ALTA		
	FACILMENTE IDENTIFICABLES POR SU COLOR, OLOR, SENSACION ESPONJOSA Y FRECUENTEMENTE POR SU TEXTURA FIBROSA			Pt	TURBA Y OTROS SUELOS ALTAMENTE ORGANICOS		

DETERMINESE LOS PORCENTAJES DE GRAVA Y ARENA A PARTIR DE LA CURVA GRANULOMETRICA PARA LOS SUELOS GRUESOS Y LOS PORCENTAJES DE ARENA Y FINOS A PARTIR DEL TAMIZ # 200. LOS SUELOS GRUESOS SE CLASIFICAN COMO SIGUE:

GW, GP, SW, SP
GM, GC, SM, SC
CASOS LIMITE QUE REQUIEREN EL EMPLEO DE SIMBOLOS DOBLES

MESES DEL 5%
MAS DEL 12%
5% AL 12%

UTILICESE LA CURVA GRANULOMETRICA PARA IDENTIFICAR LAS FRACCIONES DE SUELO INDICADAS EN LA COLUMNA DE IDENTIFICACION EN EL CAMPO

LINEA A: $I_p = 0.73(WL - 20)$

GRAFICO DE PLASTICIDAD PARA LA CLASIFICACION EN LABORATORIO DE SUELOS DE GRANO FINO

Figura 6: Estimación aproximada y clasificación de la resistencia a compresión simple de suelos y rocas a partir de índices de campo (ISRM, 1981).

2.2.13 Granulometría

- **SUELO BIEN GRADUADO:** Existe una graduación continua de tamaños.
- **SUELO MAL GRADUADO:** Existe una graduación uniforme de tamaños.
- **SUELO CON GRADUACIÓN DISCONTINUA:** Existe una graduación discontinua de tamaños.

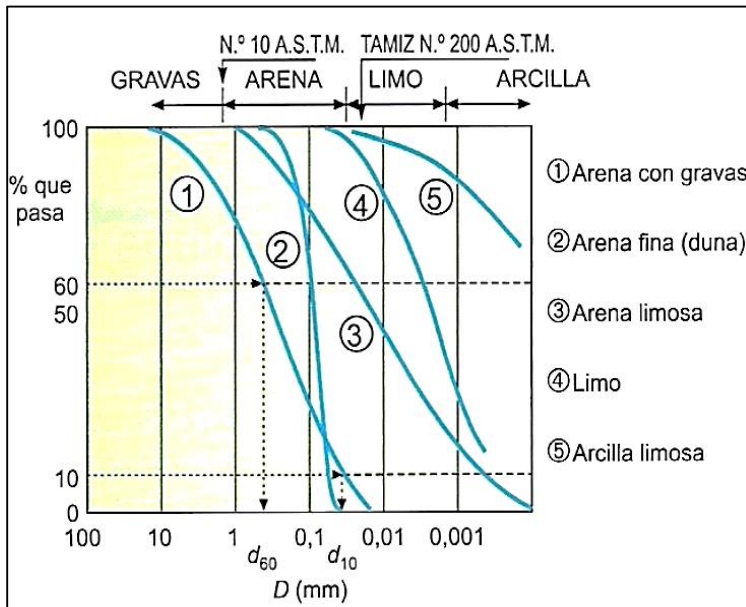


Figura 7: Estimación de granulometría, extraído de González de Vallejo, (2004). Pág. 22.

2.2.14 Plasticidad

- **LIMITE LÍQUIDO:** Humedad para la cual el número de golpes en la copa de Casagrande es de 25 para cerrar la ranura en 12,7 mm.
- **LIMITE PLÁSTICO:** Humedad mínima con la cual pueden moldearse cilindros de suelo de 3 mm de diámetro sin que estos se fisuren.

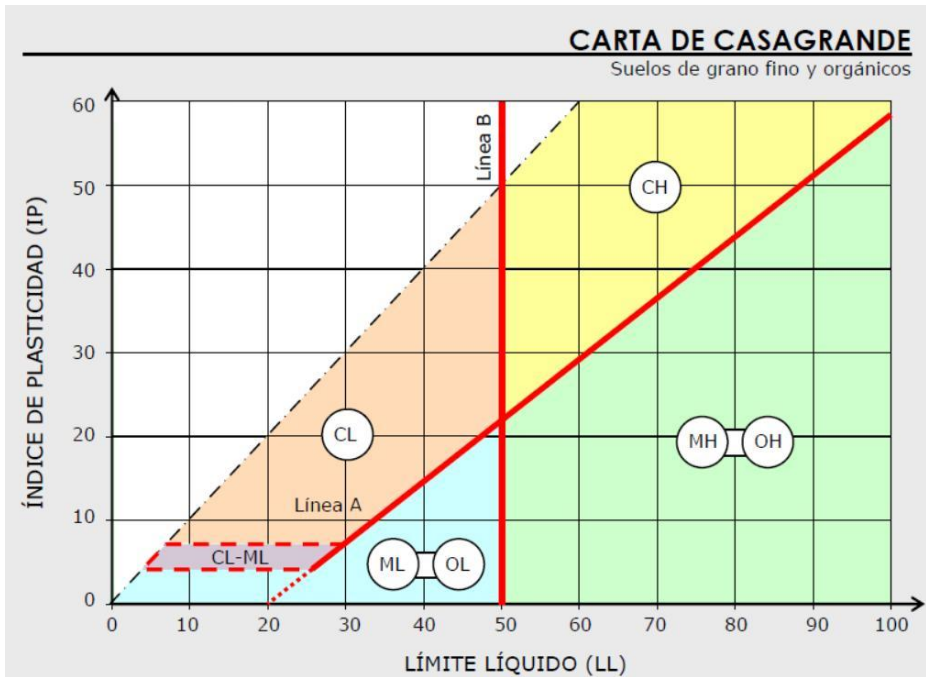


Figura 8: Determinación de la plasticidad, extraído de González de Vallejo, (2004). Pág. 24.

2.2.15 Métodos Analíticos

Se basan en el análisis de las tensiones y deformaciones tomando como base los fundamentos de la elasticidad y suponen que el comportamiento del terreno al excavarse es elástico hasta que plastifica cuando alcanzar una determinada presión (Madariaga, 2015).

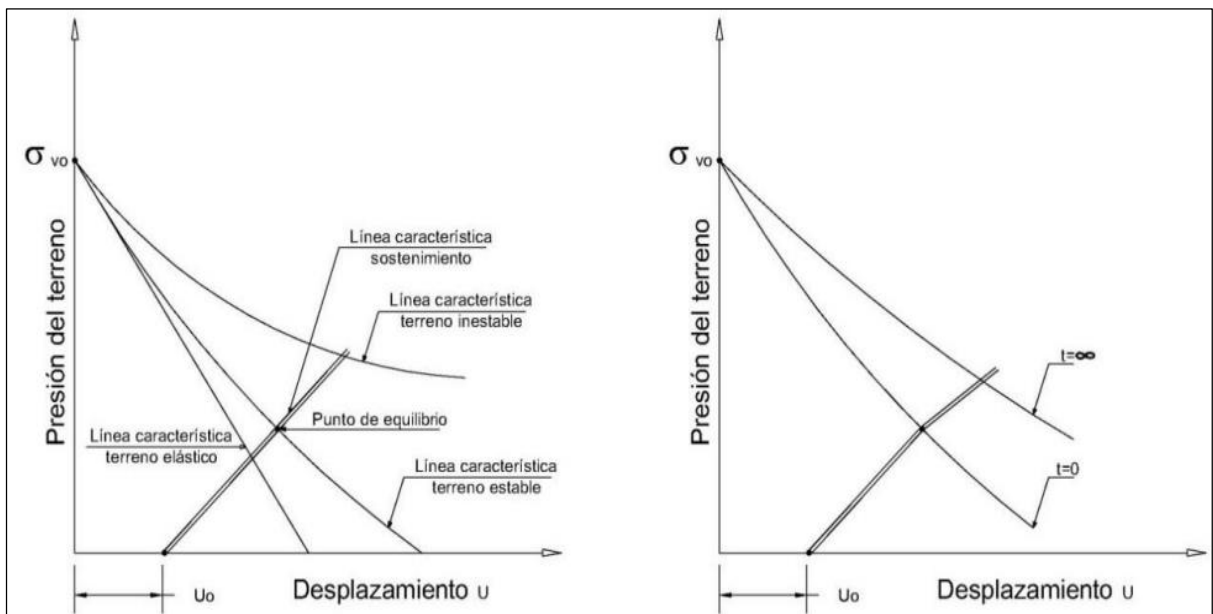


Figura 9: Curvas características interacción terreno-sostenimiento (Madariaga, 2015).

Analizando las figuras anteriores se confirma que la carga de masa rocosa sobre un sostenimiento no es algo que se determina a priori ya que depende de:

- Estado de tensión del terreno.
- Propiedades mecánicas del mismo.
- Rigidez y deformabilidad del sostenimiento.
- Procedimiento constructivo. Para aplicar este método es necesario determinar:
- Curva característica del terreno.
- Curva característica del sostenimiento.
- Perfil longitudinal de deformación del terreno referido al frente de la excavación subterránea.

Para poder formular analíticamente los conceptos anteriormente expuestos es necesario simplificar el modelo introduciendo las siguientes hipótesis:

- Galería o túnel de sección circular.
- Estado tensional hidrostático (por lo tanto, sin gravedad, lo que equivale a una excavación profunda).
- Sostenimiento axisimétrico (es decir, configurando un anillo cerrado).

2.2.16 Meteorización

Relacionada con la modificación que sufre la superficie de la roca, debido a la acción de agentes atmosféricos su grado de la meteorización dependerá de las condiciones climatológicas, morfológicas y la composición de la masa rocosa las que se divide en meteorización física, química y biológica (Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía, 2004).

2.2.17 Alteración

La alteración de la roca, se produce por la ascensión de fluidos a altas temperaturas a través de fracturas en zonas de falla conlleva afectan a los rellenos de las zonas de falla y sus cajas, originando reemplazamientos y rellenos, que modifican las condiciones del macizo rocoso en los cuales se emplazan. Algunos tipos de alteración, como la silicificación y en menor grado la calcificación, mejoran las características de la masa rocosa, incluyendo las zonas de falla, como la propilitización, disminuyen levemente las condiciones debido a la presencia de cloritas en las paredes de las fracturas. La sericitización y la argilitización (aumento de

minerales arcillosos) son las alteraciones más desfavorables para los macizos rocosos donde se emplazan (Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía, 2004).

2.2.18. Criterio de rotura HOEK – BROWN

Fue desarrollado por Hoek y Brown en 1980 y su última actualización fue en el 2002, el punto de partida conceptual para este criterio fue la teoría de Griffith. El criterio generalizado de Hoek-Brown (2002) sirve para evaluar la resistencia de los macizos rocosos y matriz rocosa, mediante los valores adecuados para el ángulo de fricción interno (ϕ) y la cohesión (c). Hoek y Brown sustituyeron el índice RMR por el GSI, por considerar que la aplicación del RMR no se adecuaba al análisis de macizos rocosos de mala calidad.

Para estimar la resistencia de un macizo rocoso diaclasado y sus características de deformación se requiere de los siguientes parámetros:

- Resistencia a la compresión uniaxial de la roca intacta.
- Constante m_i para la roca intacta.
- GSI del macizo rocoso.

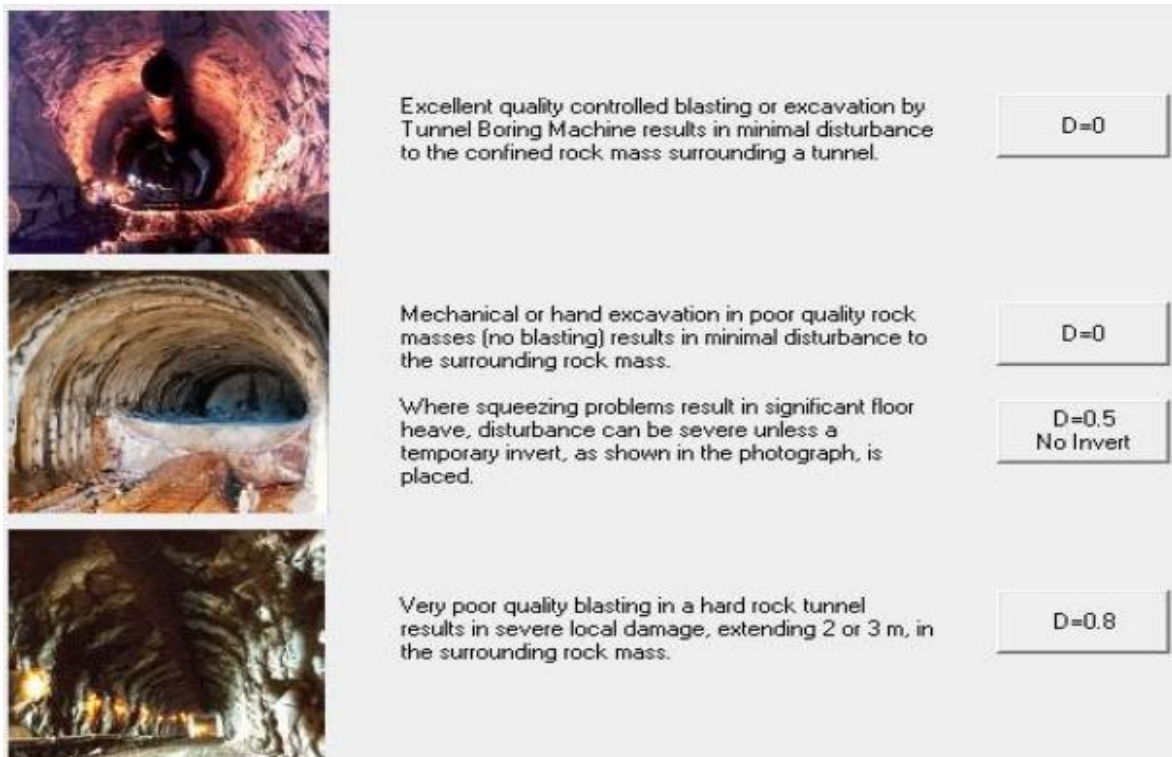


Figura 10: Guía para estimar el Factor de Alteración (D), Criterio de Rotura de Hoek-Brown (Rockscience, 2013).

2.2.19 La Arcilla

Cabe mencionar que dependiendo del tamaño de las partículas la Asociación Americana de Funcionarios de Carreteras Estatales y del transporte (AASHTO) definió la prueba normada ASTM D-3282 método AASHTO M145 para clasificar el suelo, siendo su clasificación más general la siguiente:

1. Gravas: partículas de suelo con tamaño superior a los 2 mm
2. Arenas: partículas de suelo con tamaño desde los 2 mm hasta 0.075 mm
3. Limos: partículas de suelo con tamaño desde los 0.075 mm hasta 0.002 mm
4. Arcillas: partículas de suelo con tamaños inferiores a 0.002 mm

2.2.20 Estructura de las arcillas

Al examinar las curvas de distribución del tamaño de las partículas del cuarzo y el feldespato en sedimentos, su abundancia empezaba a disminuir sutilmente cerca de los 10 a 20 μm , y se vuelve más baja al aproximarse al tamaño de 4 μm ; esto, según ellos, se debe a que los procesos físicos que pulverizan o desmenuzan el cuarzo en aguas turbulentas se vuelve inefectivo en tamaños de granos tan pequeños. Es decir, si encontramos partículas menores a las 4 μm , éstas fueron formadas por erosión química, por medio de procesos de hidrólisis, y no por erosión física, es por ello que la mayoría de los minerales que tienen un tamaño menor de 0.002 mm son considerados minerales arcillosos (Badillo, 2000).

En arcilla seca, la carga negativa es balanceada por cationes intercambiables, como Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ y K^+ , las partículas mantenidas juntas por atracción electrostática en agua a la arcilla, esos cationes y un pequeño número de aniones flotan alrededor de las partículas de arcilla. A esto se le llama capa difusa doble.

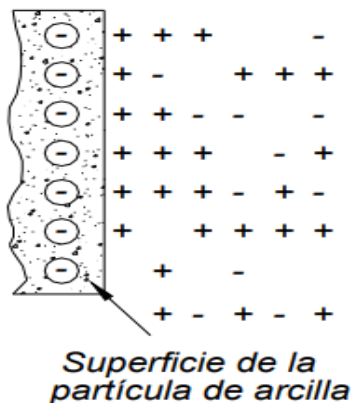


Figura 11: Capa difusa doble en la superficie de una arcilla.

- **La caolinita**

Consiste en capas repetidas de láminas elementales de sílice-gibbsita, Cada capa es aproximadamente de 7.2 Å de espesor

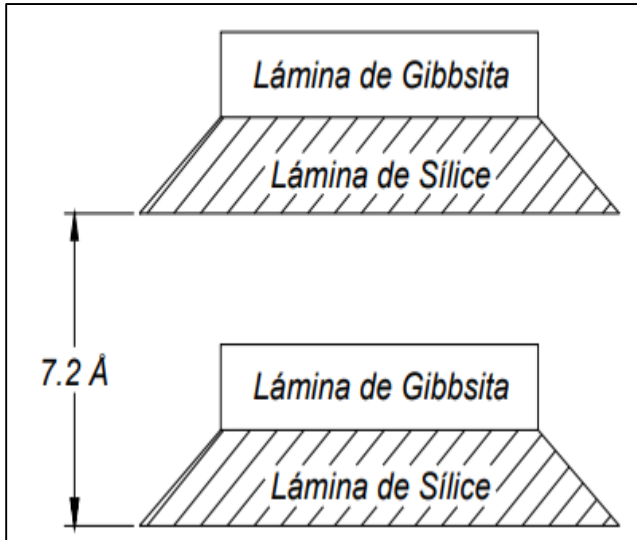


Figura 12: Estructura de la Caolinita

- **La Halloysita**

Estructuralmente es semejante a la caolinita, una diferencia es que una capa de moléculas de agua puede interponerse entre cada dos unidades fundamentales presenta una capa de moléculas de agua supone un enlace débil entre las sucesivas unidades, y debido a ello las distancias en una de las caras de la unidad fundamental se acortan, y en la otra se mantienen iguales a las de la caolinita y temperaturas de 60 a 75° C pierde parte de esta agua.

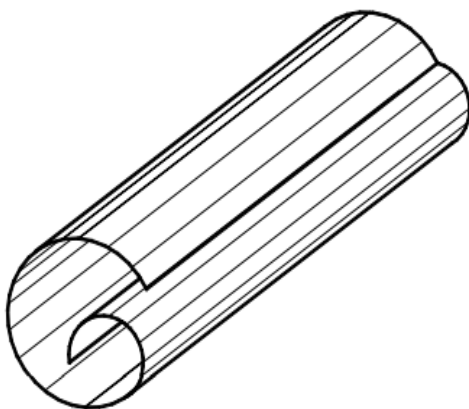


Figura 13: Hoja enrollada de halloysita.

- **La Illita**

Es una lámina de gibbsita enlazada a dos láminas de sílice, una arriba y otra abajo, denominada a veces mica arcillosa “micas hídricas”, esta circunstancia sería la causa de la deficiencia de potasio en los océanos, ya que la razón entre el contenido de este metal y el contenido de sodio, en el agua de mar, es varias veces inferior a la razón que existe en las rocas.

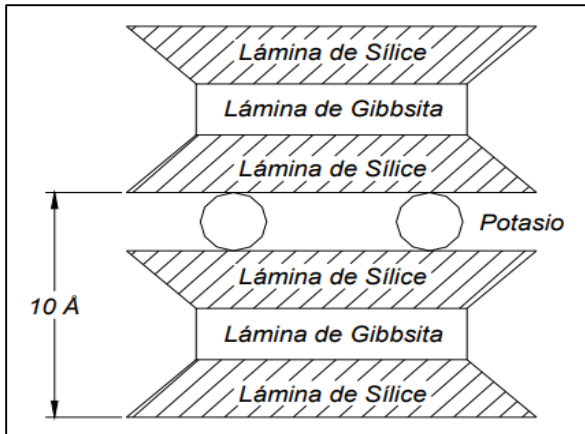


Figura 14: Estructura de la Illita

- **La montmorillonita (esmectitas)**

Estructura similar a la illita, una lámina de gibbsita intercalada entre dos láminas de sílice, sustitución isomorfa de magnesio y hierro por aluminio en las láminas octaédricas, agua es atraída hacia los espacios entre las capas ocasionando una expansión de la partícula en el sentido perpendicular a la capa, las partículas de montmorillonita tienen dimensiones laterales de 1,000 Å a 5,000 Å y espesores de 10 Å a 50 Å.

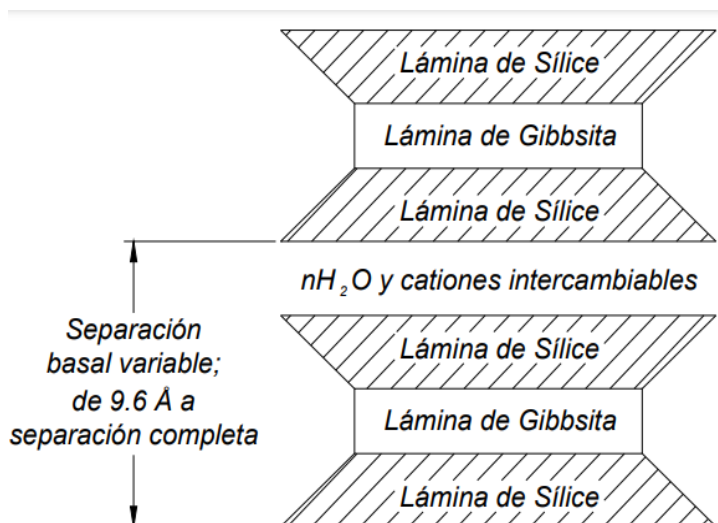


Figura 15: Estructura de la montmorillonita

- **Capacidad de absorción y adsorción**

Algunas arcillas encuentran su principal campo de aplicación en el sector de los absorbentes ya que pueden absorber agua u otras moléculas en el espacio interlaminar (esmectitas) o en los canales estructurales (sepiolita y palygorskita)

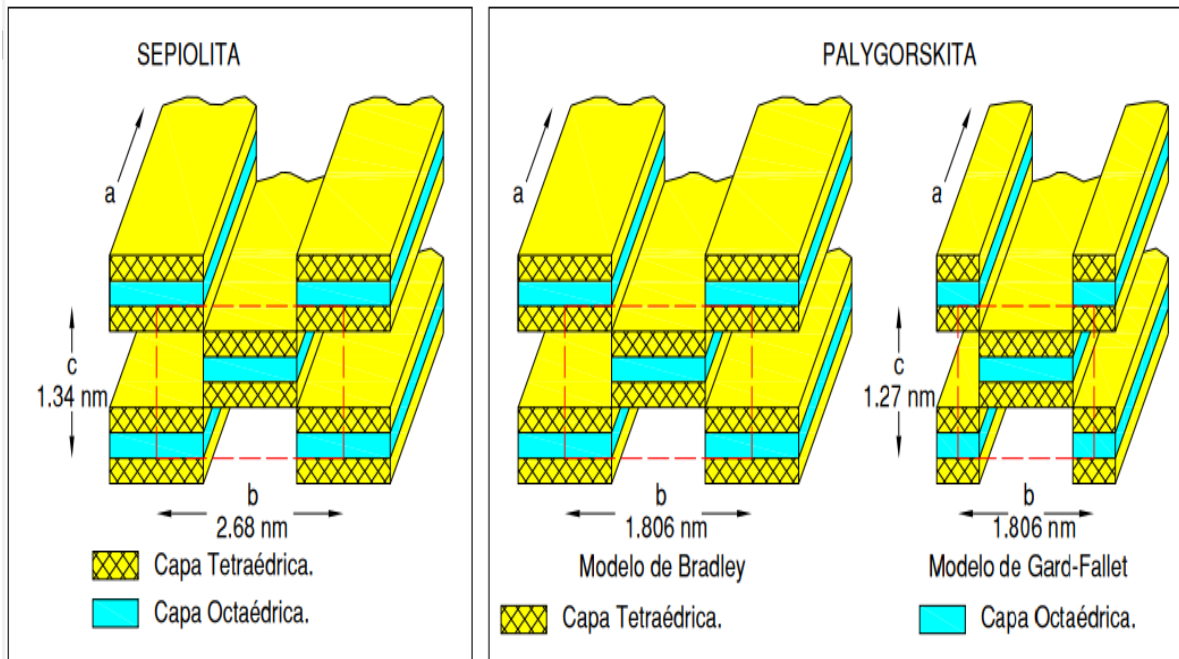


Figura 16: Estructura fundamental de la sepiolita y palygorskita. Notar los canales tipo túnel.

2.2.21 Usos de la Arcilla

Sus propiedades plásticas, lo que significa que al humedecerla puede ser modelada fácilmente, al secarse se torna firme y cuando se somete a altas temperaturas aparecen reacciones químicas, causan que la arcilla se convierta en un material permanentemente rígido, denominado cerámica, de uso cotidiano o decorativo.

Los diferentes tipos de arcilla, cuando se mezclan con diferentes minerales y en diversas condiciones, son utilizados para producir loza, gres y porcelana, el contenido mineral de la tierra, la arcilla, puede aparecer en varios colores, desde un pálido gris a un oscuro rojo anaranjado.

2.2.22 Ángulo de Fricción

El ángulo de fricción es la representación matemática del coeficiente de rozamiento, el cual es un concepto básico de la física (González de Vallejo, 2002)

Coefficiente de rozamiento = $\tan \Phi$ El ángulo de fricción depende de varios factores entre ellos algunos de los más importantes son:

- Tamaño de los granos
- Forma de los granos
- Distribución de los tamaños de granos
- Densidad

2.2.23 Cohesión

Es la medida de la cementación o adherencia entre los granos de una roca. La unidad de medida es en MPa (González de Vallejo, 2002).

2.2.24 Diseño de Bancos

En la explotación a rajo abierto se hacen cortes escalonados en el yacimiento. En los cortes se ven dos caras descubiertas: una cara superior horizontal y una vertical lateral (Álvarez, 2014).

2.2.25 Estabilidad de Taludes

Estudia la estabilidad o posible inestabilidad de un talud a la hora de realizar un proyecto, o llevar a cabo una obra de construcción de ingeniería civil, siendo un aspecto directamente relacionado con la ingeniería geológica - geotécnica. La inestabilidad de un talud, se puede producir por un desnivel.

2.2.26 Estudios Geomecánicos

Temas en ciencias de la tierra relacionados con la caracterización de masas de las rocas y de la mecánica de las rocas, como se aplica a la industria del petróleo o altas profundidades, diseño de túneles, rotura de las rocas, y los útiles de perforación (Callupe, 2012).

2.2.27 Factor de Seguridad en la Estabilidad de Taludes

En general, los métodos de cálculo para la estabilidad de taludes en macizos rocosos se pueden agrupar de la siguiente forma.

Tabla 4: Métodos de cálculo

Método de cálculo	
Método completo	Método de elementos finitos
	Método de diferencias finitas
Método incompleto	Métodos estáticos
	Métodos cinemáticos
Método de equilibrio limite	
Método empírico	
Método simplificado	Ábacos

Fuente: Hoek y Bray (1981) mejorado de Álvarez, (2014).

2.2.28 Estudios Geomecánicos

Temas en ciencias de la tierra relacionados con la caracterización de masas de las rocas y de la mecánica de las rocas, como se aplica a la industria del petróleo o altas profundidades, diseño de túneles, rotura de las rocas, y los útiles de perforación (Callupe, 2012).

2.2.29 Definición de Términos Básicos

Absorción: Cuando se trata fundamentalmente de procesos físicos como la retención por capilaridad (Dávila, 2006).

Adsorción: Cuando existe una interacción de tipo químico entre el adsorbente, en este caso la arcilla, y el líquido o gas adsorbido, denominado adsorbato (Dávila, 2006).

Alteración: Cualquier cambio en la composición mineralógica de una roca producido por medios químicos o mecánicos, especialmente por la acción de soluciones hidrotermales. Bates and Jackson (1980).

Caolín: Arcilla blanca, resultado de la alteración química de los feldespatos de las rocas ígneas por acción de la hidratación (Dávila, 2006).

Coloide: Los coloides son mezclas intermedias entre las soluciones y las mezclas propiamente dichas. Sus partículas tienen un tamaño comprendido entre $1\text{m}\mu$ y 1μ de diámetro. Sus componentes se denominan fase dispersa y medio dispersante (Dávila, 2006).

Clorita: Silicato de magnesio, $(\text{Si}_4\text{O}_{10})\text{Mg}_3(\text{OH})_2.\text{Mg}_3(\text{OH})_6$, cristales pseudo hexagonales tabulares prismáticos del sistema monoclinico, parecida a las

micas. Producto de la alteración de los silicatos aluminicos y de metamorfismo (esquistos cloritosos), clorita significa verde (Dávila, 2006).

Degradación: es la descomposición de materia ya sea orgánica o inorgánica, en la cual a lo largo del tiempo (según el material del que este hecho) pasa por fases de descomposición, pudrimiento o como se le quiera decir y que al estar completamente degradado se descomponen sus restos y desaparece (Dávila, 2006).

Diáspora: Hidróxido de aluminio $AlO(OH)$. Cristales tabulares o aciculares del sistema rómbico, se presenta generalmente en agregados foliáceos y estalactíticos, se presenta en las bauxitas diagenizadas y en ambientes metamórficos (Dávila, 2006).

Esmectitas: Variedad de montmorillonita (Dávila, 2006).

Exfoliación: Propiedad de las rocas de separarse en forma de láminas. Cuando se refiere a minerales es sinónimo de clivaje (Dávila, 2006).

Filosilicatos: Silicatos de estructura hojosa. Subclase de silicatos, cuya estructura está formada por capas bidimensionales indefinidas de tetraedros $(SiO_4)_4$ unidos unos con otros por los tres vértices comunes, semejando una red hexagonal a manera de colmena (Dávila, 2006).

Gibbsita: Especie similar de la diáspora, $Al(OH)_3$ (Dávila, 2006).

Hectorita: Variedad de Montmorillonita (Dávila, 2006).

Illita: Silicato de Al, Fe, Mg y K. Es la alúmina más común de las arcillas marinas recientes (Dávila, 2006).

Montmorillonita: Es una variedad de caolín, arcilla perteneciente al grupo de los filosilicatos, es aluminica, sódica, magnesiana, de aspecto terroso pulverulento, escamosa, untuosa al tacto, color blanco a gris, tiene la propiedad de aumentar su volumen hasta 16 veces por absorción de agua (Dávila, 2006).

Pelítica: Textura fina, referida esencialmente a las rocas argiláceas.

Plasticidad: es una propiedad mecánica de algunas sustancias, capaces de sufrir una deformación irreversible y permanente cuando son sometidas a una tensión que supera su rango o límite elástico (Dávila, 2006).

Solifluxión: Descenso violento de grandes volúmenes de arcilla, lodo, arena y otros materiales debido a la saturación rápida de agua, convirtiéndolos de materiales sólidos (Dávila, 2006).

Zeolitas: Son aluminosilicatos de composición parecida a los feldespatos. Se forman cerca de las fuentes termales y de las rocas volcánicas (Dávila, 2006).

CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1. Geográfica

Geográficamente la zona de investigación se ubica en la parte Noroccidental del territorio peruano; en el flanco occidental de la Cordillera de los Andes, a una altitud de 2750 msnm. Con respecto a la ciudad de Cajamarca se encuentra al sureste. Delimitada por las coordenadas del sistema de Unidad Técnica de Medida (UTM.) datum WGS-84.

Tabla 5. Coordenadas de los puntos limítrofes para la investigación.

COORDENADAS		
Vértices	Longitud	Latitud
1	9204757.72	790600.47
2	9204683.10	790738.08
3	9204349.53	790632.97
4	9204385.00	790543.20

3.1.2. Política

Se encuentra localizado en el distrito de Namora, en la provincia y región de Cajamarca al norte del Perú; correspondiente al Cuadrángulo de San Marcos (15-g) en la zona 17S.

3.1.3. Accesibilidad

Para acceder al área de estudio se cuenta con una vía de acceso por la carretera Cajamarca–Encañada (asfaltada) a cincuenta cinco minutos aproximadamente.

Tabla 6. Accesibilidad desde Cajamarca a la zona de estudio.

TRAMO	TIPO DE VÍA	DISTANCIA	TIEMPO
Cajamarca-Namora (Sulluscocha)	Asfaltada	28 Km.	58 min.

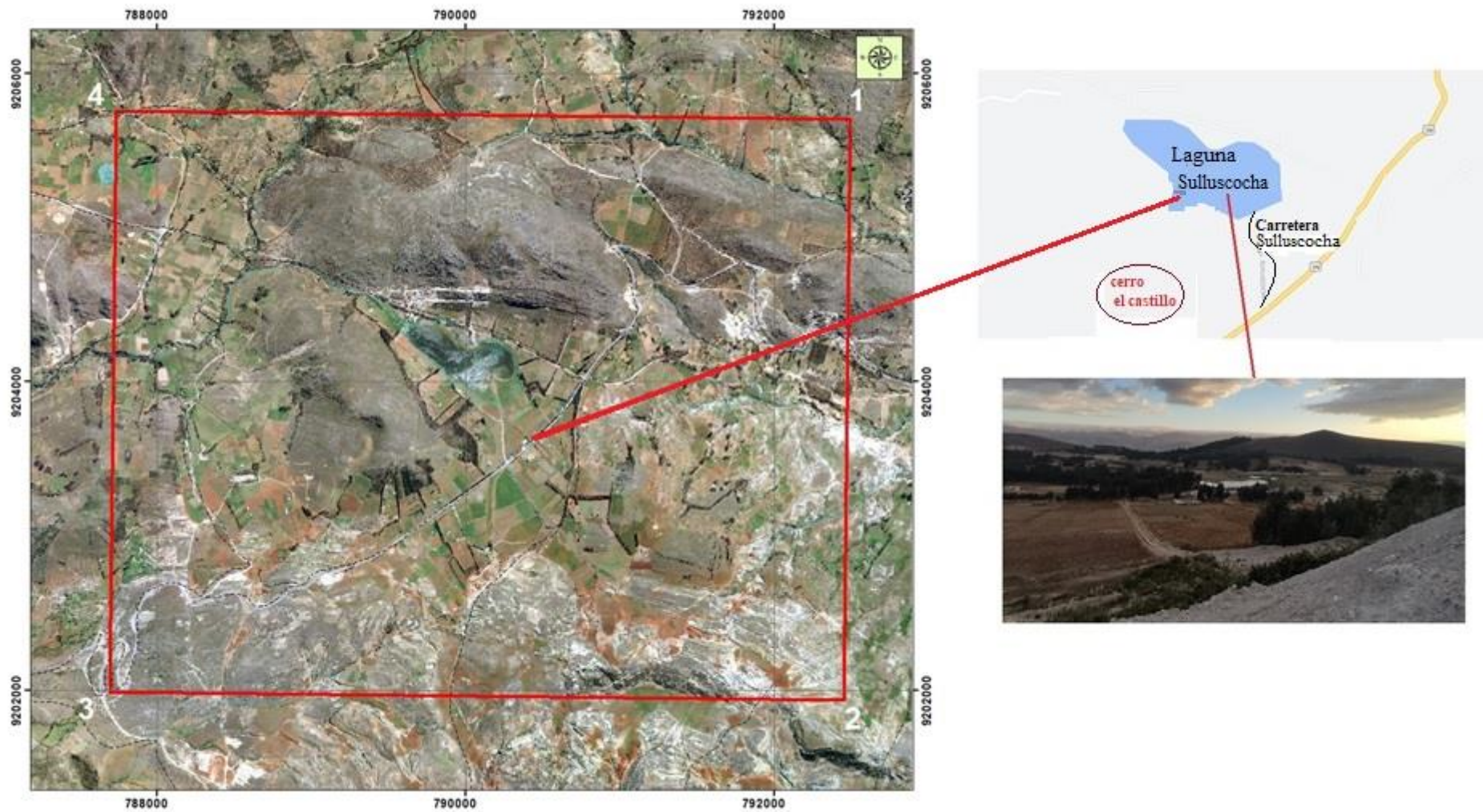


Figura 17. Imagen satelital con accesibilidad al área de estudio (Google Maps, 2022)

3.1.4 Clima Meteorología

Para Cajamarca, el mes con temperatura más alta es setiembre (22.2°C); la temperatura más baja se da en el mes de julio (4.9°C); y llueve con mayor intensidad en el mes de marzo (118.78 mm/mes). Temperatura: máxima: 23°C / mínima: 11°C, la información de los registros, perteneciente al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)

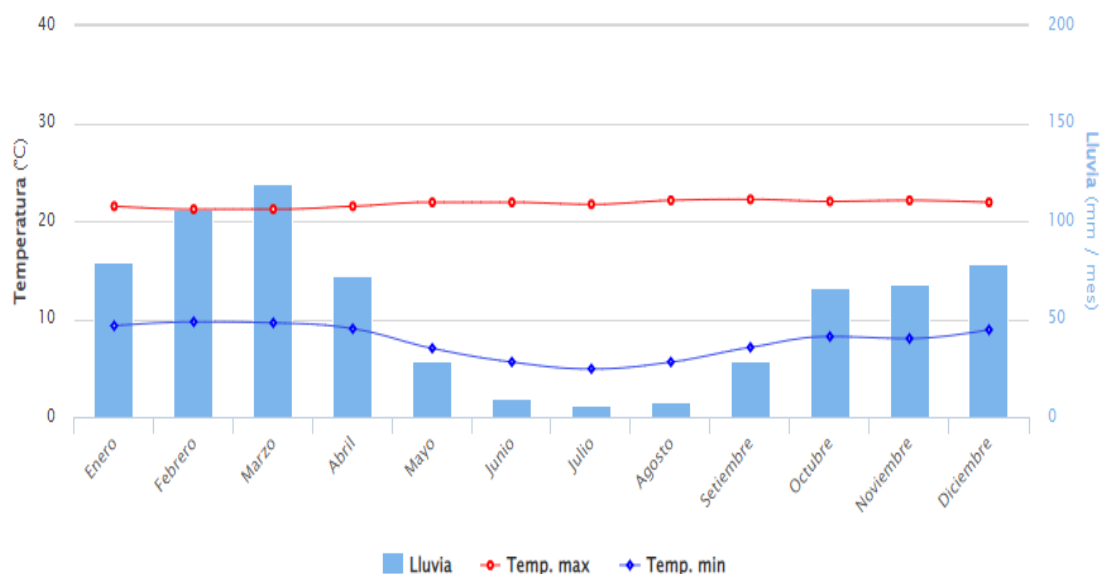


Figura 18: Temperatura promedio mensual (°C) – Estación Cajamarca (2021), (SENAMHI, 2022).

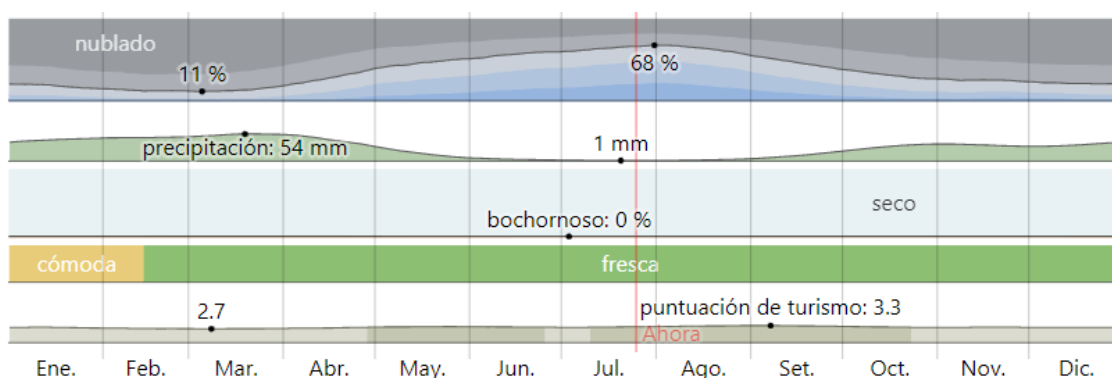


Figura 19: Precipitación promedio mensual (°C) – Estación Cajamarca (2021), (SENAMHI, 2022).

3.1.5 Vegetación.

El área de estudio presenta una vegetación variada: Eucaliptos, pinos, entre otros. El uso de la tierra se desarrolla una agricultura temporal (en época de lluvia), en donde se encuentran también el sembrío de papas, ollucos, Ocas, Abas. esenciales en la alimentación del Vacuno.



Foto 1: Se observa una vegetación variada con coordenadas E: 789995.52, N: 9204257.73.

3.2. TIPO, NIVEL, DISEÑO Y MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

Tipo de investigación: El tipo de investigación es descriptiva – comparativa, ya que se describirá aspectos en campo para compararlos según la geomecánica, la ubicación y posición de las estructuras de la mecánica de rocas, ya que se centra en la observación directa en campo de parámetros geomecánicos.

Nivel de investigación: El nivel de investigación es explicativa, porque nos permitirá determinar la relación y correspondencia que existe en la zona de estudio para luego explicar cómo ocurrieron del evento y en qué condiciones se encuentra los puntos críticos.

Diseño de investigación: Experimental porque lo que se observará la inestabilidad tal y como ocurre naturalmente. Transversal, debido a que se estudia en un momento determinado de tiempo.

Método de investigación: Inductivo – deductivo, porque induce de principios explicativos a partir de los eventos observados en la geomecánica y, por consiguiente, se construye caracterización geomecánica referente al evento.

Tabla 7. Metodología de la investigación

CRITERIO	METODOLOGÍA
Tipo	Descriptiva – Comparativa
Nivel	Explicativa
Diseño	Transversal
Método	Inductivo – deductivo

Fuente: Supo (2016).

3.2.1. Población de estudio

Derecho minero Horjes en su Yacimiento no Metálico (Arcilla) asociado a las características geomecánicas, área 5 km².

3.2.2. Muestra

Estaciones de control geomecánico en zonas críticas definidas para la investigación (mapeo geomecánico).

3.2.3. Unidad de análisis

La litología, geoestructuras, geomecánica, hidrogeología y sismicidad.

3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Se ha realizado en 3 etapas. Los trabajos realizados comprendieron la ejecución de investigaciones de campo, pruebas de laboratorio y labores de gabinete, utilizando todos los criterios definidos en esta investigación de tesis.

3.3.1. Técnicas de recolección de datos

Las técnicas empleadas para el acopio de la información serán: Para la recolección de información sobre los parámetros de evaluación del macizo rocoso es medición de estos parámetros se realizada mediante el mapeo geomecánico, utilizando las clasificaciones geomecánicas RMR Y GSI.

Análisis documental y observación dirigida. Recopilación de información de las zonas críticas.

Ensayos de laboratorio: Ensayos de laboratorio se realizarán ensayos que permitan determinar los diferentes parámetros las propiedades mecánicas de las litologías que presenta en la zona determinada, para los análisis, en tal forma que sean lo más representativos de las situaciones reales. Los ensayos de laboratorio a utilizar son los siguientes:

- Determinación de la densidad.
- Ensayo de compresión uniaxial (UCS).
- Ensayo de carga puntual (PLT).
- Ensayo de corte directo en discontinuidades.

Cartografiado geológico. Ubicación de la zona de investigación, estructuras y la geología (15-g).

Tomas fotográficas. En cada estación geomecánica, para la descripción y análisis correspondiente.

Muestreo litológico. La Formación Farrat, estos lentes (bancos) de arcillas o limolitas, están alineados a los estratos de areniscas (con dirección este-oeste).

Fueron formados en el proceso de la depositación y sedimentación en ambientes continentales (en deltas principalmente), en lagunas o pequeños lagos, donde el proceso de depositación y sedimentación es más lenta, por ende, los granos son más finos.

Las coloraciones rojizas (hematitas) y amarillentas (limonitas), son producto de la oxidación del hierro en sus diferentes valencias. La coloración blanquecina, es debido ya que presenta un ambiente reductor.

Zonas Geomecánicas. Se realizará la interpretación mediante los datos de la caracterización geomecánica, serán almacenados en el software Microsoft Excel y procesados en el software Dips v.6.0 de Rocscience. Siendo los análisis de estabilidad de esfuerzo, deformación por el método de elementos finitos se realizará en el software Phase2 v.8.0 de Rocscience.

3.3.2. Instrumentos de recolección de datos

Los Materiales y Equipos utilizados durante la toma de datos en campo son:

- GPS (Sistema Global de Posicionamiento): Sirve para la ubicación en la zona donde se realiza el trabajo de campo a través del sistema de coordenadas Unidad Técnica de Medida (UTM), Datum WGS-84.
- Brújula (Brunton): Sirve para medir los rumbos y buzamientos de las zonas
- Protactor 1/1500 y 1/2000: Para plasmar y ubicar en puntos precisos, en los diferentes planos, datos obtenidos en campo.
- Lupa 20X (20 aumentos): Equipo que sirvió para el reconocimiento mineralógico de la arenisca y el tipo arcilla.
- Lápiz de dureza: Instrumento utilizados propiedades físicas de las muestras.
- Martillo de geólogo (Picota): Instrumento en la extracción de muestras de campo.
- Flexómetro: Instrumento para medir longitudes de 5 m.
- Wincha: Instrumento graduado para medir líneas y superficies de una longitud de 50 m.
- Cámara digital de 13 Mpx: Utilizado para capturar imágenes o fotografías de la zona de estudio.
- Tablas Geomecánicas: Para realizar los registros geomecánicos y clasificaciones geomecánicas RMR Y GSI.
- Libreta: Utilizada en la toma de datos de campo y en realización de los diferentes croquis o dibujos observados en el campo.
- Colores: Utilizados principalmente para diferenciar los tipos de estratos.
- Software Office 2019: Paquete de programas usados en crear documentos de calidad profesional.
- Software ArcGis v10.3: Programa usado para la elaboración de planos topográficos, geológicos, geomecánicos y Satelitales.

- Software Google Earth Pro y Sas Planet: Programa diseñado para ver y descargar imágenes de satélite de alta resolución y mapas convencionales de servidores como: Google Earth. Google Maps.
- Software AutoCAD v. 2022: Programa usado para la elaboración de columnas lito y bioestratigráficas.

3.4. DEFINICIÓN DE VARIABLES

Para la investigación se ha identificado las siguientes variables como independientes, precipitación, infiltración, sismicidad, tipo de estrato, litología, las cuales se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 8. Variables de la investigación.

Variables independientes	Variable dependiente
Precipitación	Inestabilidad Geomecánica
Infiltración	
Sismicidad	
Tipo de estrato	
Litología	

3.5. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS

El procedimiento para el análisis de datos geomecánicos se realizará en gabinete, en orden sistemático y clasifican los datos. Primero se determinará los datos obtenidos en campo, ingresándolos detalladamente al Software de Excel y Word. Luego se clasificó para su correcta utilización e importación a los softwares Arcgis, Autocad, Dips y Phase2. para la realización de mapas del área de Geomecánica, según el Decreto Supremo N° 023–2017–EM y su modificatoria D.S. N° 023–2017–EM. Finalmente se tendrá conclusiones, sólidas, confiables, consistentes y que se pueden verificar.

3.6. PROCEDIMIENTO DE RECOPIACIÓN DE DATOS

El proyecto de tesis se le divide en tres etapas:

3.6.1. Etapa Preliminar de Gabinete

Se eligió la localidad ubicada en el derecho minero Horjes, Distrito de Namora (Sulluscocha)- Cajamarca, el cual presenta zonas que son apropiadas para la realización

de dicho estudio. Se obtuvo la compilación bibliográfica que consistió en la búsqueda, revisión y análisis de las informaciones existentes de la zona, así como también trabajos realizados con el mismo propósito de los diferentes autores. También se seleccionó la bibliografía sobre temas de Mecánica de Rocas, sobre planos geomecánicos. Se determinó los instrumentos a utilizar; así como también se determinó la metodología a seguir para la realización de la investigación.

3.6.2. Etapa de Campo

Se fijó las zonas apropiada para la recolección de datos necesarios para el estudio.

La litología se determina mediante la observación directa de los afloramientos de la Formación Farrat (Ki- f), específicamente, a las características de su concordancia a la formación Carhuaz e infrayace con la misma relación, a la formación Inca, dando la impresión en muchos lugares de tratarse de un paso gradual.

Además, en esta etapa se realizan ensayos de control de calidad de la roca, ensayos de resistencias y ensayos de compresión, entre otros. Se realizan estos controles con la finalidad de su Geomecánica.

Su recolección de datos mediante el mapeo geomecánico en cada frente de avance de los trabajos, usando las clasificaciones geomecánicas de RMR y GSI Medición del rumbo y buzamiento de los estratos y toma de coordenadas con el GPS en el sistema UTM. Datum: WGS-84.

Procesamiento de la información registrada representándola un plano geomecánico. Así como resistencia, permeabilidad, propiedades elásticas.

3.6.3. Etapa final de Gabinete

Se procesó los datos obtenidos en campo haciendo uso del software softwares Arcgis, Autocad, Dips, Phase2 y AutoCAD v. 2022, procesando los datos de resistencia, permeabilidad, propiedades elásticas.

Determinando los parámetros de evaluación del macizo rocoso, utilizando las clasificaciones geomecánicas RMR Y GSI. Y su elaboración de planos geomecánicos.

3.6.4. Procedimiento para la recolección de datos

Obtención de datos de campo

Los datos usados en la investigación fueron recopilados. Tiempo que coincide con la bibliografía, el reconocimiento de la de la geomecánica, Formación Farrat (Ki- f), Criterio de Rotura de Hoek-Brown (Rockscience, 2013) y con el apoyo de la Carta Geológica del cuadrángulo de San Marcos a escala 1:100 000 (Reyes, 1980).

Reconocimiento de litología y color

De acuerdo a la geología, se encuentra en el cuadrángulo 15-g, en la Formación Farrat (Ki- f), estos lentes (bancos) de arcillas o limolitas, están alineados a los estratos de areniscas (con dirección este-oeste). Fueron formados en el proceso de la depositación y sedimentación en ambientes continentales (en deltas principalmente), en lagunas o pequeños lagos, donde el proceso de depositación y sedimentación es más lenta, por ende, los granos son más finos.

Las coloraciones rojizas (hematitas) y amarillentas (limonitas), son producto de la oxidación del hierro en sus diferentes valencias. La coloración blanquecina, es debido ya que presenta un ambiente reductor.

3.7 CONTEXTO GEOLÓGICO

3.7.1 Geológico Local

Los afloramientos se encuentran en la mayor parte del área de estudio; ubicándose al sureste de la ciudad de Cajamarca, caracterizándose litológicamente por secuencias roca arenisca.

Afloran formaciones del Cretácico Inferior, iniciando la secuencia con areniscas de la Formación Carhuaz y Formación Farrat pertenecientes al Grupo Goyllarisquizga, y suprayace a las mismas las areniscas ferruginosas de la Formación Inca.

3.7.1.1 Formación Farrat

Esta formación representa el nivel superior de la parte clástica del Cretáceo inferior. Consta de cuarcitas y areniscas blancas de grano medio a grueso, tiene un grosor promedio de 500 m. aumentando en el sector suroeste. En algunos lugares se observa estratificación cruzada y marcas de oleaje. La formación Farrat suprayace con aparente concordancia a la formación Carhuaz y subyace, con la misma relación, a la formación

Inca, dando la impresión en muchos lugares, de tratarse de un paso gradual. Por su similitud litológica con la formación Chimú es fácil confundirlas, siendo necesario en el campo, establecer muy bien sus relaciones estratigráficas para diferenciarlas, aunque en algunos casos solamente por la falta de mantos de carbón es posible diferenciarla de la formación Chimú. Por sus características litológicas, es común encontrar a las formaciones Farrat y Chimú conformando escarpas y altas cumbres agudas y largas (INGEMMET, 1980).

Edad y Correlación.

En el corte de la carretera Cajamarca-San Juan, a la altura del cerro Ventanilla, la parte inferior de la formación Farrat contiene impresiones de plantas regularmente conservadas correspondientes a *Weichselia* peruviana ZEILLER, *Scleropteris* cf. *S. ellensis* SALF y restos de tallos indeterminados, pero asignables al Cretáceo inferior. 25 por otra parte, la formación Farrat infrayace a sedimentos de los niveles más altos del Aptiano, por lo que se le asigna una edad aptiana. La formación Farrat se extiende con el mismo nombre hacia el norte del Perú, y a las regiones de Sihuas, Pomabamba, etc. al sur. Se correlaciona con la parte superior de la formación Llacanora (INGEMMET, 1980).

3.7.1.2 Formación Chimú

La formación Chimú consiste en una alternancia de areniscas cuarzosas y lutitas en la parte inferior y de una potente secuencia de cuarcitas blancas, en bancos gruesos, en la parte superior. Las areniscas generalmente son de grano mediano a grueso. Tiene un grosor aproximado de 600 m (INGEMMET, 1980).

3.7.1.3 Formación Carhuaz

Consiste en la intercalación de areniscas (rojizas, violetas y verdosas; características principales para diferenciarla en campo) con lutitas grises. Hacia la parte superior contiene bancos de areniscas cuarzosas blancas que se intercalan con lutitas y areniscas. La formación Carhuaz yace con suave discordancia sobre la formación Santa e infrayace concordante a la formación Farrat. Tiene un grosor aproximado de 500m (INGEMMET, 1980).

3.7.1.4 Depósitos cuaternarios

Son sedimentos de cobertura, generalmente no consolidados producto de la intensa actividad fluvial o gravedad y se distribuyen en forma irregular en la zona de estudio; entre ellos tenemos: Depósitos lacustres (Q-la): Se localizan en cuencas lagunares y a veces en las partes bajas de los valles. Están formados por sedimentos de grano fino, predominando los limos y las arcillas, su materia orgánica puede ser muy alto, sobre todo en zonas pantanosas. Frecuentemente presentan partes laminadas en niveles muy finos.

3.7.1.5 Cuaternario Aluvial

Dentro de los depósitos aluviales se han considerado los materiales con poco transporte, y en los fluviales se consideran las diferentes terrazas dejadas por los ríos. Depósitos que se acumulan en áreas favorables en los flancos de los valles y quebradas tributarias, están conformados por conglomerados polimícticos poco consolidados, con clastos de tamaño heterogéneo englobados en una matriz limo arcillosa (INGEMMET, 2002).

3.8 Geomorfología

3.8.1 Ambientes Morfogenéticos

El agua, el viento y el hielo son agentes morfogenéticos que causan erosión o deposición de acuerdo a las condiciones ambientales prevalecientes. Las geoformas resultantes son generalmente más homogéneas que las geoformas controladas por la estructura interna (Zinck, 2012).

3.8.1.1 Agentes Geomorfológicos

Son todos los elementos naturales móviles capaces de desprender, transportar y depositar los productos incoherentes de la meteorización y de la sedimentación; siendo los más importantes el agua de lluvias y de escorrentías; las olas, corrientes costeras y de mares; los glaciares, el viento; a estos se agregan los animales y el mismo hombre (Jiménes, 1983).

- **La Colina**

Una colina es una elevación natural del terreno con desniveles mayores a 100 m, cuyas laderas se inclinan en promedio con valores superiores a 16% de pendiente (Jiménes, 1983).



Foto 2: Colinas con elevaciones $> 30^\circ$, en las coordenadas E: 789919.30, N: 9204308.92.

- **Lomas**

Son elevaciones del terreno de similar altura que las colinas, pero con cimas más amplias, redondeadas con gradientes entre 8% y 16% (Jiménes, 1983).



Foto 3: La loma con características redondeadas en las coordenadas E: 789815.48, N: 9204344.58.

- **La meteorización**

Comprende la desintegración y descomposición de las rocas coherentes e incoherentes en productos solubles e insolubles, algunos de los cuales se recombinan para formar minerales secundarios de diverso grado de complejidad (Jiménes, 1983).



Foto 4: Meteorización química, en las coordenadas E: 789870.43, N: 9204249.02.

3.8.2 Perfiles Morfométricos

El perfil y el mapa topográficos son descripciones continuas de la superficie. Los procedimientos de clasificación del territorio, requieren la subdivisión de éste en porciones que posean algún rasgo en común. La morfometría realiza la subdivisión de ambos documentos el perfil y el mapa topográficos- en porciones de territorio que posean un sentido de la inclinación homogéneo y una inclinación comprendida dentro de varios rangos (Centeno, 2008).



Foto 5: Se evidencia en su geomorfología una loma, con coordenadas E: 789960.89, N:9204272.58.

3.8 ESTRATIGRAFÍA

- **La Arcilla**

Aspectos generales Con el término de arcillas se puede tener 3 definiciones:

Petroológica: Arcilla es una roca sedimentaria, blanda, que se hace plástica al contacto con el agua, siendo frágil en seco, y con gran capacidad de absorción. Generalmente en la naturaleza encontramos las arcillas mezcladas con otros materiales como los limos, arenas (estas con alto contenido de cuarzo), humedad y material orgánico, todo este conjunto de materiales se denominan material arcilloso.



Foto 6: Arcilla es una roca sedimentaria de color blanquecina del lugar de estudio, con coordenadas E: 789863.37, N: 9204273.43.

- **Mineralógica:** arcillas son silicatos aluminicos hidratados (minerales secundarios) que provienen del intemperismo químico de los feldspatos. También existen arcillas de origen hidrotermal, que provienen de transformación mayormente de rocas magmáticas, ácidas e intrusivas, están frecuentemente asociados a filones. Presenta diversas coloraciones según las impurezas que contiene, desde el rojo anaranjado hasta el blanco cuando es pura (Galleries, 2007).

- **Granulométricamente:** Las arcillas son los fragmentos naturales más finos (< 2 micras ó 1/ 256 mm).
- **Físicamente:** las arcillas se consideran coloides, de partículas extremadamente pequeñas y superficie lisa. El diámetro de las partículas de la arcilla es inferior a 0,002 mm. Químicamente es un silicato hidratado de alúmina, cuya fórmula: $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot H_2O$. Se caracteriza por adquirir plasticidad al ser mezclada con agua, y también sonoridad y dureza al calentarla por encima de 800 °C. La arcilla endurecida mediante la acción del fuego fue la primera cerámica elaborada por los seres humanos, y aún es uno de los materiales más baratos y de uso más amplio. Ladrillos, utensilios de cocina, objetos de arte e incluso instrumentos musicales como la ocarina son elaborados con arcilla. También se la utiliza en muchos procesos industriales, tales como en la elaboración de papel, producción de cemento y procesos químicos (Bailey, S. W, 1980).

3.9 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Dichas deformaciones dificultan reconocer y separar un evento con otro, además, representa un obstáculo para la comprensión de las relaciones estratigráficas y estructurales de la zona (Estrada, González y Viana, 2001).

- **Resistencia a la compresión uniaxial (RCU).** Parámetro que permite caracterizar y clasificar la matriz rocosa. La resistencia determina la competencia de la roca para mantener unido todos sus componentes y depende principalmente de la composición mineralógica de la roca y grado de alteración (Rodríguez, 2007).

- **Análisis de cuñas**

Cuando la cuña está formada por la intersección de dos discontinuidades o superficies de debilidad, si ambas superficies se inclinan en sentido diferente se denomina cuña directa (Ramírez y Alejano, 2004).

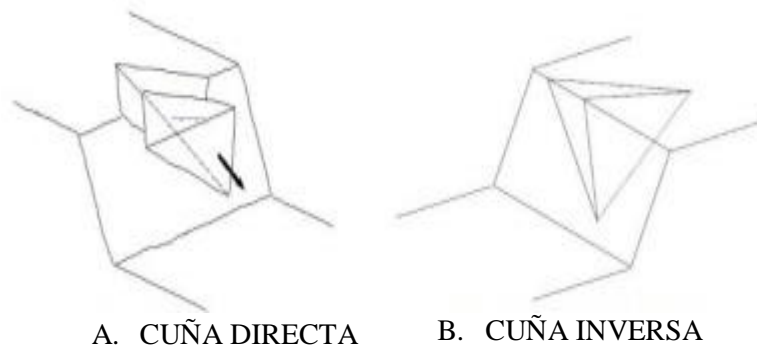


Figura 20: Vista en perspectiva de una cuña directa y cuña inversa (Madrid, 2004).

Rotura Planar

Este tipo de rotura consiste en el deslizamiento de una masa de roca cuyo buzamiento es paralelo o casi paralelo al buzamiento de la cara del talud y es mucho mayor que su ángulo de fricción.

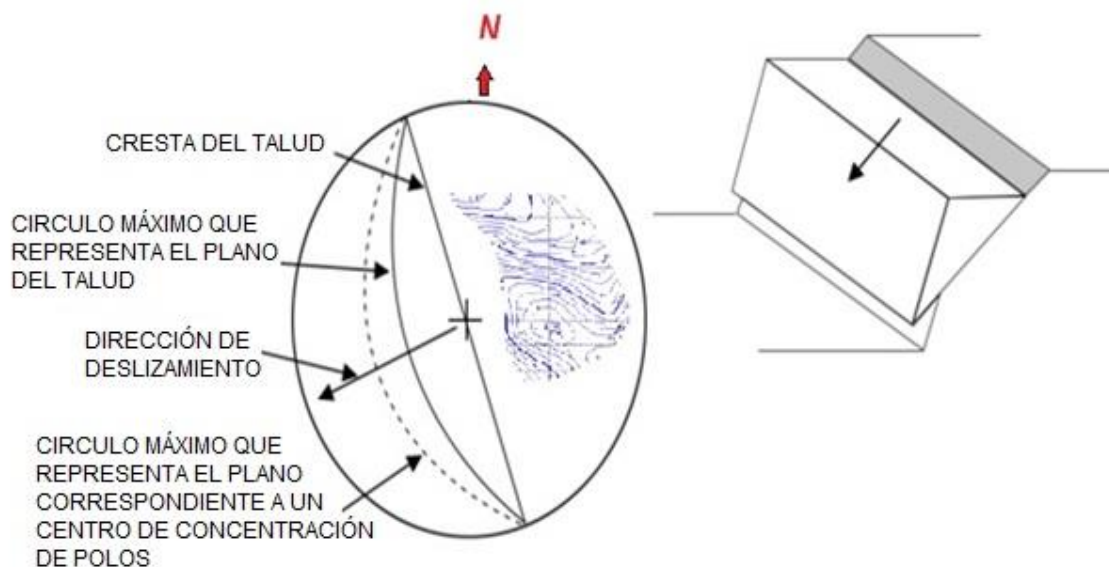


Figura 21: Disposición de las discontinuidades con respecto al talud para deslizamiento planar (Hoek y Bray, 1981).

- **Rotura en Cuña**

La rotura en cuña ocurre a lo largo de la intersección entre dos discontinuidades, las cuales se mantienen en contacto y los planos, de manera que se produzca la rotura planar (Hoek y Bray, 1981).

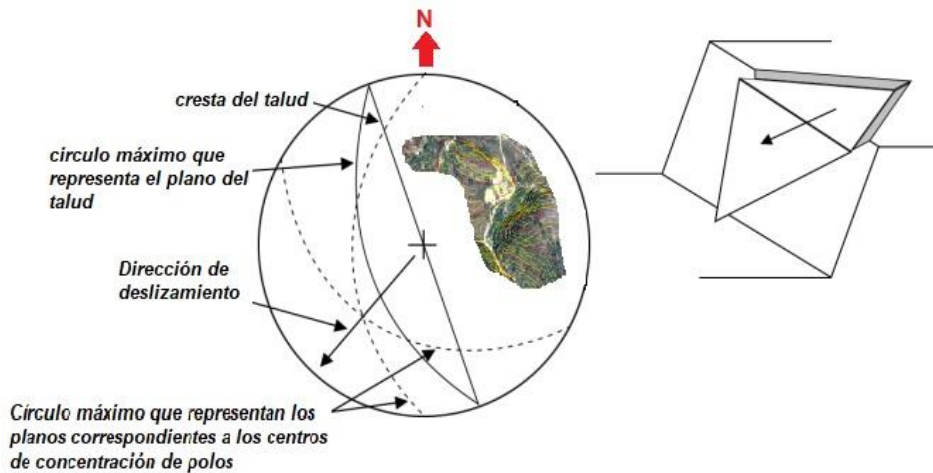


Figura 22: Orientación de las familias de discontinuidades respecto al talud para roturas en cuña (Hoek y Bray, 1981).

- **Rotura por Vuelco (Toppling).**

La rotura por Vuelco, es un modo de rotura que implica columnas interactivas regularmente espaciadas. Ocurre solo bajo la gravedad cuando las capas están inclinadas hacia la cara del talud (Goodman y Bray, 1976).

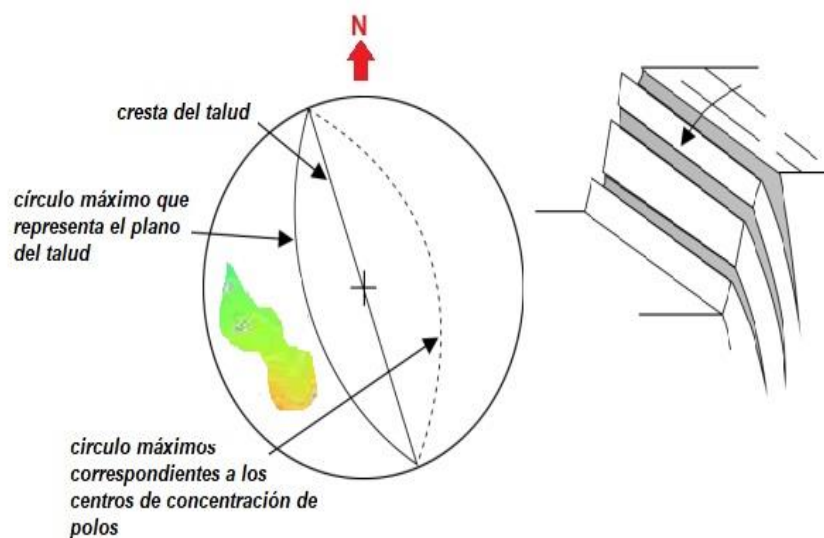


Figura 23: Orientación de las familias de discontinuidades respecto al talud para roturas por vuelco (Hoek y Bray, 1981).

3.10. Muros de contención

Son elementos estructurales que proporcionan estabilidad a un terreno natural u otro material. Uno de sus usos es el de soporte de rellenos, productos mineros y agua.

- **Tipos de muros de contención**

- 1) Gravedad: utiliza su propio peso para la estabilidad.
- 2) Cantilever: utiliza la acción de cantilever para retener el material, es de concreto reforzado.
- 3) Contrafuerte: similar a un cantilever, pero con mayores alturas; el contrafuerte soporta las tensiones. Apoyado: similar a contrafuerte, pero trabaja a compresión.
- 4) Entramado: con elementos pre fabricados de concreto, metal o madera.
- 5) Semigravedad: intermedios entre gravedad y cantilever.

Para el caso a evaluar, el muro de gravedad cumplirá la función de una presa de gravedad. De igual forma estas se construyen de manera que su propio peso resista las fuerzas que se ejercen sobre ella. Se pueden cimentar en lugares donde exista roca competente (en buen estado) aunque si la presa es de poca altura puede cimentarse sobre terrenos aluviales con tal que se construya una pantalla.

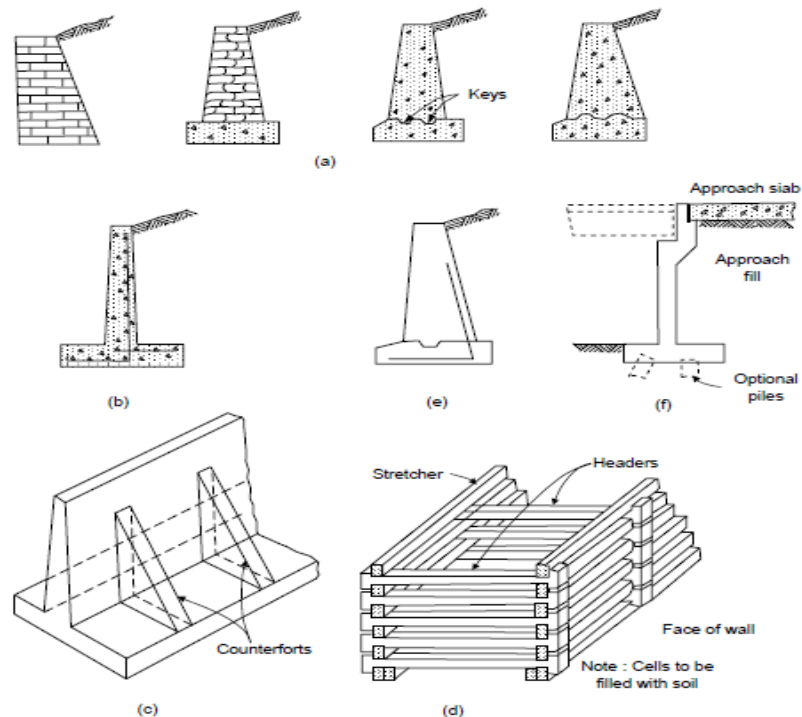


Figura 24: descripción de la cimentarse sobre terrenos

3.10.1 Dimensionamiento de muros de gravedad

El dimensionamiento se inicia con la selección tentativas de dimensiones, luego estas son analizadas por los requerimientos de estabilidad y estructurales. Siendo un proceso de iteraciones sucesivas.

- **Recomendaciones de pre dimensionamiento**

La bibliografía indica las recomendaciones de pre dimensionamiento de muros de gravedad (dimensiones tentativas) en función de la altura del muro.

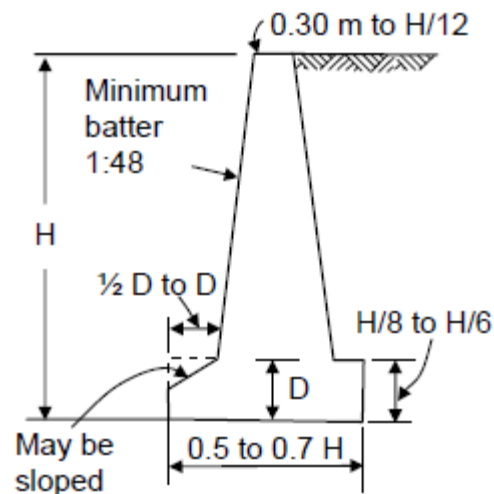


Figura 25: Recomendaciones en muros de gravedad.

3.10.2. Estabilidad de muros

- **Factor de seguridad**

La estabilidad del muro está dada por su propio peso, el cuál debe de proporcionar un adecuado factor de seguridad (F.S) contra el deslizamiento y el volteo en las condiciones estáticas y sísmicas con embalse máximo.

El factor de seguridad es la relación existente entre la fuerza resistentes al deslizamiento y las fuerzas actuantes para tal efecto; de igual forma en el caso de análisis por volteo: momentos resistentes entre momento actuantes. Además, el F.S debe de estar entre 1.5 – 2.0 para las condiciones estáticas.

$$FS_d = \frac{\text{Suma de fuerzas resistentes}}{\text{Suma de fuerzas actuantes}} \geq 1.5 - 2.0$$

$$FS_v = \frac{\text{Suma de momentos resistentes}}{\text{Suma de momentos actuantes}} \geq 1.5 - 2.0$$

- **Fuerzas en el muro de contención**

- 1) Peso propio de la estructura, definido por el tipo de material y la geometría del muro.
- 2) Peso del material de relleno del trasdós que está sobre las dimensiones de la base del muro.
- 3) Empuje hidrostático, generado por la carga hidráulica almacenada.
- 4) Empuje de tierra, generado por el relleno en el trasdós del muro.
- 5) Fuerza de fricción, generado por el contacto entre estructura y la cimentación.

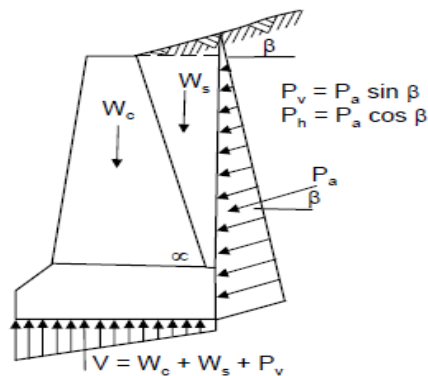


Figura 26: descripción de las fuerzas en el muro de contención

El empuje de tierra (esfuerzo horizontal) es calculado mediante la ecuación 1; K_0 es el coeficiente de presión de tierras en reposo, γ es el peso específico del relleno y z la profundidad. Además, se asume esta condición debido a que el relleno en el trasdós será igual a la profundidad de cimentación.

$$\sigma'_h = k_0 \gamma z \dots (1)$$

3.10.2.1 Verificación por tipo de fundación

- **Capacidad portante admisible**

La estructura cimentada (muro de gravedad) ejerce una presión hacia el terreno de fundación y esta debe de ser menor a la presión admisible del suelo; los factores de seguridad deben ser iguales a 3.

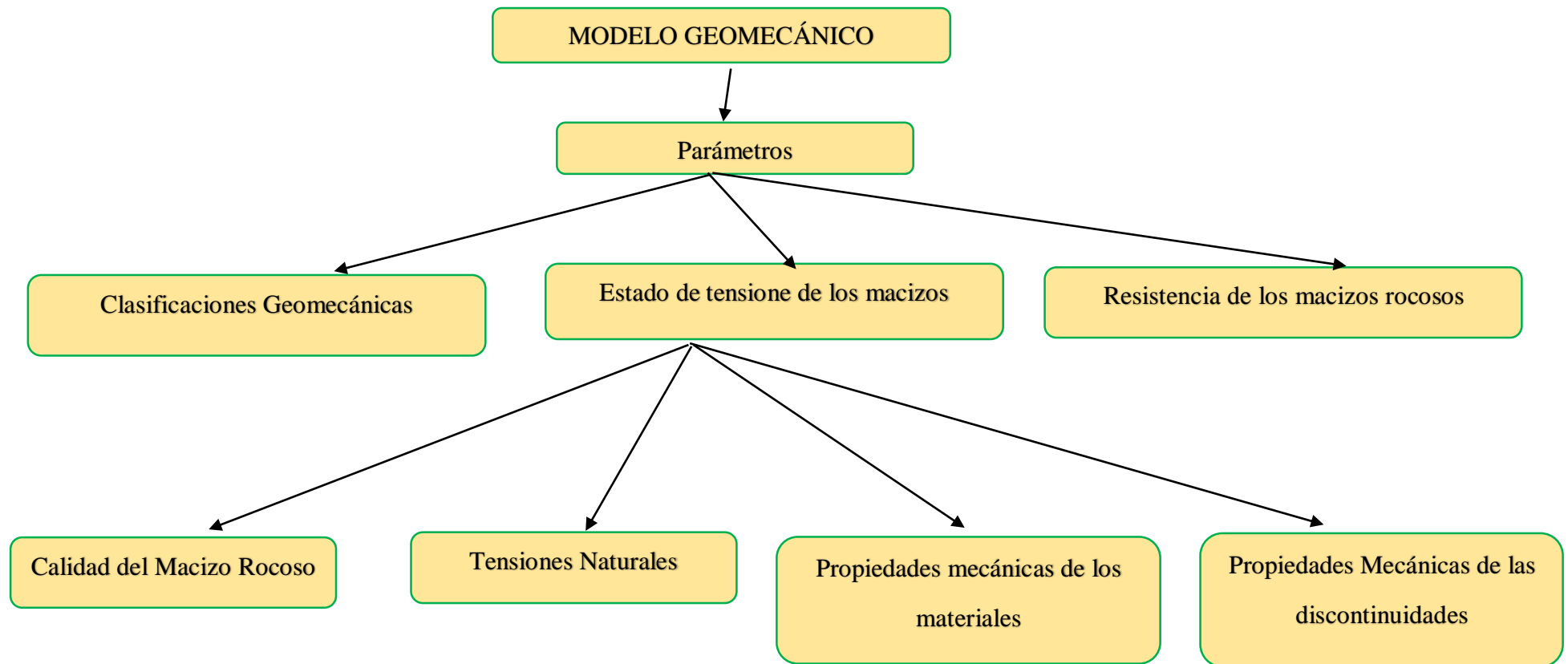
- **Esfuerzos de corte sobre el muro**

Se evalúa las zonas más críticas de la estructura por corte a una altura cercana al nivel del terreno natural (por el efecto en voladizo), la fuerza de corte es generada por la presión hidrostática y el empuje de tierras, y el material del cuerpo del dique es quien otorga la fuerza máxima de corte resistente mediante la siguiente formula:

$$\phi V_c = 0.85 \times 0.53 \times \sqrt{f'_c} b w d y$$

3.11. Modelo geomecánico

Las variables y parámetros del modelo geomecánico se presentan a continuación en el cuadro adjunto:



Fuente: (González de Vallejo, 2002)

La caracterización del comportamiento mecánico de la masa rocosa y sus componentes, se determina mediante los ensayos de laboratorio y ensayos in-situ, cuyo objetivo es la determinación de las propiedades físico-mecánicas de la roca. En el presente trabajo se han realizado ambos ensayos para determinar la clasificación Geomecánica y la resistencia de los macizos rocosos de la zona en estudio.

La clasificación de las rocas para usos ingenieriles es una tarea compleja, ya que deben cuantificarse sus propiedades con el fin de emplearlas en el cálculo de diseño. Estas clasificaciones están basadas en alguno o vario de los factores que determinan su comportamiento mecánico:

- ✓ Propiedades de la matriz rocosa.
- ✓ Frecuencia y tipo de las discontinuidades, que definen el grado de fracturamiento, el tamaño y la forma de los bloques del macizo.
- ✓ Grado de meteorización o alteración.
- ✓ Estado de tensiones en situ.
- ✓ Presencia de agua.

Tabla 9. Sistematización para describir el macizo rocoso.

CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES A DEFINIR EN CAMPO PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL MACIZO ROCOSO			
ÁMBITO DE ESTUDIO	CARACTERÍSTICA O PROPIEDAD	MÉTODO	CLASIFICACIÓN
Matriz Rocosa	Identificación	Observación de visu y con lupa	Clasificación geológica y geotécnica
	Meteorización	Observación de visu	Índices estándar
	Resistencia	Índice y ensayos de campo	Clasificaciones empíricas de resistencia
Discontinuidades	Orientación	Medida directa con brújula de geólogo	
	Espaciado	Medidas de campo	Índices y clasificaciones estándar
	Continuidad		
	Rugosidad	Observaciones y medidas de campo	Comparación con perfiles estándar
	Resistencia de las paredes	Martillo Schdmít Índice de campo	Clasificaciones empíricas de resistencia
	Abertura	Observaciones y medidas de campo	Índices estándar
	Relleno		
Filtraciones			
Macizo rocoso	Número de familias de discontinuidades	Medidas de campo	Índices y clasificaciones estándar
	Tamaño de bloque		
	Intensidad de Fracturación		
	Grado de meteorización	Observaciones de campo	Clasificaciones estándar

Fuente: Álvarez. (2014).

3.12 CLASIFICACIÓN DE LOS MACIZOS ROCOSOS DE LA ZONA DE ESTUDIO.

Se clasificará el macizo rocoso tras tomar la data en la zona perteneciente a la concesión en la determinación de este parámetro usamos el martillo de geólogo con un promedio 4 y 5 de golpes.

Tabla 10: macizo rocoso Resistencia Uniaxial de la roca intacta.

Clase	Clarificación de la roca según su resistencia	Resistencia uniaxial (MPa)	Índice de carga puntual (MPa)	Estimación en terreno de la resistencia
R6	Extremadamente Resistente	> 250	>10	Golpes de martillo geológico sólo causan descostramientos superficiales en la roca.
R5	Muy resistente	100 – 250	4 – 10	Un trozo de roca requiere varios golpes con el martillo geológico para fracturarse
R4	Resistente	50 – 100	2 – 4	Un trozo de roca requiere más de un golpe con el martillo geológico para fracturarse
R3	Moderadamente Resistente	25 – 50	1 – 2	Un trozo de roca puede fracturarse con un único golpe del martillo geológico, pero no es posible descostrar la roca con un cortaplumas
R2	Débil	5 – 25		Un golpe con la punta de martillo geológico deja una indentación superficial. La roca puede ser descostrada con un cortaplumas, pero con dificultad
R1	Muy Débil	1 – 5		La roca se disgrega al ser golpeada con la punta del martillo geológico. La roca puede ser descostrada con cortaplumas
R0	Extremadamente Débil	0,25 – 1		La roca puede ser indentada con la uña del pulgar.

Fuente: Tomado de González de Vallejo, (2002)

Rock Quality Designation (RQD):

Calculado mediante la fórmula

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

Dónde:

$$\lambda = \frac{N^{\circ} \text{ discontinuidades}}{\text{longitud (m)}}$$

Para la determinación de este parámetro tomamos como base los 13 metros lineales, y procedimos a contar el número de fracturas que cortan a dichos metros lineales

Cuadro de valoración de RQD para la estación 01.

Basándose en los rangos de los valores del RQD, en macizo rocoso puede ser caracterizado según la valoración siguiente.

Tabla 11: valores del RQD.

RQD (%)	CALIDAD DE LA ROCA
100 – 90	Muy buena
90 – 75	Buena
75 – 50	Mediana
50 – 25	Mala
25 - 0	Muy mala

Fuente: Tomado de González de Vallejo, (2002)

3.13. METODO DE EXPLOTACION

El método de explotación debe satisfacer las características del yacimiento no metálico y orientarse bajo los criterios; seleccionando el método que garantice la estabilidad de los taludes, la restauración ambiental y una secuencia de explotación segura, racional y económicamente viable. Se concluye que el sistema de explotación rentable; técnica y económicamente es el superficial o a cielo abierto (González de Vallejo, 2002).

3.13.1 ALTERNATIVAS DEL MÉTODO DE EXPLOTACIÓN

Para la selección del método de explotación óptimo se analizaron las características del yacimiento no metálico como la geometría, topografía, propiedades físicas y geomecánicas, con uno o varios niveles las alternativas aplicables a este tipo de explotaciones son las siguientes:

- Banco único
- Bancos escalonados descendentes
- Bancos escalonados ascendentes

De acuerdo a las características topográficas, geológicas, paisajísticas y de estabilidad del terreno se analizaron las alternativas (González de Vallejo, 2004).

Banco único: En este método se tiene como ventajas un rendimiento mayor en cuanto a la perforación y voladura, pero con respecto a la producción este tipo de método es baja, también hay un menor costo por personal y equipos de transporte debido que hay menor cantidad material. Una ventaja muy importante son los planos de cortes limpios que se obtienen a partir de su explotación dejando caras libres adecuadas para su posterior arranque. Como desventajas se tendrán desviaciones de las perforaciones debido a la profundidad o espesor de estos bancos, otra desventaja es las labores del personal y maquinaria debido a las alturas de los bancos, la mala fragmentación de la roca y menor rendimientos de cargue y transporte (González de Vallejo, 2005).

Bancos escalonados descendentes: Permite iniciar la restauración con antelación y desde los bancos superiores hasta los de menor cota; desde el inicio de la explotación se tienen mayores rendimientos en el arranque, cargue y transporte, y mayor control en las condiciones de seguridad para el personal y la maquinaria. Las desventajas de la aplicación de este método se cuenta la definición previa del talud final y consecuentemente, un proyecto a largo plazo y obliga a una mayor distancia de transporte.

Bancos escalonados ascendentes: Es la alternativa más frecuente por la facilidad de apertura y la mínima distancia de transporte inicial hasta la planta de tratamiento; con este método de explotación el frente de trabajo está siempre activo, excepto en una pequeña zona. Debido a que el frente es progresivamente más alto, es inconveniente desarrollar la restauración ambiental de los taludes antes de finalizar toda la etapa de explotación (González de Vallejo, 2005).

CAPÍTULO IV ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En esta parte se identifican y ubican geomecánicamente los macizos rocosos, posteriormente se han analizado sus características geomecánicas. donde se definió el comportamiento geológico – geomecánico, mediante el Índice de Calidad de la Roca (RQD), la Valoración del Macizo Rocosos (RMR) Bieniawski 1989) y el índice de resistencia geológica (GSI).

4.1 ESTACIÓN 1

El afloramiento está ubicado en la parte noreste de la zona de estudio, con una longitud de 11 m de largo por 5 m de altura, presentando areniscas levemente meteorizadas, bloques regulares con grado de fracturamiento moderado.



Foto 7: Areniscas levemente meteorizadas del lugar de estudio, en las coordenadas E: 790197.81, N: 9204250.67.

PARÁMETROS DEL MACIZO ROCOSO:

- Grado de Meteorización: Grado II, ligeramente meteorizado.
- Número de familias de discontinuidades (Sets): Tipo VI, 4 Familias de discontinuidades.

PARÁMETROS DE LA MATRIZ ROCOSA:

- Litología: Areniscas.
- Textura y Tamaño de grano: Fanerítica de grano medio.
- Color: Blanquecino.
- Meteorización: Grado II, levemente meteorizado.
- Resistencia: Clase R4, Roca dura, de 50-100 MPa de resistencia a la compresión.

CARACTERIZACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES:

Se reconoció cuatro familias cuyas características son las siguientes:

Familias de discontinuidades

en el macizo rocoso

- Estrato
- Discontinuidad (D1)
- Discontinuidad (D2)
- Discontinuidad (D3)



Foto 8: Afloramiento del macizo rocoso.

	Orientación D/DD	Prom. Espaciado	Prom. Continuidad	Rugosidad	Resistencia MPa	Prom. Abertura	Relleno	Filtración
Estratificación	53/194	40 cm.	8 m.	Ligeramente Rugosa	R4 50-100	1.5 mm	Duro	húmedo
Discontinuidad-1	85/106	10 cm.	65 cm.	Rugosa	R4 50-100	4.5 mm	Duro	húmedo
Discontinuidad-2	63/351	15 cm.	80 cm.	Ligeramente Rugosa	R4 50-100	3.2 mm	Duro	húmedo
Discontinuidad-3	40/58	8 cm.	75 cm.	Ligeramente Rugosa	R4 50-100	4.5 mm	Duro	húmedo
Talud	75/342							

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DEL RMR₁₉₈₉:

PARÁMETRO		RANGOS DE VALORES								
1	Resistencia de la roca intacta	Ensayo carga puntual	> 10 MPa	10 – 4 MPa	4 – 2 MPa	2 – 1MPa				
		Compresión simple	> 250 MPa	250 – 100 MPa	100 – 50 MPa	50 – 25MPa	25 – 5 MPa	5 – 1 MPa	< 1 MPa	
	VALOR	15	12	7	4	2	1	0		
2	RQD	90 – 100 %	75 – 90 %	50 – 75 %	25 – 50 %	< 25%				
	VALOR	20	17	13	8	3				
3	Espaciado de las discontinuidades	> 2 m	0.6 – 2 m	0.2 – 0.6 m	6 – 20 cm	< 6 cm				
	VALOR	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			
		VALOR	6	4	2	1	0			
		Abertura	Nada	< 0.1 mm	0.1 – 1.0 mm	1 – 5 mm	> 5 mm			
		VALOR	6	5	3	1	0			
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave			
		VALOR	6	5	3	1	0			
		Relleno	Ninguno	Relleno Duro < 5 mm	Relleno Duro > 5 mm	Relleno Blando < 5 mm	Relleno Blando > 5 mm			
		VALOR	6	4	2	2	0			
Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta					
VALOR	6	5	3	1	0					
5	Flujo de agua en las discontinuidades	Relación P agua / σ principal	0	0 – 0.1	0.1 – 0.2	0.2 – 0.5	> 0.5			
		Condiciones generales	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo			
	VALOR	15	10	7	4	0				

VALORES AJUSTADOS:

PARÁMETROS	VALOR	
	TABLA	AJUSTADO
Compresión simple (MPa)	7	8
Índice de calidad de la Roca (RQD)	13	13
Espaciado entre discontinuidades	8	9

$$\text{RMR} = 8 + 13 + 9 + 6 + 1 + 3 + 4 + 5 + 7 = 56$$

CLASE	RMR	CALIDAD DE LA ROCA
I	81 – 100	Muy buena
II	61 – 80	Buena
III	41 - 60	Regular
IV	21 – 40	Mala
V	0 – 20	Muy mala

Calculado mediante la fórmula

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

Donde:

$$\lambda = \frac{N^{\circ} \text{ discontinuidades}}{\text{longitud (m)}}$$







Calculamos:

$$\lambda = \frac{39}{3} = 13$$

$$RQD = 100e^{-0.1 \cdot 13} (0.1 \cdot 13 + 1)$$

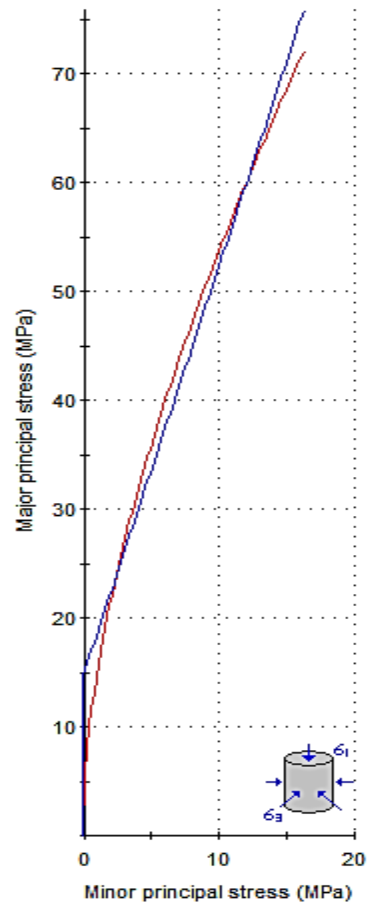
$$\mathbf{RQD = 62.68}$$

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA:

Rock Type: <input type="text" value="General"/>		SURFACE CONDITIONS				
GSI Selection: <input type="text" value="51"/> <input type="button" value="OK"/>		VERY GOOD	GOOD	FAIR	POOR	VERY POOR
STRUCTURE		DECREASING SURFACE QUALITY →				
	INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90			N/A	N/A
	BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets	80	70			
	VERY BLOCKY- interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets		60	51		
	BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity			50		
	DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces			40	30	
	LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes				20	10
		N/A	N/A			

GSI = 51

ANÁLISIS ROCLAB:



Analysis of Rock Strength using RocLab

Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 65 MPa
 GSI = 51 $m_i = 17$ Disturbance factor = 0

Hoek-Brown Criterion

$m_b = 2.954$ $s = 0.0043$ $a = 0.505$

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 3.855 MPa friction angle = 35.38 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.095 MPa
 uniaxial compressive strength = 4.150 MPa
 global strength = 14.934 MPa
 modulus of deformation = 8539.98 MPa

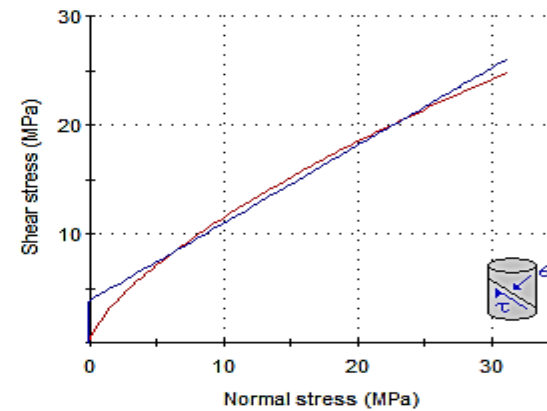


Figura 27: Graficas de Esfuerzo Mayor – Esfuerzo Menor (Izquierda) y Esfuerzo Normal – Esfuerzo de Corte (derecha) de la arenisca.

ANÁLISIS DE DISCONTINIUDADES DIPS:

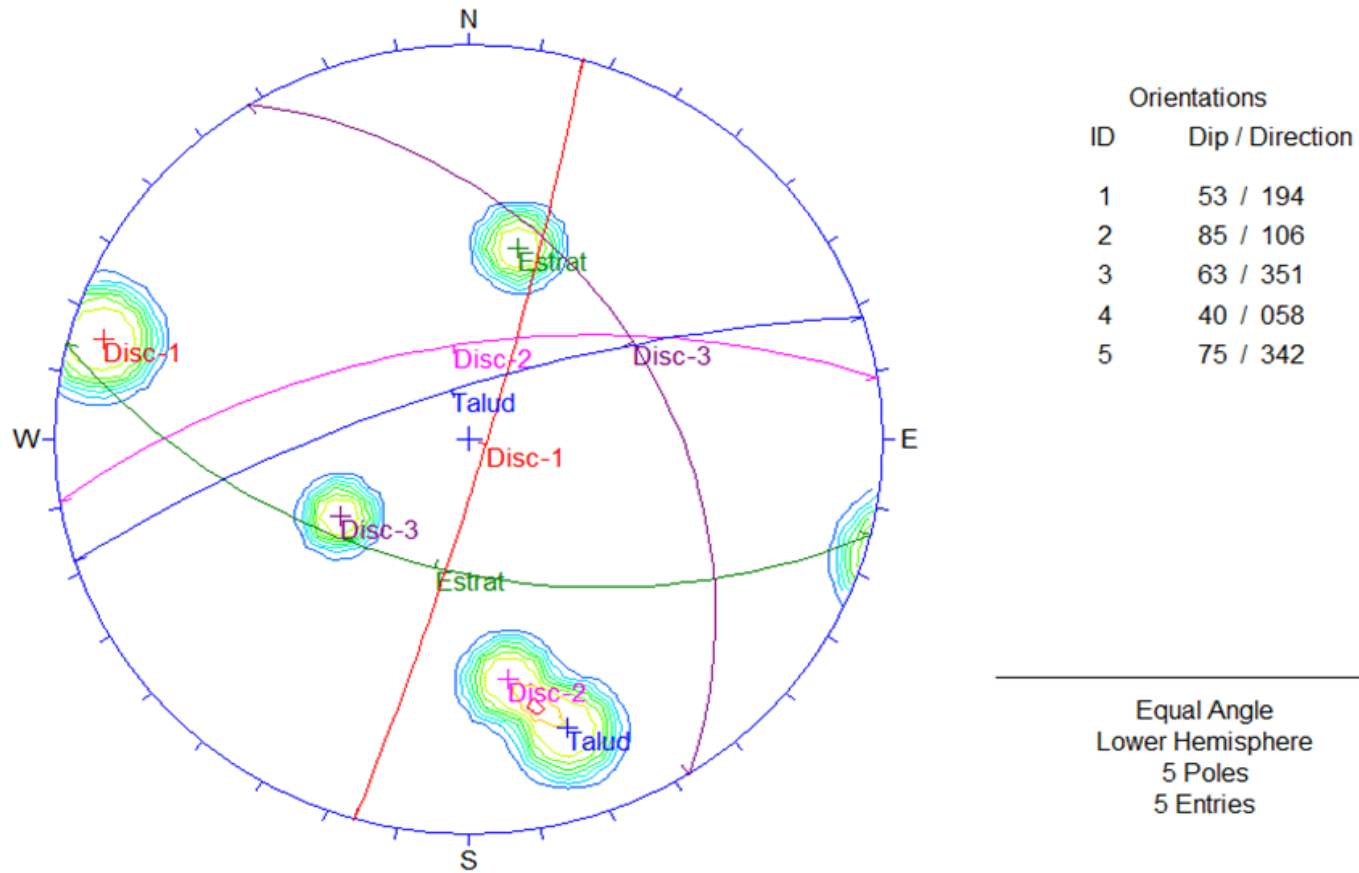


Figura 28: Diagrama de polos y círculos máximos de las discontinuidades. Se observa que el plano talud es cortado por la discontinuidad 2. Generando rotura planar con respecto talud.

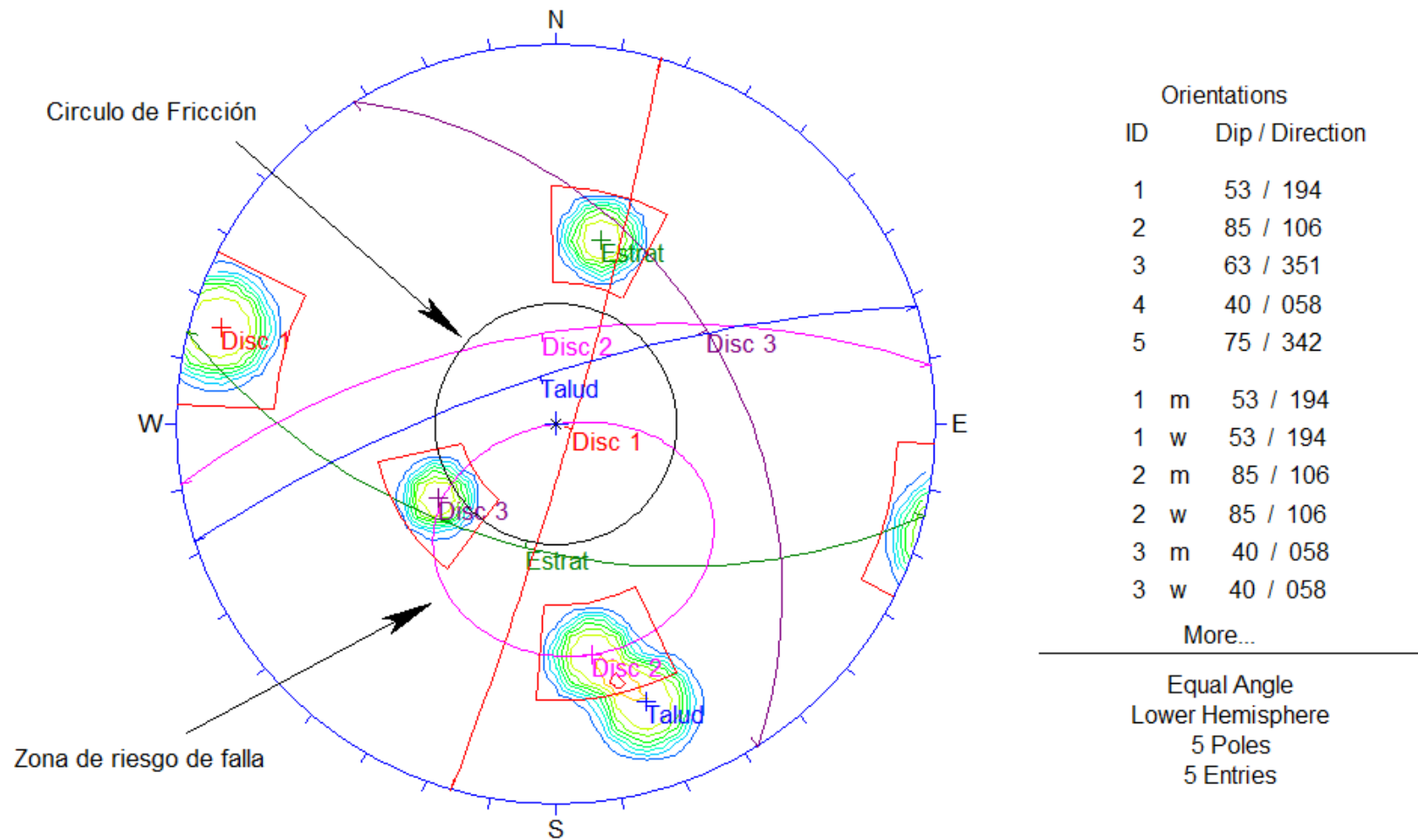


Figura 29: Diagrama de la proyección estereográfica respecto al talud, ángulo de fricción y las ventanas de concentración de polos indican rotura planar con respecto al buzamiento NE de la discontinuidad 2.

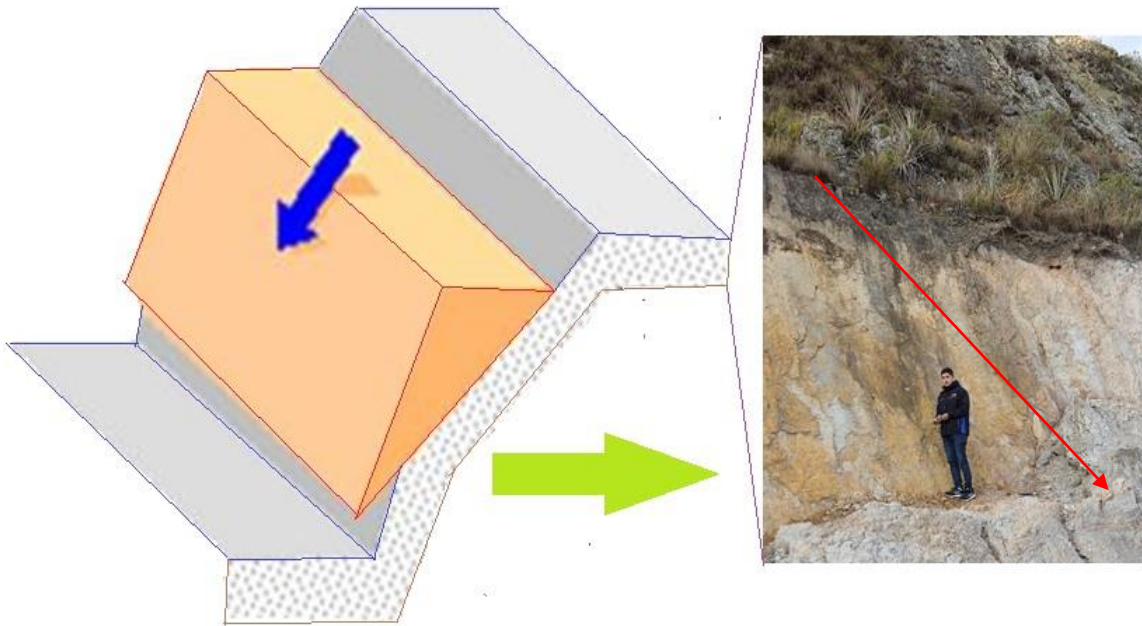


Figura 30: Diagrama de deslizamiento planar en función del análisis de la proyección estereográfica.

ESTACIÓN 2

El afloramiento está ubicado en la parte noreste de la zona de estudio, con una longitud de 25 m de largo por 18 m de altura, presentando areniscas levemente meteorizadas, bloques regulares con grado de fracturamiento medio. Presenta las siguientes coordenadas:



Foto 9: Afloramiento del macizo rocoso de areniscas, con las coordenadas E: 789814.11, N: 9204339.84

PARÁMETROS DEL MACIZO ROCOSO:

- Grado de Meteorización: Grado II, levemente meteorizado.
- Número de familias de discontinuidades: 3 Familias de discontinuidades.
- Blocosidad: Tabular.

PARÁMETROS DE LA MATRIZ ROCOSA:

- Litología: Areniscas.
- Textura y Tamaño de grano: Fanerítica de grano medio.
- Color: Blanquecino.
- Meteorización: Grado II, levemente meteorizado.
- Resistencia: Clase R5, Roca dura, de 100-250 MPa de resistencia a la compresión.

CARACTERIZACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES:

Se reconoció cuatro familias cuyas características son las siguientes:

Familias de discontinuidades en el macizo rocoso

- Estrato
- Discontinuidad (D1)
- Discontinuidad (D2)

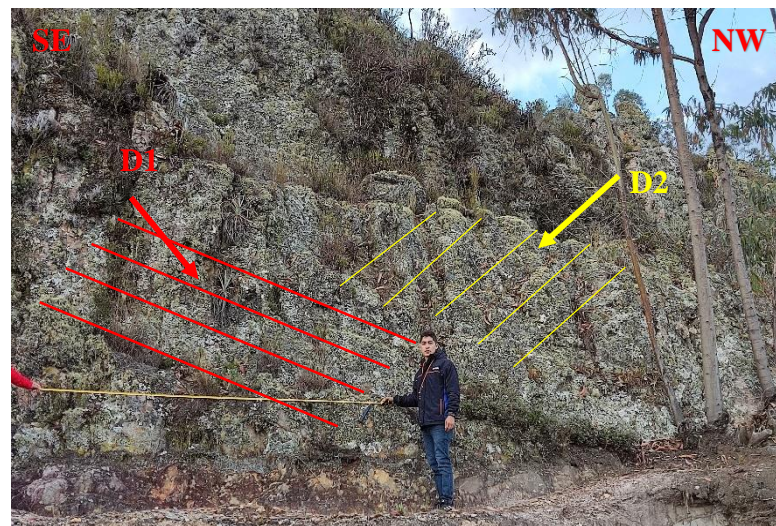


Foto 10: Familias de discontinuidades en el macizo rocoso

	Orientación D/DD	Prom. Espaciado	Prom. Continuidad	Rugosidad	Resistencia MPa	Prom. Abertura	Relleno	Filtración
Estratificación	44/10	85 cm.	18 m.	Rugosa	R5 de 100-250	1.5 mm	Duro	Ligeramente húmedo
Discontinuidad-1	62/169	65 cm.	80 cm.	Rugosa	R5 de 100-250	< 0.1 mm	Duro	Ligeramente húmedo
Discontinuidad-2	77/99	50 cm.	40 cm.	Rugosa	R5 de 100-250	0.5 mm	Duro	Ligeramente húmedo
Talud	80/175							

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DEL RMR₉₉:

PARÁMETRO		RANGO DE VALORES							
1	Resistencia de la roca intacta	Ensayo carga puntual	> 10 MPa	10 – 4 MPa	4 – 2 MPa	2 – 1MPa			
		Compresión simple	> 250 MPa	250 – 100 MPa	100 – 50 MPa	50 – 25MPa	25 – 5 MPa	5 – 1 MPa	< 1 MPa
	VALOR	15	12	7	4	2	1	0	
2	RQD		90 – 100 %	75 – 90 %	50 – 75 %	25 – 50 %	< 25%		
	VALOR		20	17	13	8	3		
3	Espaciado de las discontinuidades		> 2 m	0.6 – 2 m	0.2 – 0.6 m	6 – 20 cm	< 6 cm		
	VALOR		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		
		VALOR	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	< 0.1 mm	0.1 – 1.0 mm	1 – 5 mm	> 5 mm		
		VALOR	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave		
		VALOR	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno Duro < 5 mm	Relleno Duro > 5 mm	Relleno Blando < 5 mm	Relleno Blando > 5 mm		
		VALOR	6	4	2	2	0		
Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta				
VALOR	6	5	3	1	0				
5	Flujo de agua en las discontinuidades	Relación P agua / σ principal	0	0 – 0.1	calcula 0.1 – 0.2	0.2 – 0.5	> 0.5		
		Condiciones generales	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo		
	VALOR	15	10	7	4	0			

VALORES AJUSTADOS:

PARÁMETROS	VALOR	
	TABLA	AJUSTADO
Compresión simple (MPa)	12	13
Índice de calidad de la Roca (RQD)	17	18
Espaciado entre discontinuidades	15	14

$$\mathbf{RMR = 13 + 18 + 14 + 6 + 5 + 5 + 2 + 5 + 10 = 78}$$

CLASE	RMR	CALIDAD DE LA ROCA
I	81 – 100	Muy buena
II	61 – 80	Buena
III	41 - 60	Regular
IV	21 – 40	Mala
V	0 – 20	Muy mala

Calculado mediante la fórmula

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

Donde:

$$\lambda = \frac{N^{\circ} \text{ discontinuidades}}{\text{longitud (m)}}$$







Calculamos:

$$\lambda = \frac{25}{4.8} = 5.2$$

$$RQD = 100e^{-0.1 * 5.2} (0.1 * 5.2 + 1)$$

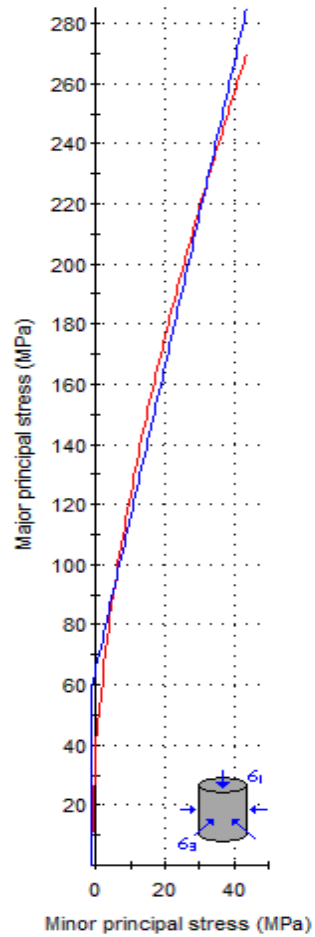
$$\mathbf{RQD = 90.36}$$

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA:

Rock Type: <input type="text" value="General"/>		SURFACE CONDITIONS				
		VERY GOOD	GOOD	FAIR	POOR	VERY POOR
GSI Selection: <input type="text" value="73"/> <input type="button" value="OK"/>						
STRUCTURE		DECREASING SURFACE QUALITY →				
	INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90	80		N/A	N/A
	BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets		73	70		
	VERY BLOCKY- interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets			60		
	BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity			50		
	DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces			40		
	LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes			30		
				20		
				10		
		N/A	N/A			

GSI= 73

ANÁLISIS ROCLAB:



Analysis of Rock Strength using RocLab

Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 175 MPa
 GSI = 73 $m_i = 17$ Disturbance factor = 0

Hoek-Brown Criterion

$m_b = 6.481$ $s = 0.0498$ $a = 0.501$

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 14.630 MPa friction angle = 41.89 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -1.344 MPa
 uniaxial compressive strength = 38.923 MPa
 global strength = 65.546 MPa
 modulus of deformation = 37583.74 MPa

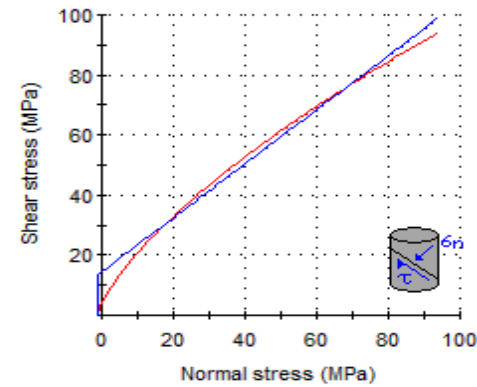


Figura 31: Graficas de Esfuerzo Mayor – Esfuerzo Menor (Izquierda) y Esfuerzo Normal – Esfuerzo de Corte (derecha) de la arenisca.

ANÁLISIS DE DISCONTINIUDADES DIPS:

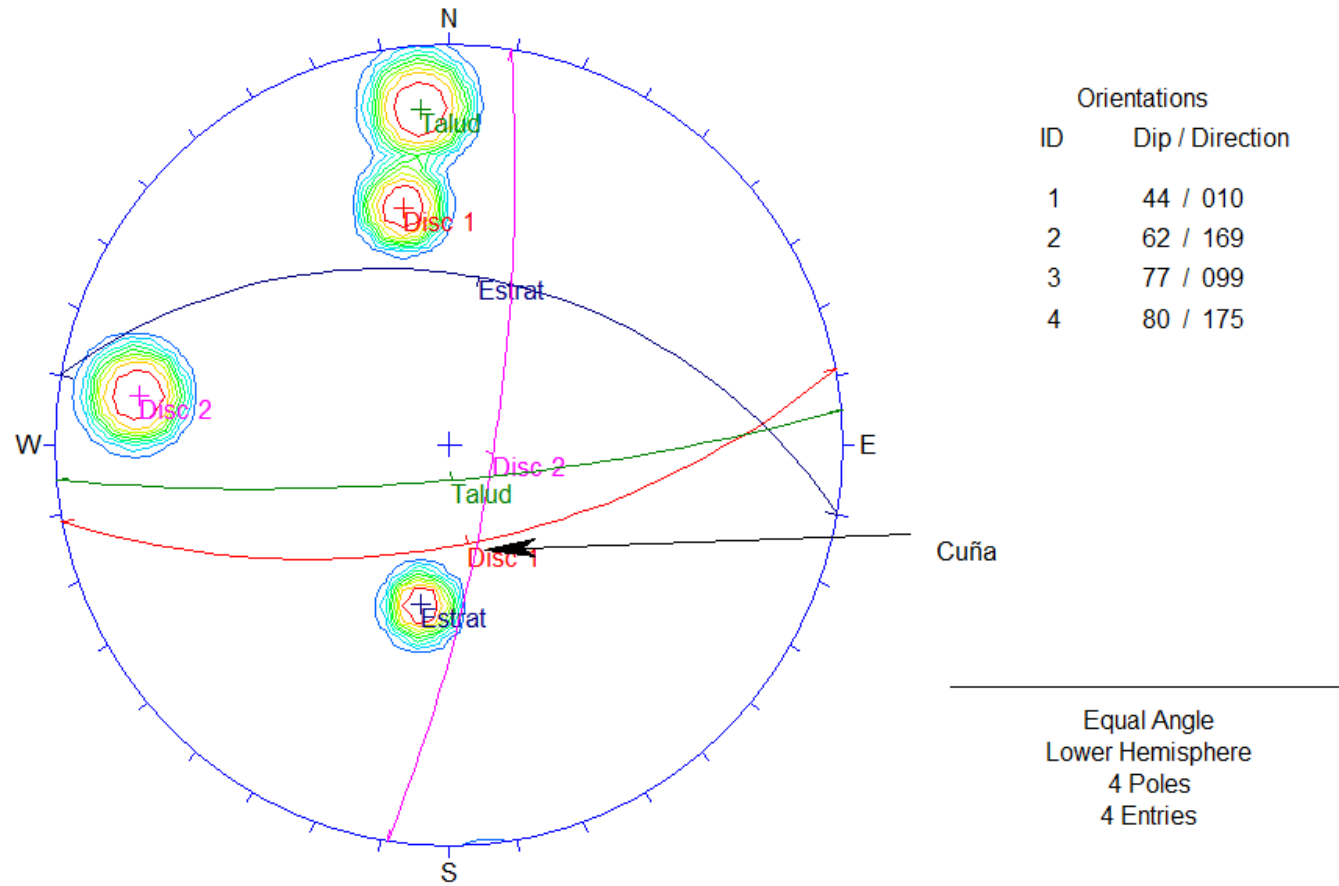


Figura 32: Diagrama de polos y círculos máximos de las discontinuidades. Se observa que el plano talud es cortado por la discontinuidad 1 - 2. Generando rotura en cuña con respecto al talud

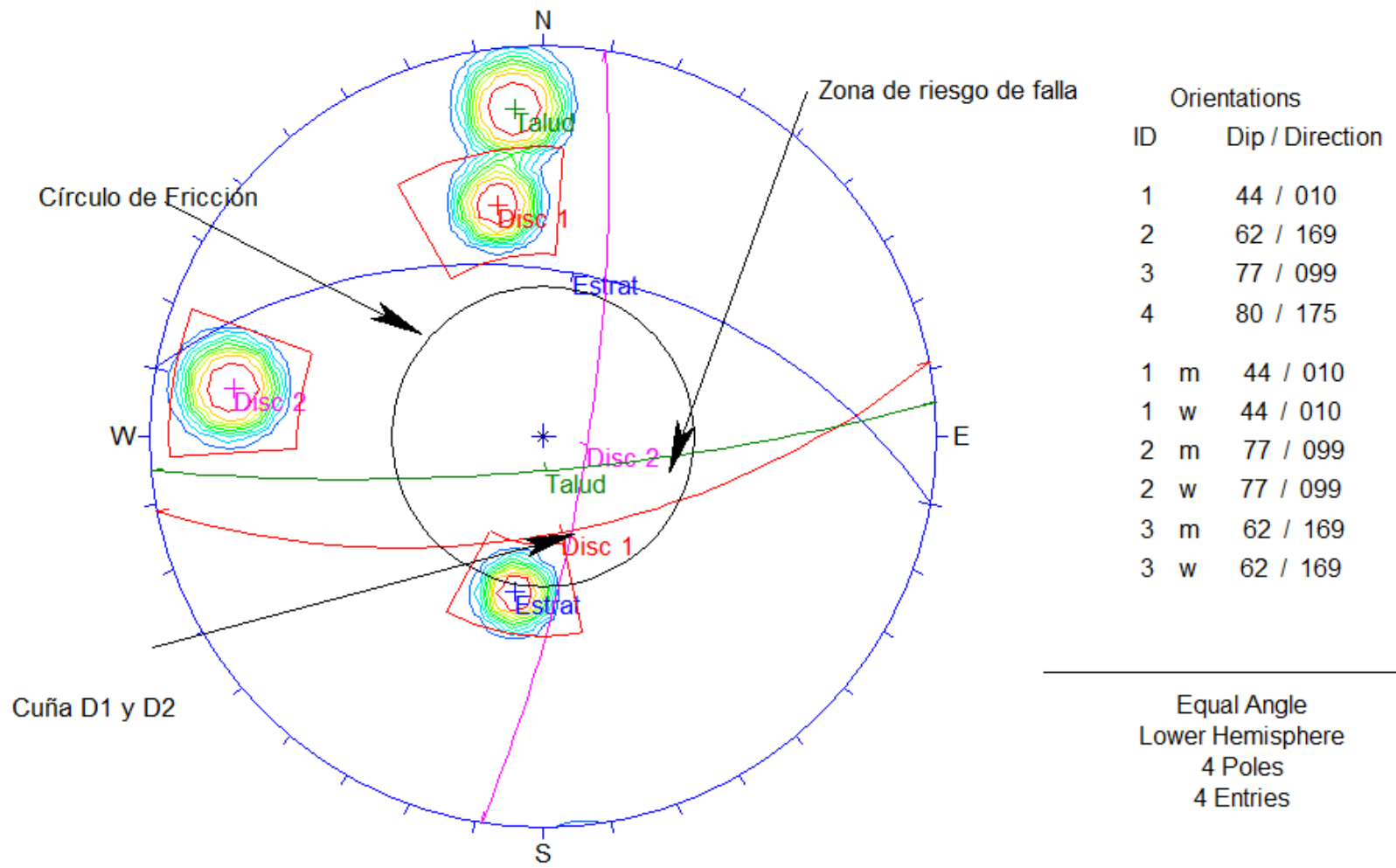


Figura 33: El diagrama de proyección estereográfica respecto al talud, ángulo de fricción y las ventanas de concentración de polos indican rotura en cuña.

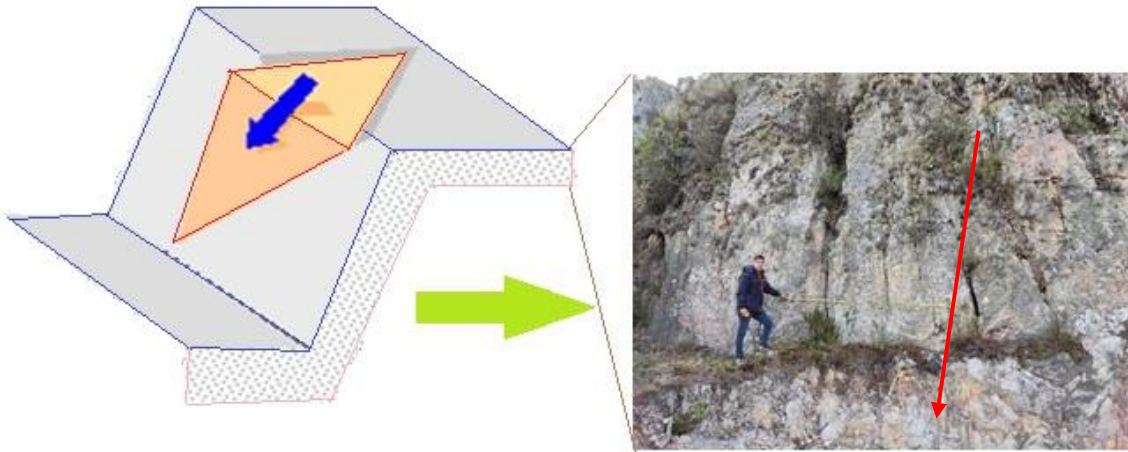


Figura 34: Diagrama de deslizamiento planar en función del análisis de la proyección estereográfica.

ESTACIÓN 3

El afloramiento está ubicado en la parte noreste de la zona de estudio, con una longitud de 25 m de largo por 18 m de altura, presentando areniscas altamente meteorizadas, bloques regulares con grado de fracturamiento alto.



- D1** — Discontinuidad 1
- D2** — Discontinuidad 2
- D3** — Discontinuidad 3

Foto 11: Roca arenisca en su clasificación geomecánica, con las coordenadas E: 789717.08, N: 9204359.47.

PARÁMETROS DEL MACIZO ROCOSO:

- Grado de Meteorización: Grado VI, altamente meteorizado.
- Número de familias de discontinuidades (Sets): Tipo VI, 4 Familias de discontinuidades.

PARÁMETROS DE LA MATRIZ ROCOSA:

- Litología: Areniscas.
- Textura y Tamaño de grano: Fanerítica de grano medio.
- Color: Blanquecino.
- Meteorización: Grado VI, altamente meteorizado.
- Resistencia: Clase R4, Roca dura, de 50-100 MPa de resistencia a la compresión.

CARACTERIZACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES:

Se reconoció cuatro familias cuyas características son las siguientes:

familias de discontinuidades en el macizo rocoso

- Estrato
- Discontinuidad (D1)
- Discontinuidad (D2)
- Discontinuidad (D3)

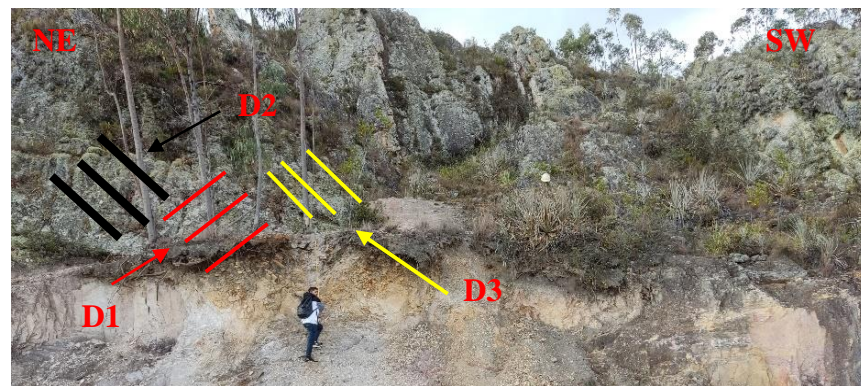


Foto 12: Verificación de las familias.

	Orientación D/DD	Prom. Espaciado	Prom. Continuidad	Rugosidad	Resistencia MPa	Prom. Abertura	Relleno	Filtración
Estratificación	69/32	14 cm.		18 m.	Ligeramente Rugosa	R4 50-100	8 mm	Duro
Discontinuidad-1	31/22	10 cm.		20 cm.	Muy Rugosa	R4 50-100	3.5 mm	Duro
Discontinuidad-2	71/301	8 cm.		10 cm.	Ligeramente Rugosa	R4 50-100	2.5 mm	Duro
Discontinuidad-3	37/99	7 cm.		15 cm.	Muy Rugosa	R4 50-100	3 mm	Duro
Talud	80/320							

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DEL RMR₈₉:

PARÁMETRO		RANGO DE VALORES							
1	Resistencia de la roca intacta	Ensayo carga puntual	> 10 MPa	10 – 4 MPa	4 – 2 MPa	2 – 1MPa			
		Compresión simple	> 250 MPa	250 – 100 MPa	100 – 50 MPa	50 – 25MPa	25 – 5 MPa	5 – 1 MPa	< 1 MPa
	VALOR	15	12	7	4	2	1	0	
2	RQD		90 – 100 %	75 – 90 %	50 – 75 %	25 – 50 %	< 25%		
	VALOR		20	17	13	8	3		
3	Espaciado de las discontinuidades		> 2 m	0.6 – 2 m	0.2 – 0.6 m	6 – 20 cm	< 6 cm		
	VALOR		20	15	10	8	5		
4	Estado de discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1 m	1 – 3 m	3 – 10 m	10 – 20 m	> 20 m		
		VALOR	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	< 0.1 mm	0.1 – 1.0 mm	1 – 5 mm	> 5 mm		
		VALOR	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave		
		VALOR	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno Duro < 5 mm	Relleno Duro > 5 mm	Relleno Blando < 5 mm	Relleno Blando > 5 mm		
		VALOR	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
		VALOR	6	5	3	1	0		
5	Flujo de agua en las discontinuidades	Relación P agua / σ principal	0	0 – 0.1	0.1 – 0.2	0.2 – 0.5	> 0.5		
		Condiciones generales	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo		
	VALOR		15	10	7	4	0		

VALORES AJUSTADOS:

PARÁMETROS	VALOR	
	TABLA	AJUSTADO
Compresión simple (MPa)	7	6
Índice de calidad de la Roca (RQD)	13	11
Espaciado entre discontinuidades	8	7

$$\mathbf{RMR = 6 + 11 + 7 + 6 + 1 + 6 + 2 + 3 + 7 = 49}$$

CLASE	RMR	CALIDAD DE LA ROCA
I	81 – 100	Muy buena
II	61 – 80	Buena
III	41 - 60	Regular
IV	21 – 40	Mala
V	0 – 20	Muy mala

Calculado mediante la fórmula

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

Donde:

$$\lambda = \frac{N^{\circ} \text{ discontinuidades}}{\text{longitud (m)}}$$







Calculamos:

$$\lambda = \frac{52}{3.20} = 16.25$$

$$RQD = 100e^{-0.1 * 16.25} (0.1 * 16.25 + 1)$$

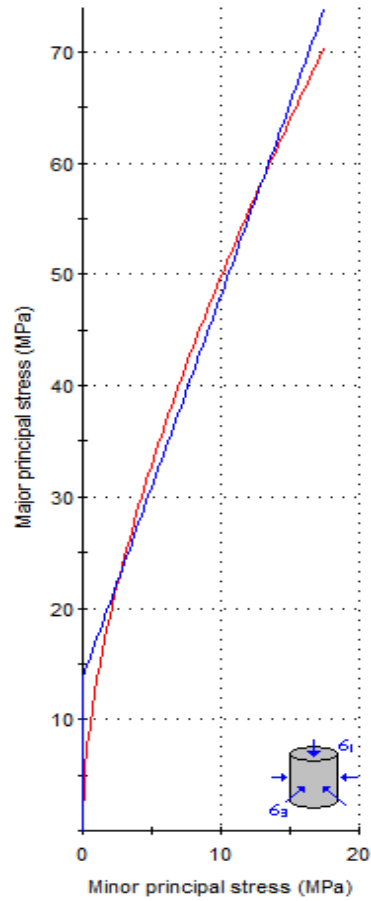
$$\mathbf{RQD = 51.68}$$

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA:

Rock Type: <input type="text" value="General"/>		SURFACE CONDITIONS									
		VERY GOOD	GOOD	FAIR	POOR	VERY POOR					
GSI Selection: <input type="text" value="44"/> <input type="button" value="OK"/>		DECREASING SURFACE QUALITY →									
STRUCTURE		DECREASING INTERLOCKING OF ROCK PIECES ↓									
	INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities						90	80	N/A	N/A	
	BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets						70	60			
	VERY BLOCKY- interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets						50	44			
	BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity						40	30			
	DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces							20			
	LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes		N/A	N/A		10					

GSI= 44

ANÁLISIS ROCLAB:



Analysis of Rock Strength using RocLab

Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 70 MPa
 GSI = 44 $m_i = 17$ Disturbance factor = 0

Hoek-Brown Criterion

$m_b = 2.301$ $s = 0.0020$ $a = 0.509$

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 3.749 MPa friction angle = 33.27 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.060 MPa
 uniaxial compressive strength = 2.955 MPa
 global strength = 13.889 MPa
 modulus of deformation = 5923.10 MPa

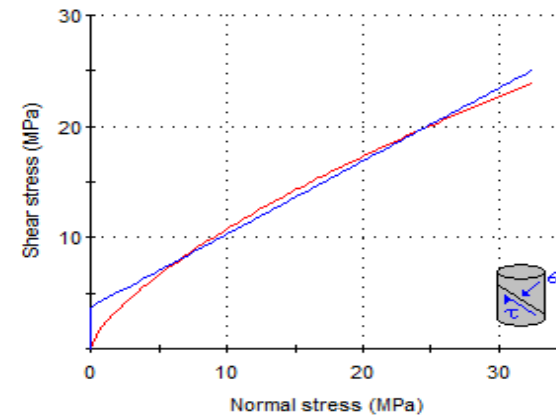


Figura 35: Graficas de Esfuerzo Mayor – Esfuerzo Menor (Izquierda) y Esfuerzo Normal – Esfuerzo de Corte (derecha) de la arenisca.

ANÁLISIS DE DISCONTINIUDADES DIPS:

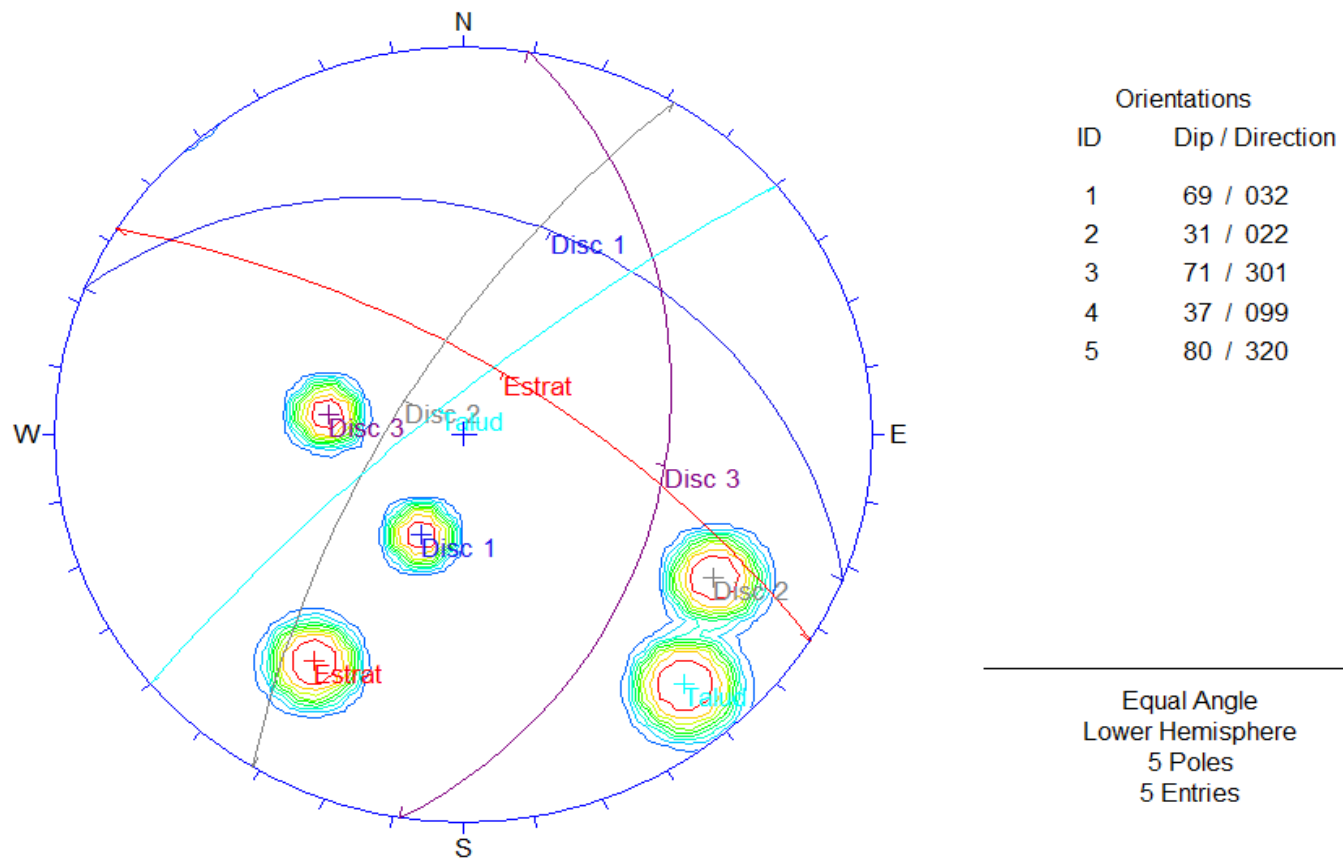


Figura 36: Diagrama de polos y círculos máximos de las discontinuidades. Se observa que el plano talud es cortado por la discontinuidad 1-2-3 y el estrato. Generando rotura en cuña con respecto talud.

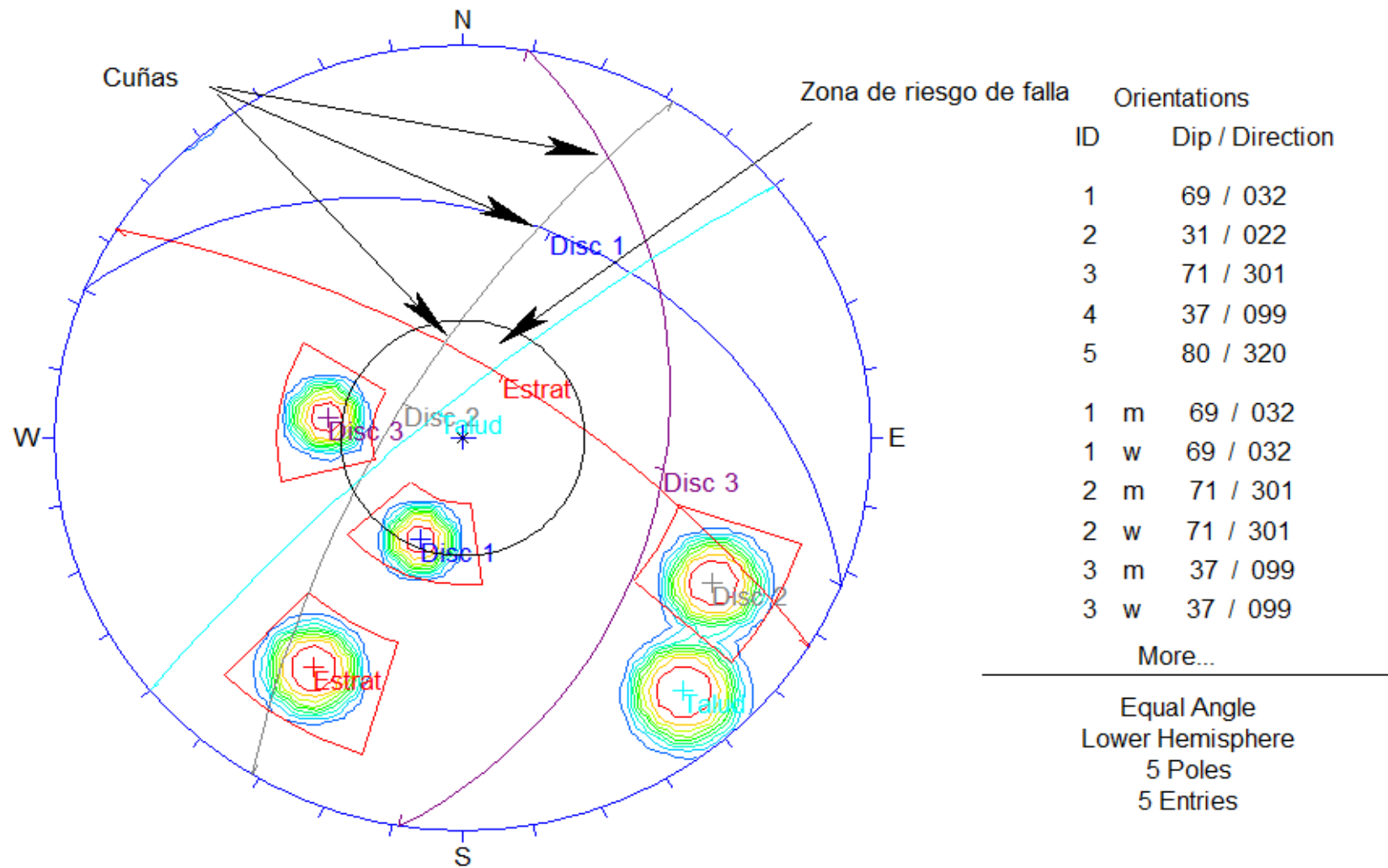


Figura 37: El diagrama de proyección estereográfica respecto al talud, ángulo de fricción y las ventanas de concentración de polos indican rotura en cuña.

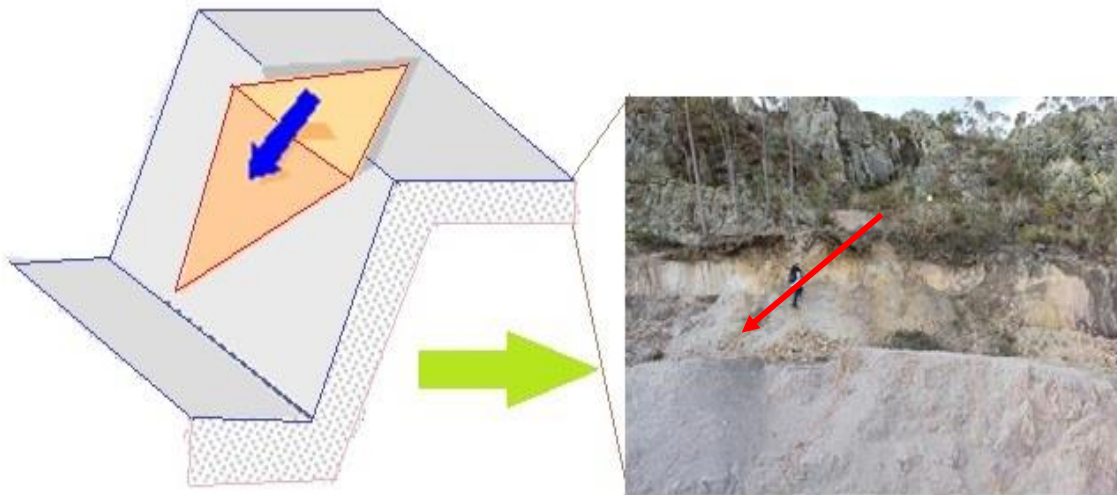


Figura 38: Diagrama de deslizamiento planar en función del análisis de la proyección estereográfica.

4.2. Reservas probables

Áreas de operaciones:

El proyecto de exploración minera no metálica cuenta con 1 zona de exploración, de la cual se ha hecho los cálculos del área de la zona de trabajo.

Calculo de reserva probables del yacimiento.

- ✓ Área terreno superficial: $64.4739 \text{ m}^2 + 33.8248 \text{ m}^2 = 98.2987 \text{ m}^2$
- ✓ Potencia del mineral no metálico: 42.5 m
- ✓ Densidad de la arcilla: 2.1 TM/ m^3

Cálculos

- ✓ Volumen de minerales del yacimiento: $98.2987 \text{ m}^2 \times 42.5 \text{ m}$
- ✓ Volumen de minerales del yacimiento: 4177.6948 m^3
- ✓ Peso en toneladas del yacimiento: $4177.6948 \text{ m}^3 \times 2.1 \text{ TM/ m}^3$
- ✓ Peso en toneladas del yacimiento: 8773.1589 TM

RESERVAS PROBABLES: 8773. 1589 TM

Áreas de operaciones:

El proyecto de exploración minera no metálica cuenta con 1 zona de exploración, de la cual se ha hecho los cálculos del área de la zona de trabajo.

Calculo de reserva probables del yacimiento.

- ✓ Área terreno superficial: $64.4739 \text{ m}^2 + 33.8248 \text{ m}^2 = 98.2987 \text{ m}^2$
- ✓ Potencia del mineral no metálico: 42.5 m
- ✓ Densidad de la arcilla: 2.1 TM/ m^3

Cálculos

- ✓ Volumen de minerales del yacimiento: $98.2987 \text{ m}^2 \times 42.5 \text{ m}$
- ✓ Volumen de minerales del yacimiento: 4177.6948 m^3
- ✓ Peso en toneladas del yacimiento: $4177.6948 \text{ m}^3 \times 2.1 \text{ TM/ m}^3$
- ✓ Peso en toneladas del yacimiento: 8773.1589 TM

RESERVAS PROBABLES: 8773. 1589 TM

Fuente: (Herrera, 2006)

4.3. Vida útil de la actividad minera

El tiempo de vida del proyecto, en la etapa de operaciones está determinada en función a la reserva de la arcilla, además de la producción estimada anual, como se demuestra en los siguientes cálculos.

Vida útil de la mina para la reserva de material:

La reserva del proyecto minero no metálico asciende a 8773. 1589 TM de material y el consumo y el consumo proyectado por día es: 4.5 TM/ día mostrando el siguiente tiempo de vida a 30 días laborables por mes en 3 meses y con un porcentaje de material útil de 85%.

- ✓ Reservas totales: 8773. 1589 TM
- ✓ Producción Diaria: 4.5 TM/día
- ✓ Producción mensual: $4.5 \text{ TM/ día} \times (30) = 135 \text{ TM/ mes}$

- ✓ Producción anual: $135 \text{ TM/ mes} \times (3) = 405 \text{ TM/ año}$
- ✓ Porcentaje material útil: $85\%=0.85$
- ✓ Reserva material útil: $(0.85) \times 8773.1589 \text{ TM} = 7457.1851 \text{ TM}$

Vida útil = Reservas útiles / Producción anual

Vida útil = $7457.1851 \text{ TM} / 405 \text{ TM/ año}$

Vida útil = $18.4128 = \mathbf{18 \text{ años}}$

se estima una vida útil de la mina de 18 años para la exploración de toda el área de exploración.

Fuente: (Herrera, 2006)

4.4. Diseño geométrico y dimensiones de la mina

4.4.1. Diseño de tajo

La estabilidad de taludes en una explotación minera no solamente es un aspecto fundamental de importancia, sino que es una de las claves de la viabilidad de operaciones.

Su seguridad y su rentabilidad. Es por ello que debe ser analizado desde las etapas iniciales de las operaciones y ser comprobada y seguida con los datos obtenidas durante la explotación.

La importancia que tenemos en el estudio geotécnico realizado en la concesión minera no metálica de la arcilla del derecho Minero Horjes.

En líneas generales. Los factores más importantes que afectan a la seguridad de las operaciones y cuyo estudio deben quedar permanente claro desde los principios de las operaciones, son las siguientes:

- ✓ Caída o deslizamiento de material suelto.
- ✓ Colapso parcial de un banco.
- ✓ Colapso general de talud de la excavación.

Los estudios geomecánicos realizados implican una caracterización del macizo rocoso como son:

- ✓ Los sistemas de juntas y discontinuidades.
- ✓ Las propiedades geomecánicas de la matriz rocosa.
- ✓ Las características hidrogeológicas y las presiones de agua y fracturas.

A continuación, identifica los módulos y ensayos de rotura susceptible de producirse, apoyándose en los datos registrados por los análisis realizados.

4.4.2. Dimensiones y orientación de los bancos

4.4.2.1 Altura de bancos

La altura de bancos se establece generalmente a partir de las dimensiones de los equipos de excavación y carga, las características del macizo rocoso y las exigencias de selectividad de la explotación. En líneas generales, le condicionan ante para establecer la altura de banco y el equipo. Los equipos que se van a emplear son los siguientes:

- ✓ Perforadora portátil tipo taladro, marca Bosch, con generador de 5000 Watts. Que será utilizada momentáneamente.

Las alturas de bancos mayores tienen a pesar de sus inconvenientes las siguientes ventajas:

- ✓ Mayor rendimiento de la perforación al reducir los tiempos.
- ✓ Una geometría de voladura óptima, dentro de la tendencia actual hacia mayores diámetros de perforación.
- ✓ Mejora de los rendimientos de los equipos de carga.
- ✓ Menor número de bancos y por tanto mayor concentración y eficiencia de la maquinaria. Infraestructura de accesos más económica y por menor número de niveles de trabajos.

Las ventajas de una altura de banco reducida sin embargo son las siguientes:

- ✓ Mejores condiciones de seguridad para el personal y maquinarias.
- ✓ Control efectivo de las desviaciones de los barrenos.
- ✓ Menor carga de operantes de explosivo.
- ✓ Mayor rapidez en la ejecución de rampas de acceso entre banco.

4.4.2.1 Ancho de plataforma de trabajo o tajos

La anchura mínima de banco de trabajo es la suma de los espacios necesarios para el movimiento de la maquinaria que trabaja en ellos simultáneamente.

Los tres procesos básicos que tiene lugar en el interior de una cantera son la perforación, el carguío y el transporte.

- **Bermas**

Las bermas se utilizan como plataformas de acceso en el talud de una excavación y también como áreas de protección al detener los materiales que pueden desprenderse de los frentes en los bancos superiores, hasta zonas de trabajos inferiores.

- **Pistas**

El diseño de las pistas debe ser, tal que las unidades de transporte utilizadas se desplacen sin perder el ritmo de operaciones y en condiciones de máxima seguridad. Como hemos podido ver mediante los ensayos y el estudio geo mecánico detallado optamos por los parámetros siguientes.

- **Extracción de la arcilla**

Parámetros:

Altura de banco	: 1.5 m.
Berma	: 1.20 m.
Angulo de talud	: 65°.
Talud final	: 60°.
Ratio Roca/desmonte	: 10/1.
Dureza de roca	: Mediana

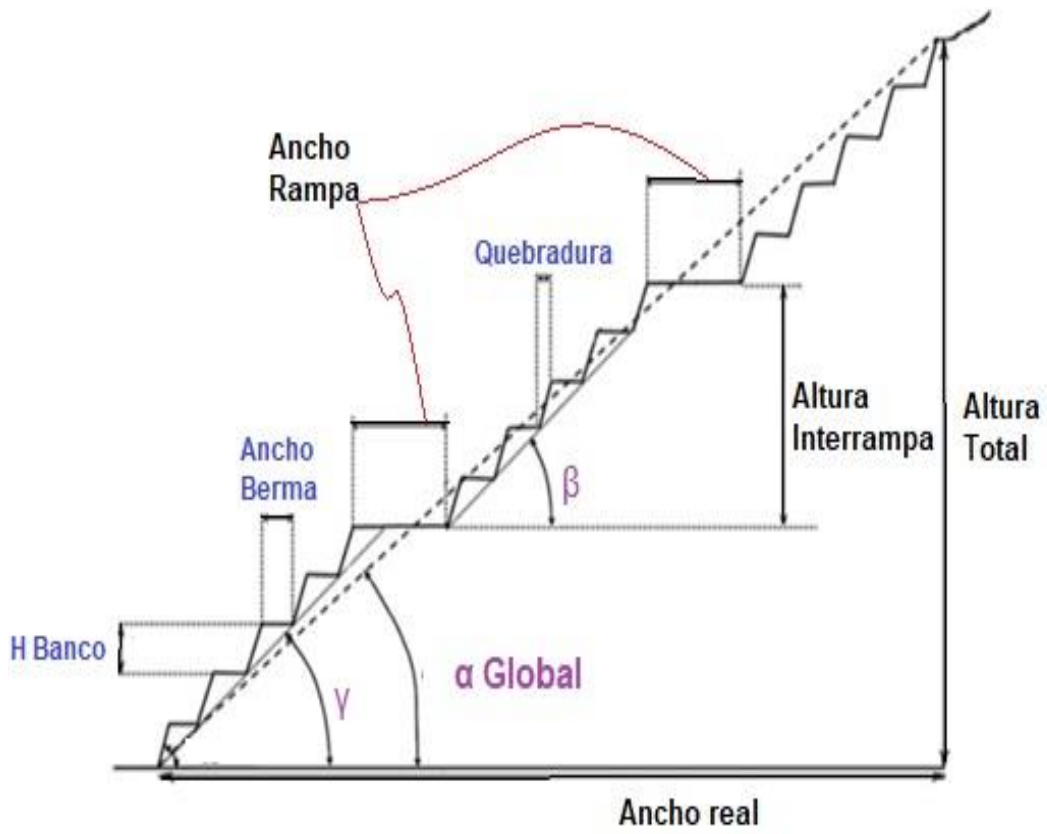


Figura 39: Elementos de Talud

Fuente: Tomado de (Jiménez, 2014)

CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

El comportamiento geomecánico en el yacimiento minero no metálico HORJES se evidencia tipos de roturas: en la estación 1 rotura planar, en la estación 2 rotura planar y estación 3 cuña.

El cartografiado de la litología y las geoestructuras en el yacimiento no metálico, de la zona de estudio el cual cuenta con arcillas (caolinitas) que se encuentran en la Formación Farrat, estos lentes (bancos) de arcillas, están alineados a los estratos de areniscas (con dirección E-W), formados en el proceso de la depositación y sedimentación, en lagunas donde el proceso es más lento, por ende, los granos son más finos.

Los parámetros geomecánicos con valoraciones de sus estructuras principales de sus características geomecánica en la zona de estudio se ha realizado el análisis RMR₈₉: Regular (E1 y E3) y buena (E2). En el análisis del GSI: Regular (E1 y E3) y buena (E3).

Según los parámetros geomecánicos se propone el diseño que la explotación se debe realizar a través de bancos con una Altura de banco: 1.5 m, Berma: 1.20 m, Angulo de talud: 65°, Talud final: 60°, Ratio Roca/desmonte: 10/1, Dureza de roca: Mediana.

5.2. RECOMENDACIONES

El dueño del yacimiento debe realizar mapeos geomecánicos de acuerdo al desarrollo de la explotación, para identificar algunos cambios estructurales.

Por parte del yacimiento minero no metálico HORJES se debe diseñar un método de explotación adecuado para el yacimiento no metálico, la cual le conllevara a mayor rendimiento y seguridad en su explotación.

Realizar estudios hidrogeológicos en la zona del yacimiento, debido a que el agua afecta en la extracción y comportamiento de la arcilla.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

- A. Diaz y Julio C., 2006, Caracterización de Arcillas en el Perú.
file:///C:/Users/ADMIN/Downloads/CARACTERIZACION%20GEOMORFOLOGICA%20DEL%20CASERIO%20HIERBA%20BUENA.pdf
- Aguilar, A. 2008. Caracterización geotécnica y estructural de la rampa de exploración y del túnel de drenaje, Mina Chuquicamata. Tesis Ing. de Minas, Santiago de Chile, Chile, Universidad de Chile. 91 p.
- Albarracín O. Gómez D. (2000). “Caracterización y clasificación geomecánica del macizo rocoso del sector la sierra” Sogamoso, Boyacá, Colombia.
- Andrade, B. 2004. Introducción a la ingeniería de túneles: caracterización, clasificación y análisis geomecánico de macizos rocosos. 3 ed. Quito, Ecuador, AIME. 349 p.
- Antenor, G. 1996. Boletín N° 31 INGEMMET
- Basurto, J. 2014. Validación del muestreo de blastholes por canales en zonas de mineralización de sulfuros, Proyecto Yanacocha Verde – Cajamarca: informe de suficiencia. Tesis Ing. Lima, Perú, UNI. 82 p.
- Bieniawski, Z. 1989. Engineering Rock Mass Classifications. New York, Estados Unidos. 251 p. Gavilanes, H;
- Bieniawski, Z.T. 1976. Rock mass classification in rock engineering. In Exploration for rock engineering, proc. of the symp., (ed. Z.T. Bieniawski) 1, 97-106. Cape Town: Balkema.
- Blanco, R. 2005. “Características físico y mecánico estructural del macizo rocoso” Proyecto CYTED XIII, Córdoba, Argentina.
- 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.
- Cordova. M.A. 2013. “Códigos internacionales de declaración de proyectos minerales de stockexchange”. *Disponible online: <http://es.scribd.com/doc/92871454/codigos-Internacionales>. Fuentes Pacheco, Eder

- 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.
- David, 2006. Diseño del método de explotación para la mina de arcilla Asoguyabal, Santander, España.
- Deere, D.U. and Deere, D.W. 1988. The rock quality designation (RQD) index in practice. In Rock classification systems for engineering purposes, (ed. L. Kirkaldie), ASTM Special Publication 984, 91-101. Philadelphia: Am. Soc. Test. Mat.
- Ferrer, M. y González de Vallejo, L. Eds. 1999. “Manual de campo para la descripción y caracterización de macizos rocosos en afloramientos” IGME.
- Flores, M. (2013). “Diseño del soporte y reforzamiento del macizo rocoso” Rock Info consultoría en Geomecánica Minera.
- González de Vallejo, L. 2002. Ingeniería Geológica. España. Prentice Hall. 715 p.
- Grim, R. E. 1953. Clay mineralogy: McGraw-Hill Book Co., Inc., 384 pp.
- H. Bosse, 1989, Reconocimiento y Evaluación Preliminar de Minerales Industriales, Rocas y Tierras en los Departamentos de la Libertad y Cajamarca.
- Hernández Sampieri, R; Fernández Collado, C; Baptista Lucio, MP. 2010. Metodología de la Investigación. 5 ed. México. McGRAW-HILL.
- Hoek, E., Carranza, T. & Corrum, B. 2000. “Hoek- Brown failure criterion”. 2002 edition: In R. Hammah, W. Bawden, J. Curran & M. Telesnicki (Eds). Proceedings of NARMS- TAC 2002; Mining Innovation and technology.
- Jiménes, J. (1983). Geomorfología General (Vol. II). Madrid, España: Sintesis S. A.
- Lagos A. Quispe Z. 2008. Modelamiento estructural de los Cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Bolívar. PERUMIN. 29 convención Minera de Arequipa.
- López J., Carlos y Aduvire P., Osvaldo 1994. “Estudios de Viabilidad en Proyectos Mineros”. ITGE, Madrid, España.
- Reyes L., 1980, Geología de los Cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos Y Cajabamba.

Rocscience. 2002. Geological Strength Index GSI estimation based on geological descriptions. Toronto, Canadá.

Sheorey, P. 1994. Teoría de tensiones in situ en rocas isotrópicas y transversalmente isotrópicas. Revista internacional de mecánica de rocas y ciencia en minería y geomecánica abstracta (En línea, sitio web). Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0148906294923124?via%3Dihub>.

ANEXOS

1. Plano de ubicación.
2. Plano geológico.
3. Plano topográfico.
4. Plano fotográfico